



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

**ANÁLISIS TÉCNICO Y FACTIBILIDAD ECONÓMICA, SISTEMA PIPE
BURSTING vs SISTEMA A ZANJA ABIERTA PARA RENOVACIÓN DE REDES
DE ALCANTARILLADO Y ACUEDUCTO**

OSCAR JAVIER MARTÍNEZ

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE OBRAS
BOGOTÁ D.C
2019**

**ANÁLISIS TÉCNICO Y FACTIBILIDAD ECONÓMICA, SISTEMA PIPE
BURSTING vs SISTEMA A ZANJA ABIERTA PARA RENOVACIÓN DE REDES
DE ALCANTARILLADO Y ACUEDUCTO**

OSCAR JAVIER MARTÍNEZ

**PROYECTO DE GRADO PARA OBTENER TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
GERENCIA DE OBRAS**

**ASESOR: OSCAR ANTONIO VACA VELANDIA
ARQUITECTO**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE OBRAS
BOGOTÁ D.C
2019**



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

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.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma Presidente del Jurado

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá D.C., 16 de noviembre de 2019

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, mi esposa Karen por su comprensión, apoyo incondicional en cada decisión y proyecto que emprendo. En especial quiero hacer una dedicatoria a mi futura hija Violeta. *«Nunca digas que el cielo es el límite cuando hay huellas en la luna, Frase de Paul Brandt ».*

Oscar J. Martínez

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar este trabajo quiero utilizar este espacio para agradecer a Dios por todas sus bendiciones.

Por otra parte, a la Universidad Católica de Colombia por abrir un espacio académico favorable para el conocimiento y el desarrollo de mis capacidades, al Arquitecto Oscar Antonio Vaca Velandia, por dedicar amablemente parte de su tiempo y conocimientos que enriquecieron, la guía metodológica del desarrollo del trabajo de investigación.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO	14
1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	14
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	15
1.2.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.2.3 VARIABLES DEL PROBLEMA.....	16
1.3 JUSTIFICACIÓN	17
1.4 OBJETIVOS	19
1.5 CRONOGRAMA.....	20
1.6 PRESUPUESTO	21
2 MARCO DE REFERENCIA.....	22
2.1 MARCO TEÓRICO.....	22
2.1.1 HISTORIA MODERNA DE LAS TECNOLOGÍAS SIN ZANJA.....	22
2.1.2 HISTORIA EN COLOMBIA DE SISTEMAS SIN ZANJA.....	26
2.1.3 GENERALIDADES DE LA EXCAVACIÓN A ZANJA ABIERTA (CONVENCIONAL)	27
2.1.4 GENERALIDADES RENOVACIÓN CON SISTEMA PIPE BURSTING.....	32
2.1.5 MÉTODOS DE PIPE BURSTING	33
2.2 MARCO JURÍDICO	37
2.3 MARCO GEOGRAFICO.....	39
2.4 MARCO DEMOGRAFICO	41
2.5 ESTADO DEL ARTE	43
3 METODOLOGÍA.....	45
3.1 FASES DEL TRABAJO DE GRADO	45
3.2 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS	46
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	46
3.4 ALCANCES Y LIMITACIONES	47
4 PRODUCTO A ENTREGAR.....	48

5	RESULTADOS	49
5.1	ANÁLISIS DESDE EL ASPECTO ECONÓMICO DE LOS COSTOS DIRECTOS.....	49
5.1.1	COSTOS DIRECTOS EN ACTIVIDADES PRELIMINARES	49
5.1.2	COSTOS DIRECTOS EN ACTIVIDADES DEMOLICIÓN.....	50
5.1.3	COSTOS DIRECTOS EN ACTIVIDADES EXCAVACIÓN	50
5.1.5	COSTOS DIRECTOS EN ACTIVIDADES INSTALACIÓN RELLENOS	50
	55
5.2	ANÁLISIS ESTRATÉGICO PARA LA TOMA DE DECISIONES UTILIZANDO HERRAMIENTAS COMO EL ÁRBOL DE PROBLEMAS , LA MATRIZ DOFA Y LA MATRIZ DE RIESGOS.....	58
5.2.1	ÁRBOL DE PROBLEMA UTILIZANDO EL SISTEMA A ZANJA ABIERTA.....	58
5.2.2	MATRIZ DOFA PARA EL SISTEMA A ZANJA ABIERTA.....	59
5.2.3	MATRIZ DOFA PARA EL SISTEMA PIPE BURSTING	60
5.2.4	MATRIZ DE RIESGOS SISTEMA A ZANJA ABIERTA Y SISTEMA PIPE BURSTING.....	61
5.2.5	ANÁLISIS DESDE LA PROGRAMACIÓN Y TIEMPO DE EJECUCIÓN.....	64
5.2.6	ANÁLISIS DESDE EL IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL	66
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS E IMPACTOS	69
6.1	APORTE DE LOS RESULTADOS A LA GERENCIA DE OBRAS	69
6.2	CÓMO SE RESPONDE A LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN CON LOS RESULTADOS	70
6.3	ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN Y DIVULGACIÓN.....	71
7	NUEVAS ÁREAS DE ESTUDIO.....	72
8	CONCLUSIONES.....	73
9	BIBLIOGRAFÍA	75
10	ANEXOS	80

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 PRESUPUESTO GLOBAL DE LA PROPUESTA (EN MILES DE \$)	21
TABLA 2 ANCHOS MÁXIMOS DE EXCAVACIÓN - (FUENTE: HTTPS://WWW.ACUEDUCTO.COM.CO/WEBDOMINO/SISTEC/CONSULTAS.NSF)....	30
TABLA 3 PROFUNDIDAD MÍNIMA DE TUBERÍA (FUENTE: HTTPS://WWW.ACUEDUCTO.COM.CO/WEBDOMINO/SISTEC/CONSULTAS.NSF)....	30
TABLA 4 CONDICIONES LÍMITE (FUENTE: HTTPS://WWW.ACUEDUCTO.COM.CO/WEBDOMINO/SISTEC/CONSULTAS.NSF)....	31
TABLA 5 PRELIMINARES (EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO)	51
TABLA 6 PRELIMINARES (PIPE BURSTING).....	51
TABLA 7 DEMOLICIONES (EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO).....	52
TABLA 8 DEMOLICIÓN (PIPE BURSTING)	52
TABLA 9 EXCAVACIÓN (EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO).....	53
TABLA 10 EXCAVACIÓN (PIPE BURSTING).....	53
TABLA 11 TUBERÍA (EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO)	54
TABLA 12 TUBERÍA (PIPE BURSTING)	54
TABLA 13 RELLENOS (EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO).....	56
TABLA 14 RELLENOS (PIPE BURSTING).....	56
TABLA 15 EMPATES ACUEDUCTO (EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO)	57
TABLA 16 EMPATES ACUEDUCTO (PIPE BURSTING).....	57
TABLA 17 MATRIZ DOFA PARA EL SISTEMA A ZANJA ABIERTA (ELABORACIÓN AUTOR)	59
TABLA 18 MATRIZ DOFA PARA EL SISTEMA PIPE BURSTING (ELABORACIÓN AUTOR).....	60
TABLA 19 TABLA RESUMEN APeldoorn (VALOR COSTOS INDIRECTOS).....	67
TABLA 20 TABLA RESUMEN APeldoorn CON PRECIOS MONEDA COLOMBIA	67
TABLA 21 RESUMEN VALOR COSTO ESTIMADO USANDO CADA UNO DE LOS SISTEMAS.....	68
TABLA 22 COMPARACIÓN ASPECTOS EVALUADOS.....	70

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS 1 MIEMBROS ISTT (FUENTE: HTTP://WWW.ISTT.COM/INDEX/AFFILIATED-SOCIETIES#).....	23
FIGURAS 2 TIPOS DE EXTENSORES (FUENTE: GUIDELINES FOR PIPE BURSTING, USA, 2008).....	34
FIGURAS 3 MAPA DE BOGOTÁ DE LOCALIDADES POR ESTRATOS SOCIOECONÓMICOS FUENTE: SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN (SDP), ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, COLOMBIA.....	39
FIGURAS 4 UBICACIÓN ZONA DE ESTUDIO PROYECTO FUENTE: GOOGLE MAPS (HTTPS://WWW.GOOGLE.COM/MAPS/@4.7113589,-74.0485435,15.37z).....	40
FIGURAS 5 MAPA DE BOGOTÁ DE LOCALIDADES POR ESTRATOS SOCIOECONÓMICO.....	40

LISTA DE ILUSTRACIÓN

ILUSTRACIÓN 1 CRONOGRAMA ACTIVIDADES PROYECTO DE GRADO (ELABORACIÓN AUTOR)	20
ILUSTRACIÓN 2 SISTEMAS INSTALACIÓN TUBERÍAS (ELABORACIÓN AUTOR).....	24
ILUSTRACIÓN 3 CRONOLOGÍA DEL DESARROLLO DE LOS MÉTODOS SIN ZANJA (ELABORACIÓN AUTOR)	25
ILUSTRACIÓN 4 SISTEMA PIPE BURSTING (FUENTE: ISTT_PRESENTATION PIPEBURSTING.PDF.).....	33
ILUSTRACIÓN 5 COMPONENTES DEL MÉTODO DE ROTURA NEUMÁTICA FUENTE: HTTPS://WWW.ACUEDUCTO.COM.CO/WEBDOMINO/SISTEC/CONSULTAS.NSF	34
ILUSTRACIÓN 6 COMPONENTES MÉTODO DE EXPANSIÓN HIDRÁULICA FUENTE: HTTPS://WWW.ACUEDUCTO.COM.CO/WEBDOMINO/SISTEC/CONSULTAS.NSF	35
ILUSTRACIÓN 7 COMPONENTES DEL MÉTODO DE HALADO ESTÁTICO FUENTE: HTTPS://WWW.ACUEDUCTO.COM.CO/WEBDOMINO/SISTEC/CONSULTAS.NSF	36
ILUSTRACIÓN 8 DENSIDAD POBLACIONAL DE BOGOTÁ (ELABORACIÓN PROPIA – FUENTE: SECRETARIA DISTRITAL DE PLANEACIÓN)	42
ILUSTRACIÓN 9 COMPARACIÓN DE COSTOS DIRECTOS EN ACTIVIDADES PRELIMINARES (ELABORACIÓN AUTOR)	51
ILUSTRACIÓN 10 COMPARACIÓN DE COSTOS DIRECTOS EN ACTIVIDADES DEMOLICIÓN (ELABORACIÓN AUTOR)	52
ILUSTRACIÓN 11 COMPARACIÓN DE COSTOS DIRECTOS EN ACTIVIDADES EXCAVACIÓN (ELABORACIÓN PROPIA.....	53
ILUSTRACIÓN 12 COMPARACIÓN DE COSTOS DIRECTOS EN ACTIVIDADES INSTALACIÓN TUBERÍA (ELABORACIÓN PROPIA).....	54
ILUSTRACIÓN 13 COMPARACIÓN DE COSTOS DIRECTOS EN ACTIVIDADES DE RELLENOS Y REPARACIONES	56
ILUSTRACIÓN 14 COMPARACIÓN DE COSTOS DIRECTOS EN ACTIVIDADES DE EMPATES ACUEDUCTO (ELABORACIÓN PROPIA)	57
ILUSTRACIÓN 15 ÁRBOL DE PROBLEMA PARA LA EXCAVACIÓN A ZANJA ABIERTA (ELABORACIÓN AUTOR)	58
ILUSTRACIÓN 16 PROGRAMACIÓN DE SISTEMA A ZANJA ABIERTA (ELABORACIÓN AUTOR).....	64
ILUSTRACIÓN 17 PROGRAMACIÓN DE SISTEMA PIPE BURSTING (ELABORACIÓN AUTOR).....	65
ILUSTRACIÓN 18 IMPACTOS SOCIALES Y AMBIENTALES PRODUCTO DE LAS EXCAVACIONES (ELABORACIÓN AUTOR)	66

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 A.P.U.S (ZANJA ABIERTA - ELABORACIÓN AUTOR).....	80
ANEXO 2 A.P.U.S (ZANJA ABIERTA - ELABORACIÓN AUTOR).....	81
ANEXO 3 A.P.U.S (ZANJA ABIERTA - ELABORACIÓN AUTOR).....	82
ANEXO 4 A.P.U.S (ZANJA ABIERTA - ELABORACIÓN AUTOR).....	83
ANEXO 5 A.P.U.S (PIPE BURSTING- ELABORACIÓN AUTOR).....	84
ANEXO 6 A.P.U.S (PIPE BURSTING- ELABORACIÓN AUTOR).....	85
ANEXO 7 PRESUPUESTO EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO (ELABORACIÓN AUTOR)	86
ANEXO 8 PRESUPUESTO SISTEMA PIPE BURSTING (ELABORACIÓN AUTOR).....	87
ANEXO 9 CRONOGRAMA ACTIVIDADES EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO (ELABORACIÓN AUTOR)	88
ANEXO 10 CRONOGRAMA ACTIVIDADES EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO (ELABORACIÓN AUTOR)	89
ANEXO 11 ANÁLISIS REDES ACUEDUCTO POR LOCALIDAD BOGOTÁ (ELABORACIÓN AUTOR)	90
ANEXO 12 ANÁLISIS REDES ACUEDUCTO POR LOCALIDAD BOGOTÁ (ELABORACIÓN AUTOR)	90
ANEXO 13 ANÁLISIS REDES ACUEDUCTO POR LOCALIDAD BOGOTÁ (ELABORACIÓN AUTOR)	90
ANEXO 14 ANÁLISIS REDES ACUEDUCTO POR LOCALIDAD BOGOTÁ (ELABORACIÓN AUTOR)	90

GLOSARIO

AVN: Máquina tuneladora con sistema de transporte de material por medio de mangueras.

CCTV: Circuito cerrado de televisión.

CIPP: Método de rehabilitación con tubería Curada en sitio.

CP: Método de Inserción con Previo doblado del Tubo.

EAAB: Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá.

EPM: Empresas públicas de Medellín.

ESP: Empresas de servicios públicos.

HDD: Perforación Horizontal Dirigida.

HDPE: Tubería en Polietileno de alta densidad

ICTIS: Instituto Colombiano de Tecnologías de Infraestructura subterránea.

ISTT: Asociación Internacional de Tecnología sin Zanjas.

PE: Polietileno.

PMT: Plan de Manejo de tránsito.

PVC: Cloruro de Polivinilo.

SINA: Sistema Nacional Ambiental.

TSZ: Tecnologías sin zanja.

INTRODUCCIÓN

El impacto al entorno social, ambiental, económico, de seguridad y movilidad que se generan al momento de realizar intervenciones de rehabilitación o mejoramiento para las redes de acueducto y alcantarillado, ubicadas en espacios públicos; determinan las grandes dificultades que deben afrontar las empresas constructoras y las empresas de servicios públicos, al momento de ejecutar dichas actividades.

El presente trabajo de investigación busca plantear como alternativa de solución para la renovación de redes de acueducto y alcantarillado, El sistema Pipe Bursting o también llamado fractura de tubería que consiste en instalación de nueva tubería en el espacio ocupado por un tubo antiguo, el cual se destruye previamente e incorpora al suelo circundante. Por consiguiente, ante la demanda de la instalación de nuevos sistemas de servicios públicos subterráneos, en áreas congestionadas con líneas de servicios públicos existentes; ha aumentado la necesidad de sistemas innovadores y económicos. **(Santiago, 2015, págs. 6-7)**

En la ciudad de Bogotá se vienen realizando trabajos en redes de alcantarillado usando los métodos de construcción sin zanja; En la literatura se evidencia el empleo de este modelo ligándolo a dos aspectos esenciales: primero, al crecimiento de la población por la alta demanda de redes de servicios públicos en las ciudades. Segundo, lo asocian a la edad y al estado actual de los sistemas. siendo estos, parámetros que son determinantes para tomar decisiones sobre la gestión de las redes. **(Pinzón, 2011, págs. 22-23)**

Teniendo en cuenta lo anterior; en el presente trabajo se pretende hacer una comparación entre el sistema tradicional usando zanjas o perforación a cielo abierto, y el uso de tecnologías sin Zanjas por medio del Sistema Pipe Bursting., analizando factores determinantes en la toma de decisiones al momento de ejecutar una obra civil de estas características , tales como, tiempos de ejecución, costos, factibilidad económica, técnicas constructivas, impactos sociales y ambientales, de tal forma, que el presente proyecto ayudará a establecer las ventajas, al momento de utilizar el sistema Pipe Bursting, como método de solución al momento de evaluar un proyecto de características de renovación de redes de acueducto y alcantarillado. Para tal fin, se evaluará como muestra de investigación, la renovación de redes de acueducto y alcantarillado que se ejecutará en la Carrera 19 # 128b -32 (proyecto Saint Thomas – Constructora Colpatria), donde se buscará a nivel del análisis gerencial de obra, la viabilidad técnica constructiva y factibilidad económica del sistema Pipe Bursting frente al sistema de renovación tradicional de redes de acueducto y alcantarillado.

1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Por las necesidades de profundizar en una alternativa de solución, el proyecto de investigación se enfocará en la línea de “GESTIÓN INTEGRAL Y DINÁMICA DE LAS ORGANIZACIONES EMPRESARIALES” de acuerdo a los lineamientos dispuestos por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Colombia, toda vez que, al realizar este estudio, se busca determinar la viabilidad de implementar el uso de esta tecnología del sistema Pipe Bursting en las obras ingenieriles cuyo, objetivo sea la rehabilitación o mejoramiento de redes de acueducto y alcantarillado.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estado desfavorable de las redes de acueducto y alcantarillado, y su diseño obsoleto, provocan colapsos y rupturas del sistema de abastecimiento y desagüe. Lo que obliga a realizar un constante mantenimiento y en algunos casos renovación de las líneas de suministro. Los trabajos de renovación de redes de acueducto y alcantarillado resultan en gran medida incómodos para las comunidades de los sectores donde se realizan los trabajos, ya que para ello se tiene que cerrar algún carril o, en la mayoría de los casos, cerrar la calle para intervenir la zona, lo que ocasiona congestiones vehiculares, además que se tienen que realizar Planes de Manejo de Tránsito (P.M.T.), con la finalidad de controlar el tráfico afectado. Y en la población en general molestias por la generación de malos olores a causa de los alcantarillados, cortes prolongados del servicio, inseguridad de las zonas intervenidas, adicional a esto el perjuicio económico generado a los propietarios de los locales comerciales a causa de los cierres.

A razón de esto, Existe la necesidad de buscar nuevas técnicas o métodos de trabajo en obra que reduzcan los costos, mejoren la producción, minimicen los daños tanto sociales como ambientales al máximo, sin dejar de lado la calidad técnica del trabajo a realizar y que logre culminar la obra en el tiempo propuesto inicialmente.

Por ello, se plantea el estudio de factibilidad económica y de negocio para el sistema de excavación sin zanja, Pipe Bursting, como solución al problema planteado, enfocándose en las ventajas técnicas y económicas que ofrece el sistema frente al sistema tradicional de excavación a zanja abierta. Todo es esto es a raíz de que la mayoría de los contratos de la E.A.A.B.; para renovación de redes de acueducto y alcantarillado, se realizan con el sistema tradicional. Acarreando

sobrecostos de ejecución, afectación al espacio público y sobre todo inconvenientes a la comunidad.

1.2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

El acueducto de Bogotá cuenta con 130 años, entro en servicio el 2 de julio de 1888, con el primer tramo de tubería de hierro en el centro de Bogotá, construcción de canales de servicio que todavía persisten en el centro de la ciudad. **(Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Btá)** Se estima que la ciudad de Bogotá cuenta con aproximadamente con 8000 kilómetros de tubería de acueducto, 4000 kilómetros de alcantarillado sanitario y 2500 kilómetros de alcantarillado pluvial, **(El Espectador, 2018)** para lo cual se considera aproximadamente, el 78 % de las redes de acueducto y alcantarillado sanitario y pluvial superan los 50 años y en su mayoría requieren de rehabilitación o renovación de las redes **(Penagos, 2010)**

Por lo que, se hace necesario implementar sistemas de renovación de redes de acueducto y alcantarillado que generen impacto sostenible y sustentable en el tiempo, en donde sean más los beneficios para el desarrollo de las comunidades, ya que como se indicó anteriormente en Bogotá, existe un gran porcentaje de redes de tuberías que requieren urgentemente su renovación y mantenimiento. Actualmente estos procesos de renovación incurren en altos costos y tiempos. Lo anterior puede ser mitigado, si se implementará más sistemas de renovación diferentes al no convencionales (Excavación a cielo abierto), y es ahí donde toma un papel importante el sistema de excavación sin zanja, Pipe Bursting; es de resaltar como dato investigativo, que en Colombia y propiamente en Bogotá, son pocos los proyectos constructivos de renovación de redes de acueducto y alcantarillado que han implementado el sistema de excavación sin zanja, Pipe Bursting.

Actualmente en Colombia existe una organización llamada ICTIS, (Instituto Colombiano de Tecnologías de Infraestructura subterránea), la cual tiene información que ayuda a la identificación y aplicación de las tecnologías de excavación sin zanja , sin embargo esta organización no cuenta con un manejo de datos cuantificables o documentos que demuestre los beneficios de este sistema Pipe Bursting, la falta de información y datos podrían ser las causas que limita a las empresas Colombianas prestadoras de servicios, ya que, al no ver los beneficios y la conveniencia al implantar estos procedimientos para la población de la ciudad, siguen utilizando los métodos convencionales de instalación de tuberías. **(J. A. Alarcón y J. L. Pacheco, 2014)**

Todos estos antecedentes le proporcionaran al trabajo de grado una gran importancia, ya que brindaría una considerable fuente de información para el análisis de este tipo de problemas en el sector de la ingeniería civil. En este sentido,

el trabajo se enfocará específicamente en la recolección de datos que demuestren la factibilidad, económica, tiempo de ejecución e impacto social y ambiental, comparándolo con el sistema tradicional de renovación que se realiza en la ciudad de Bogotá.

1.2.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Cómo se puede determinar, ¿cuál de los sistemas “Pipe Bursting” vs “Excavación a zanja abierta”, ¿es el más apropiado para la renovación de redes de acueducto y alcantarillado de la ciudad de Bogotá?

1.2.3 VARIABLES DEL PROBLEMA

- Renovación de redes de acueducto y alcantarillado: Es necesario que se realice los trabajos de renovación de redes en la ciudad de Bogotá, ya que como se reseñó anteriormente, el 78% de las redes de acueducto y alcantarillado de la ciudad, cuentan con más de 50 años de antigüedad. Razón por la cual, los sistemas están operando por debajo de su capacidad de servicio y requieren ser renovados.
- Modelo de factibilidad técnica y económica: De acuerdo con las bondades del sistema se puede establecer que, en la medida de hacer unas intervenciones que no sean tan invasivas en la parte urbana y que se puedan hacer las renovaciones pertinentes, se considera que el sistema propuesto, es el indicado al momento de ahorrarse el obligado presupuesto destinado en la recuperación del espacio público intervenido, así mismo, que el sistema es amigable con el medio ambiente y el entorno social.
- Operación del sistema: El método o sistema Pipe Bursting, es el único de los sistemas sin zanja que permite un aumento del diámetro de la red intervenida, así tiene la facilidad de trabajar con cualquier tipo de tubería, normalmente utiliza tubería PEAD (Polietileno de Alta Densidad), la cual puede garantizar una operación de servicio, por casi 80 años.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Las afectaciones a los entornos urbanos, sociales y ambientales derivados de la ejecución de obras de infraestructura como las redes de alcantarillado y acueducto, son cada vez menos toleradas por la ciudadanía; esto ha hecho necesario, tener que aplicar técnicas constructivas no invasivas entre las cuales se encuentran las tecnologías sin zanja. **(H. Ávila & W. Clavijo , 2002)**, así mismo ha conllevado a que los proyectos constructivos, busquen alternativas que generen bajo costo ambiental y económico y es así como toma relevancia el tema de investigación que se ha propuesto realizar generando el comparativo económico y técnico entre los sistemas convencionales y el sistema “PIPE BURSTING”, teniendo en cuenta las disposiciones legales que en la Constitución política de Colombia, en el artículo 366 resalta que la función del estado, es 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. Cabe mencionar que en la Ley 99 de 1993, el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena como el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y se organiza como el nuevo Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se dictan las siguientes disposiciones que competen al caso de investigación: **(Ministerio del interior, 2019)**

- El proceso de desarrollo económico y social del país se orientará según los principios universales y del desarrollo sostenible contenidos en la Declaración de Rio de Janeiro de junio de 1992 sobre Medio Ambiente y Desarrollo.
- En la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso.
- 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.
- La formulación de las políticas ambientales tendrá en cuenta el resultado del proceso de investigación científica. No obstante, las autoridades ambientales y los particulares darán aplicación al principio de precaución conforme al cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente.

Por consiguiente, 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. Por otra parte, se establece que, la población de la ciudad de Bogotá va en aumento y esto ha generado una mayor demanda de servicios públicos y recursos naturales, por lo que es necesario la realización de este tipo de obras, donde las tecnologías sin zanja se convierten en una opción particularmente atractiva en zonas urbanizadas.

De ahí que el proyecto de investigación se enfocará en el estudio de un modelo óptimo de factibilidad económico de un proyecto, cuya característica sea la renovación de redes de acueducto y alcantarillado, dando al inversionista y al gerente en cargo del proyecto, las herramientas suficientes y criterios técnico – económicos, en la fase de formulación del proyecto y logre identificar las posibilidades de éxito o fracaso del proyecto de inversión.

1.4 OBJETIVOS

Objetivo General

- Identificar a través del sistema sin zanja Pipe Bursting, en comparación con el sistema tradicional de excavación a cielo abierto, el costo-beneficio y el análisis de factibilidad de proyecto.

Objetivos específicos

- Identificar las características, alcance y limitación del sistema sin zanja Pipe Bursting, con respecto a su viabilidad económica.
- Analizar los antecedentes del sistema sin zanja Pipe Bursting y el sistema tradicional, para identificar su factibilidad de negocio.
- Comprender las diferencias económicas y sus impactos de negocio de los sistemas sin zanja Pipe Bursting y el sistema tradicional en un proyecto constructivo.

1.5 CRONOGRAMA

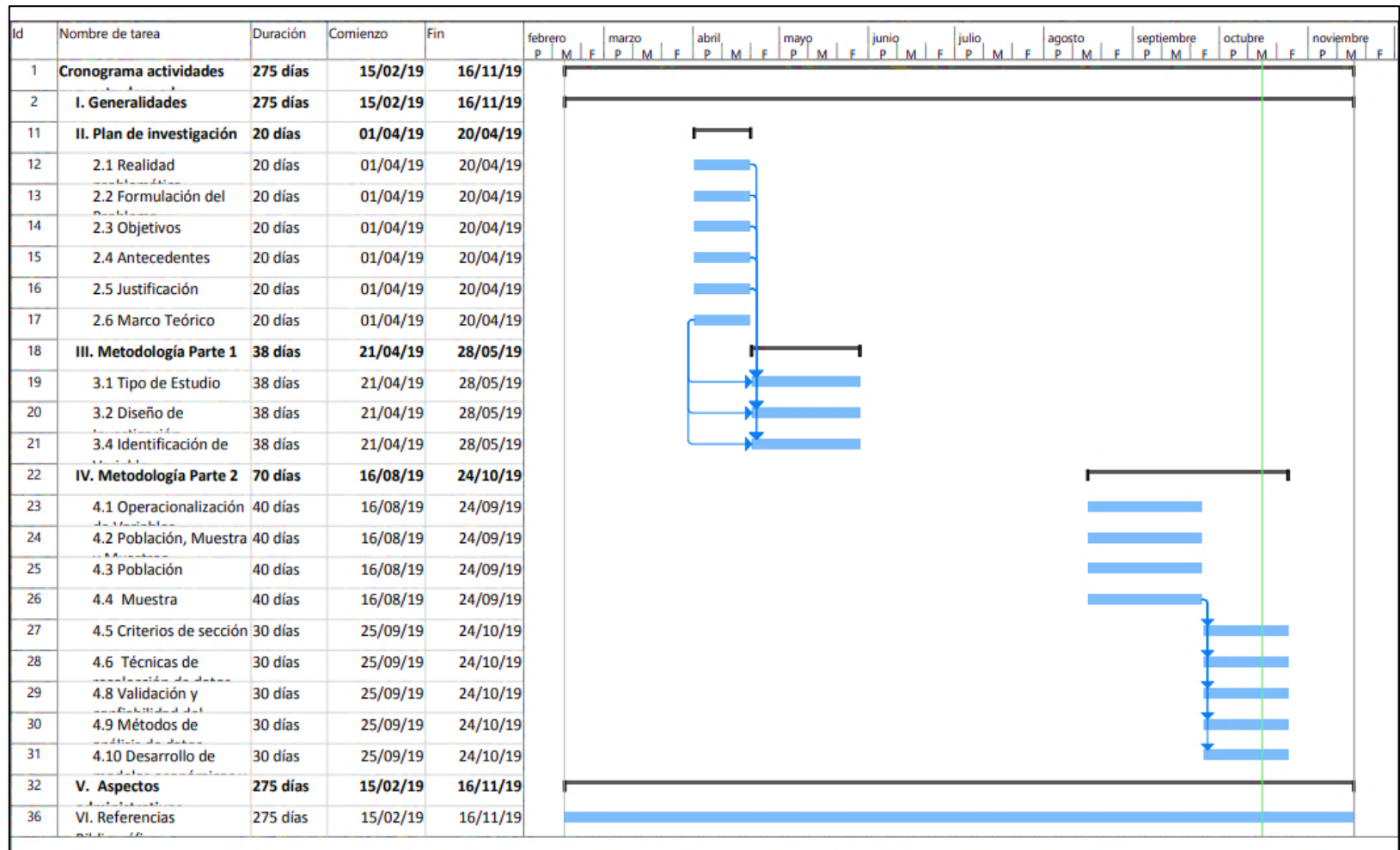


Ilustración 1 Cronograma actividades proyecto de grado (elaboración autor)

1.6 PRESUPUESTO

Tabla 1 Presupuesto global de la propuesta (en miles de \$)

RUBROS	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
PERSONAL				
Honorarios Investigador	Hora	300	\$ 22,500.00	\$ 6,750,000.00
Honorarios Asesor	Hora	80	\$ 35,500.00	\$ 2,840,000.00
EQUIPOS				
Computador	Mes	6	\$ 150,000.00	\$ 900,000.00
Internet	Mes	6	\$ 120,000.00	\$ 720,000.00
Impresora	Mes	6	\$ 85,000.00	\$ 510,000.00
SOFTWARE				
Paquete office	Mes	6	\$ 45,000.00	\$ 270,000.00
AutoCAD	Mes	6	\$ 25,000.00	\$ 150,000.00
MATERIALES				
Fotocopias	Glb	1	\$ 145,000.00	\$ 145,000.00
Papelería	Glb	1	\$ 287,000.00	\$ 287,000.00
MATERIAL BIBLIOGRÁFICO				
Libros	Glb	1	\$ 125,000.00	\$ 125,000.00
SALIDAS DE CAMPO				
Transportes	Mes	6	\$ 10,000.00	\$ 60,000.00
Viáticos	Mes	6	\$ 16,000.00	\$ 96,000.00
TOTAL				\$ 12,853,000.00

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 HISTORIA MODERNA DE LAS TECNOLOGÍAS SIN ZANJA

Las tecnologías sin zanja (en inglés Trenchless Technologies o abreviadas TT) representan un conjunto de procedimientos cuya finalidad es construir, rehabilitar o reparar todo tipo de tuberías entre las cuales se pueden destacar alcantarillados, acueductos, redes eléctricas, de comunicaciones y de gas natural. Como su nombre lo indica, este tipo de tecnologías tiene como finalidad la construcción o instalación de estos conductos sin realizar zanjas. Sin embargo, normalmente es necesaria la excavación de un pozo de entrada y un pozo de salida para los equipos a utilizar.

Las tecnologías sin zanja son conocidas y aplicadas a nivel mundial desde los 60s, desarrollados en Japón y Australia, lugares donde son muy populares. En los 80s, un equipo japonés-alemán desarrolló el proyecto de micro túnel en Hamburgo, para esta década no existían más de 15 micro-tuneladoras en Europa. Al mismo tiempo se estaba usando esta tecnología en Medio oriente para renovar las tuberías de asbesto cemento. **(Barbosa, 2013)**

En los 90s, la industria del petróleo en Norte América y Europa con largas líneas de tuberías cruzadas creó la necesidad de realizar perforaciones dirigidas, se realizaban con topes de diámetros menores, para realizar perforaciones piloto bajo cauces de ríos, vías, y ferrovías entre otras. Luego se podían ensanchar con un rimador al escariar progresivamente los túneles piloto, logrando de esta manera un mínimo impacto ambiental y reducción en tiempos de ejecución de obra. **(Barbosa, 2013)**

Fue en Londres en 1985, durante la conferencia de Ingenieros en salud publica titulada “Sin Excavar 85”, donde se empezaron a utilizar los términos de “Tecnología sin zanja”, y “Sin excavar”. Aunque ya era reconocida la necesidad de implementar alternativas técnicas para la construcción de redes de infraestructura subterránea, existía un gran dilema por el desconocimiento general sobre estas, entendiendo que su desarrollo había sido un proceso en gran parte empírico, además de la sensación ocasionada en el sector civil debido a que estas mismas implicaban un volumen muy inferior de mano de obra, generando pánico en el sector obrero que se oponía a ser desplazado durante una época de efervescencia política por las condiciones económicas y de escasa estabilidad por parte del sector proletario, que debía gran parte de su ocupación al desarrollo de las obras de infraestructura en las grandes ciudades. A pesar de las posiciones enfrentadas, la

necesidad de promover de forma organizada la implementación de alternativas para extender los servicios básicos, con un mínimo de intervención y afectación del espacio público motivo a la formación de una asociación de profesionales, consultores, constructores e industriales que consientes no solo del carácter ambiental y técnico, previeron e la tecnología sin zanja una alternativa eficiente, ambiental y comercialmente viable, así se fundó en 1986 la sociedad ISTT (Asociación Internacional de Tecnologías Sin Zanja), **(Barbosa, 2013)**



Figuras 1 Miembros ISTT (Fuente: <http://www.istt.com/index/affiliated-societies#>)

Actualmente existen 33 países afiliados a la sociedad ISTT (Asociación Internacional de Tecnologías Sin Zanja), que está conformada por 20 países europeos, 6 asiáticos, 1 Oceanía, 1 de africano, 2 suramericanos, 1 centroamericano y 2 norteamericanos. A su vez, varios países tienen más de un miembro afiliado, completando en la sociedad ISTT alrededor de 56 miembros activos. Y anualmente, realizan eventos para exponer las nuevas tecnologías sin zanja y técnicas constructivas.

En Colombia la sociedad perteneciente al ISTT, se llama Instituto Colombiano de Tecnologías de Infraestructura Subterránea (ICTIS), el cual fue fundado desde el 2009 hasta la fecha. Cuyas finalidades son los aspectos ambientales, servicios en temas de las tecnologías “Trenchless” y de la Infraestructura Subterránea.

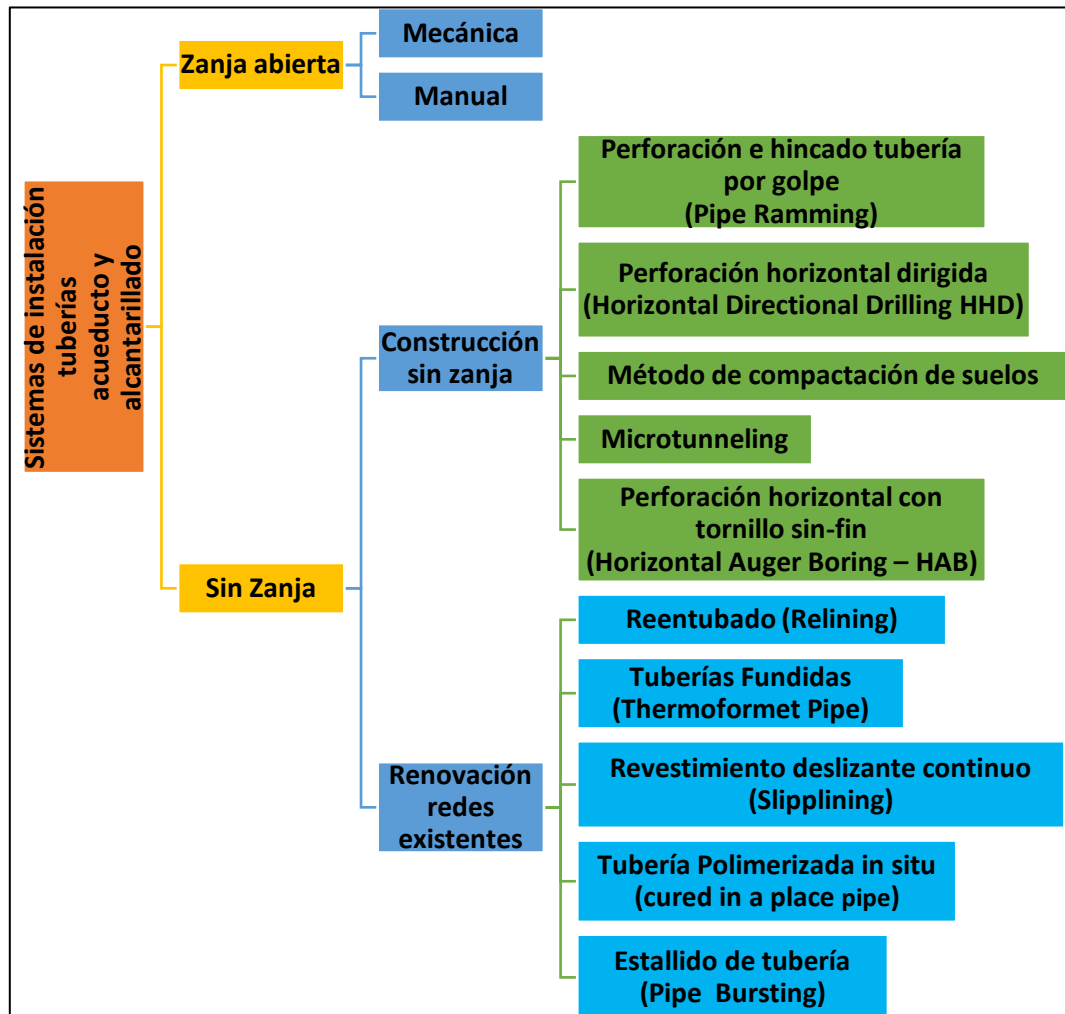


Ilustración 2 Sistemas instalación tuberías (elaboración autor)

En las ilustraciones 2-3, se muestra los distintos sistemas de instalación de tuberías existentes, dependiendo del método constructivo que se quiera utilizar, así mismo, mostrar la evolución de los métodos sin zanja empleados a nivel mundial a través del tiempo.

El sistema Pipe Bursting, es un sistema de renovación de redes existentes, el cual tiene la ventaja de ser el más documentado y estudiado, frente a los otros sistemas de renovación. Lo que facilita el desarrollo del presente trabajo.

Cronología del desarrollo de los métodos sin zanja

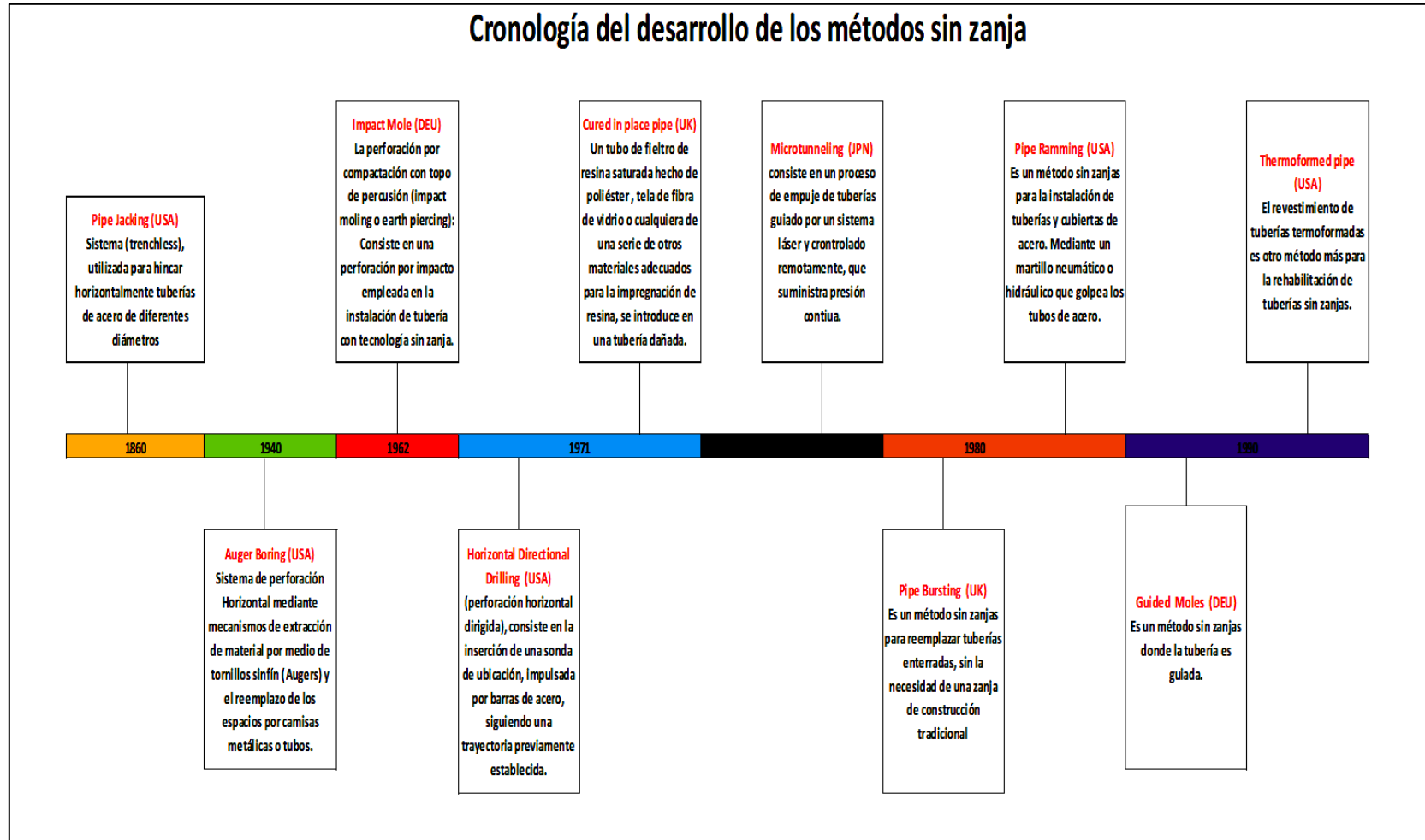


Ilustración 3 Cronología del desarrollo de los métodos sin zanja (elaboración autor)

2.1.2 HISTORIA EN COLOMBIA DE SISTEMAS SIN ZANJA

A nivel de Latinoamérica, se introdujeron inicialmente a principios de los 90s; con el método de perforación horizontal dirigida y el microtuneleo; iniciando en el área de las telecomunicaciones principalmente en países desarrollados como los Estados Unidos y Europa; lo que generó sentimientos de incertidumbre en las empresas contratistas al desconocer este sistema que reemplazará los métodos convencionales lo que considera una nueva innovación. 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.

En los países en desarrollo como Guatemala, Colombia, Ecuador, entre otros, se siguen implementando los procesos tradicionales a zanja abierta, métodos que generan daños de tipo social y ambiental que requieren de una mayor inversión de tiempo de ejecución y recursos. **(Viana, 2004)** En nuestro país, hay aproximadamente 45.5 millones de habitantes, de los cuales el 80% se encuentra ubicado en zonas urbanas **(Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2019)**; Por ejemplo, las tres principales ciudades del país (Bogotá, Medellín y Cali) suman en conjunto unos 13000 km de redes de acueducto y cerca de unos 14000 km de redes de alcantarillado.

En el año 2014, se mencionó por primera vez en la historia de la renovación del sistema de alcantarillado público en Colombia, Medellín fue el escenario para la rehabilitación de la red de servicio de acueducto y alcantarillado en la zona céntrica de la ciudad, sin romper un metro de asfalto. La idea era intervenir con las tecnologías sin zanjas 40,6 kilómetros de redes acueducto y 34,6 kilómetros de alcantarillado. **(Radio, s.f.)**

Efectivamente en 2015 EPM inició las obras con el objeto de modernizar y reponer las redes de acueducto y alcantarillado del centro de la ciudad, proyecto denominado Centro Parrilla, valorado en COP 207 mil millones y con una implementación del 85% en Tecnologías Sin Zanja: CIPP, MPJ, HDD, Pipe Bursting, Tunnel Liner, Close fit lining, Packer, Milling and Renin Robots, CCTV entre otras. Si bien estos dos proyectos marcaron un inicio en la implementación de las Tecnologías Sin Zanja, los nuevos proyectos de construcción de redes de servicios públicos siguen teniendo participaciones mínimas de intervención sin zanja. En Bogotá, estaban en etapa de diseño para la ejecución de la misma metodología y tecnología en esa misma época.

2.1.3 GENERALIDADES DE LA EXCAVACIÓN A ZANJA ABIERTA (CONVENCIONAL)

¿Qué son las excavaciones a cielo abierto o zanja abierta?

Se puede definir como, todas aquellas actividades que se realizan en condiciones naturales de iluminación, ventilación y drenaje, con la finalidad de extraer el material del sitio previamente definido, con la particular características de tener previamente un diseño elaborado, técnica de ejecución y recursos (equipos, herramientas y personal), para obtener los espacios necesarios que permitan realizar una actividad prevista.

2.1.3.1 CLASES DE EXCAVACIONES A ZANJA ABIERTA

Excavación Manual: Excavar y remover el material procedente del terreno, sin uso de maquinaria, cuyo volumen sea de menor cuantía, donde los trabajadores utilizan su fuerza física, con la ayuda de herramientas menores (palas, picas, barras de acero, carretillas, entre otras).

Actividades de la excavación manual; La siguiente información fue tomada de la (Guía trabajo seguro en excavaciones - ministerio del trabajo comisión nacional de salud ocupacional del sector de la construcción, 2014)

- Señalización del área del trabajo: El área que va a hacer intervenida se señala con cinta de seguridad, delineadores de señalización y señalización visual. En caso de que la excavación sea mayor a 1.5 m de profundidad se colocan defensas y medidas de acuerdo con el instructivo de señalización y demarcación de áreas.
- Localización trazado y replanteo: La comisión de topografía localiza las estructuras y obras en el terreno.
- Corte manual del material: Los trabajadores realizan la excavación con ayuda de herramienta menor (pala, pica), hasta llegar a las cotas establecidas por el diseño.
- Cargue, transporte y disposición: El material resultante de la excavación manual se deja mínimo a 1 m del borde de la excavación, este material se debe mantener señalizado con cinta y varillas. Cuando sea necesario se traslada con carretilla el material a otro sitio despejado para posteriormente ser cargados con la retroexcavadora o retro cargador.

Excavación Mecánica: se ejecuta con equipo pesado o máquinas excavadoras. Los equipos o maquinas deben ser operados por personal idóneo. Se debe tener en cuenta que siempre que está ejecutando cualquier excavación la tierra que se saca aumenta de volumen entre un 20% a un 40% de acuerdo con la naturaleza del terreno.

Actividades de la excavación Mecánica: La siguiente información fue tomada de la (Guía trabajo seguro en excavaciones - ministerio del trabajo comisión nacional de salud ocupacional del sector de la construcción, 2014)

- Planeación de actividad: Previo a una excavación se realizará el retiro de cualquier obstáculo previsible como postes, cercas y demás y de acuerdo con las condiciones de operación debe prepararse una plataforma de trabajo para operación de equipos y personal, esta plataforma, con las respectivas protecciones y medidas de seguridad industrial para que estos accesos minimicen riesgos a personal, maquinaria, equipo, instalaciones o al medio ambiente.
- Capacitación de todos los trabajadores que desarrollen actividades dentro o cerca de la labor de excavación.
- Señalización y delimitación de la obra
- Revisión del replanteo: Se tomarán dos distancias de referencias de la excavación a realizar para verificar que sean iguales a las de los planos de construcción. La actividad topográfica se realiza de acuerdo con lo descrito en el procedimiento de trabajo seguro para localización y replanteo.
- Corte mecánico: Una vez localizada el área y teniendo los niveles topográficos, se procede a realizar la excavación mecánica o perfilada con la retroexcavadora o retro cargador y haciendo el cargue del material en la volqueta estacionada o al sitio de acopio temporal.
- Cargue y transporte: El material que no se vaya a utilizar para tapar posteriormente la excavación abierta debe ser cargado por la excavadora, retro cargador o minicargador en volqueta y/o dúmpers y transportado hacia las zonas de depósito o sitio de reutilización.

2.1.3.2 PARÁMETROS EN LA INSTALACIÓN DE REDES A ZANJA ABIERTA

La Normativa técnica de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (E.A.A.B - ESP), NS – 035 (Requerimientos para cimentación de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado), establece los requisitos para el dimensionamiento de cimentación de tuberías, según las condiciones de instalación utilizando métodos de estado de límite de servicio y resistencia última, para los distintos sistemas de operación de acueducto y alcantarillado.

La siguiente información es tomada de los manuales de normativa técnica de la E.A.A.B. Al momento de escoger el tipo de cimentación y proceso de instalación en una tubería de acueducto y alcantarillado utilizando el sistema de zanja abierta.

- **Selección del tipo de tubería:** Se realiza de acuerdo con las condiciones del proyecto en concordancia a la Norma EAAB – ESP (NS-123; criterios para la selección de materiales de tuberías para redes de acueducto y alcantarillado).
- **Rigidez de la tubería:** Es la resistencia al aplastamiento de un tubo.
- **Condiciones de instalación:** Condiciones de instalación en terraplén, en proyección positiva, en proyección negativa, instalación en zanja.
- **Determinación de las condiciones de carga:** Cargas muertas en tuberías flexibles y semirrígidas, tuberías enterradas en zanjas angostas, tuberías enterradas en zanjas anchas, cargas vivas
- **Selección del tipo de cimentación:** La cimentación de la tubería está conformada por el apoyo considerado desde el fondo de la excavación hasta la clave de la tubería instalada y por el relleno que se ubica desde la cota clave de la tubería instalada hasta la rasante del terreno natural. Norma EAAB – ESP (NP-040; Rellenos).

Se debe tener en cuenta los siguientes parámetros al momento de seleccionar la cimentación de la tubería:

- Zonificación de la cimentación
- Anchos de cimentación para las tuberías
- Distancias mínimas entre redes de servicios

- Profundidad de excavación para la instalación de tubería
- Verificación de las condiciones límite de los materiales: Deflexiones, Rotura de pared, Esfuerzo de flexión en el anillo, cargas combinadas, entre otras.

Las siguientes tablas son necesarias para determinar el método de cimentación y cimentación de las tuberías de acueducto y alcantarillado.

*Tabla 2 Anchos máximos de excavación -
(Fuente: <https://www.acueducto.com.co/webdomino/sistec/consultas.nsf>)*

DIÁMETRO DEL TUBO	ANCHO MÁXIMO PERMISIBLE DE EXCAVACIÓN (mm)
Acometidas hasta 2" (50 mm)	350
3" (75 mm)	400
4" (100 mm)	400
6" (150 mm)	500
8" (200 mm)	550
10" (250 mm)	650
12" (300 mm)	700

*Tabla 3 Profundidad mínima de tubería
(Fuente: <https://www.acueducto.com.co/webdomino/sistec/consultas.nsf>)*

Servidumbre	Profundidad a la clave del colector (m)
Vías peatonales o zonas verdes	0,75
Vías vehiculares	1,20

Tabla 4 Condiciones límite

(Fuente: <https://www.acueducto.com.co/webdomino/sistec/consultas.nsf>)

Las condiciones límite que se deben verificar para tuberías, de acuerdo con el material de las mismas, son las siguientes:

Material de tubería	Clasificación por rigidez	Deflexión (Deflection)	Pandeo (Wall Buckling)	Rotura de pared (Wall Crushing)	Flexión (Bending Stress)	Cargas combinadas (Combined Loading)
Cloruro de Polivinilo, PVC	Flexible	X	X	X		
Poliéster reforzado con fibra de vidrio, GRP		X	X			X
Poliétileno, PE		X	X			
Acero, SP		X	X			
Hierro dúctil, DIP	Semi-rígida	X			X	
Concreto reforzado, tipo cilindro de acero con refuerzo de varilla, CCP		X				

2.1.4 GENERALIDADES RENOVACIÓN CON SISTEMA PIPE BURSTING

El sistema PIPE BURSTING, es un método de reemplazo de tuberías cuyas condiciones defectuosas, a nivel estructural u operativo no son fácilmente mejorables, o cuando se requiere implementar un diámetro mayor por la condición de demanda. **(Barbosa, 2013)** En este método la tubería a reemplazar no se retira del terreno, sino que por el mismo proceso constructivo del método, es fracturada y compactada contra el terreno, al mismo tiempo que va siendo reemplazada por una nueva línea de tubería en polietileno, que es halada en línea tras un accesorio que se encarga de romper por corte axial la tubería preexistente, se instala normalmente en líneas de 10m y hasta 200m de longitud, se usa típicamente para el remplazo de líneas de gas, y conductos de agua y alcantarillado. **(Barbosa, 2013)**

La técnica de rotura de tubería es una tecnología sin-zanja mediante la cual se instala una tubería nueva siguiendo el espacio y la configuración de la tubería existente. Aunque técnicamente en la actualidad la rotura de tubería se puede utilizar para diámetros nominales hasta de 36 pulgadas (900 mm), esta norma sólo es aplicable para la red secundaria y menor de distribución de acueducto con diámetros entre 3 y 12 pulgadas (75 - 300 mm). La técnica requiere la excavación de pozos por medio de los cuales se instalan temporalmente los equipos que permiten la fractura e inserción de la tubería nueva. Utiliza una herramienta que, penetra dentro de la tubería existente: la fractura, expande radialmente el área transversal a lo largo de la instalación: y al mismo tiempo hala una tubería nueva dentro del espacio dejado por la tubería existente y fracturada.

Esta tecnología se utiliza para reemplazar tuberías de acueducto y alcantarillado que están por cumplir o han cumplido su vida útil, que presentan fallas de construcción, o que ya no sean ambientalmente aceptadas. Al instalar una tubería nueva: la técnica de rotura de tubería provee una solución de renovación estructural.

La gran ventaja de esta tecnología es que permite el aumento del diámetro de la tubería existente, lo que posibilita el incremento de su capacidad. También se utiliza cuando se requiere reemplazar una tubería existente que está deteriorada, carece de capacidad: está a una profundidad mayor a la máxima establecida por la norma "NS-035 Requerimientos para Cimentación de Tuberías en Redes de Acueducto y Alcantarillado", y cuando el método es más favorable que el método tradicional a zanja abierta, debido a que puede reducir los costos sociales por la afectación en la movilidad y los impactos ambientales.

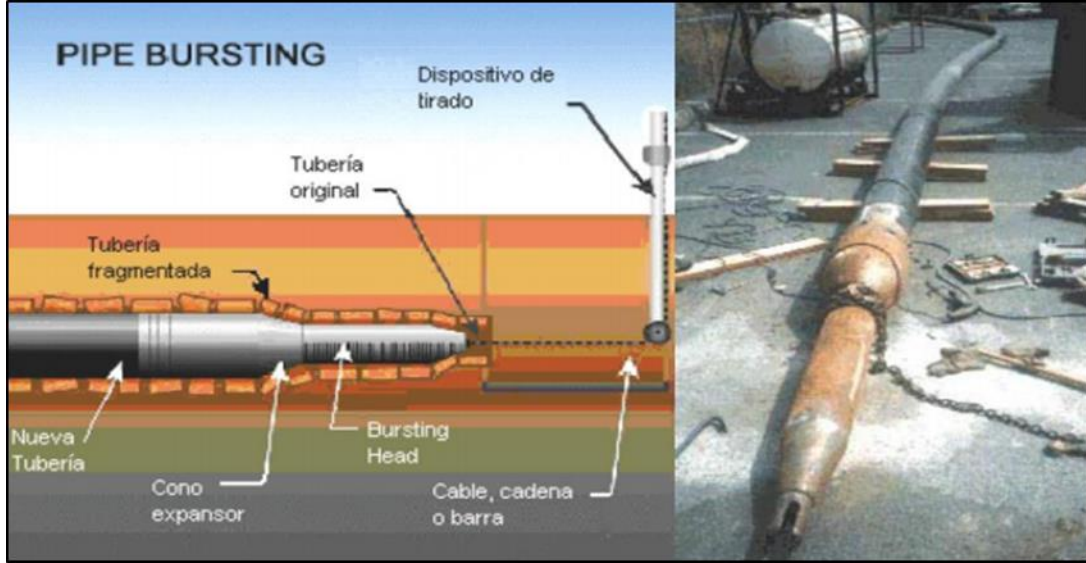


Ilustración 4 Sistema Pipe Bursting
(Fuente: ISTT_presentation pipebursting.pdf.)

Aplicaciones	Viabilidad
Reemplazo total de la tubería	Puede lograr costos más bajos en comparación con zanja abierta
Incremento del diámetro hasta en un 20 - 30%	Menos tiempo de construcción
Uso Industrial y Municipal en líneas principales y laterales.	Excavación Mínima
Se puede usar en cualquier material fragmentable.	Bajo impacto Ambiental, Social, Comercial y económico
Se puede instalar para reemplazar una línea completa de tubería	Reduce el riesgo de asentamiento del terreno

2.1.5 MÉTODOS DE PIPE BURSTING

El procedimiento de restitución de una tubería consiste en construir un pozo de lanzamiento y uno de recepción; que se utilizan para insertar un cabezal cónico dentro de la tubería existente, el cual fractura dicha tubería. La técnica de rotura de tubería puede subdividirse de acuerdo con los métodos de aplicación de la fuerza de rotura.

- Método de rotura neumática:** En este método, se caracteriza por ser el más utilizado, gracias a sus avances tecnológicos. El principio de este método se basa en la energía necesaria para romper la tubería y desplazar el volumen de suelo de relleno circundante, es generada por un compresor de aire que impulsa a una velocidad de 180 a 580 golpes por minuto, un martillo neumático instalado frente a un expansor que rompe la tubería. La tubería antigua es fragmentada y es sustituida por la nueva tubería, ocupando el espacio que tenía antes. Este sistema es conveniente para el hierro fundido, hierro dúctil, fibrocemento, PVC, en una gama de diámetros de entre 50 mm (1 1/2") y 450 mm (18"). La tubería insertada es polietileno o PVC. La longitud típica de la aplicación es del orden de los 80 m.

Figuras 2 Tipos de extensores
(Fuente: Guidelines for Pipe Bursting, USA, 2008)

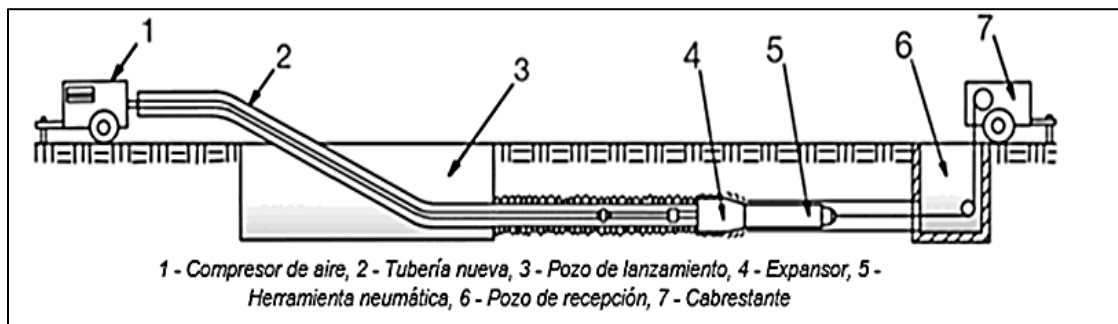
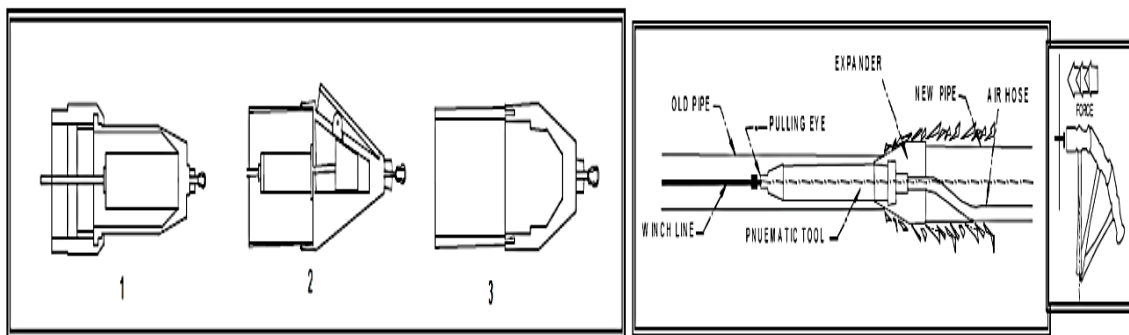


Ilustración 5 Componentes del método de rotura neumática
Fuente: <https://www.acueducto.com.co/webdomino/sistec/consultas.nsf>

- Método de expansión hidráulica:** En este método, el proceso de rotura se produce por medio de la penetración del cabezal durante varios ciclos repetitivos de expansión y contracción del cabezal. El cabezal de rotura está conformado por elementos abisagrados que se expanden y fracturan la tubería existente permitiendo que la instalación avance. El cabezal utiliza gatos hidráulicos internos para expandir los elementos abisagrados, los cuales son accionados por medio de un compresor de aire. Este método también requiere que se instale un cabrestante para mantener el cabezal en contacto permanente con la tubería existente: así como para hacer avanzar el cabezal y al mismo tiempo halar la tubería nueva.

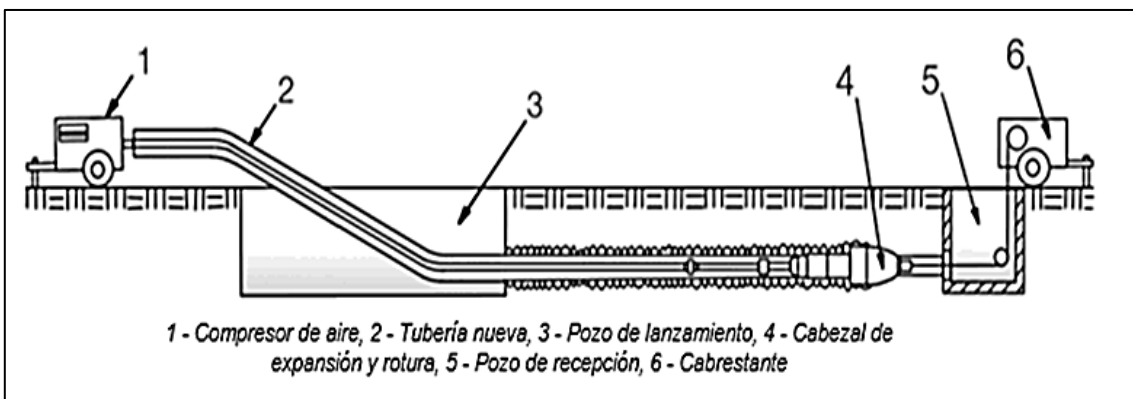


Ilustración 6 Componentes método de expansión hidráulica
 Fuente: <https://www.acueducto.com.co/webdomino/sistec/consultas.nsf>

- Método de halado estático:** En este método, el proceso de rotura se produce por la acción de fuerzas axiales de tracción generadas por un equipo con gatos hidráulicos que hala una serie de barras (o cable) de acero, un accesorio de corte. (cuchilla), un cabezal expansor, y un adaptador para la conexión con la tubería nueva. Algunos equipos también pueden hincar y rotar las barras desde el pozo de recepción al de lanzamiento: permitiendo atravesar algunos colapsos o bloqueos dentro de la tubería existente antes de enganchar el cabezal y la tubería nueva.

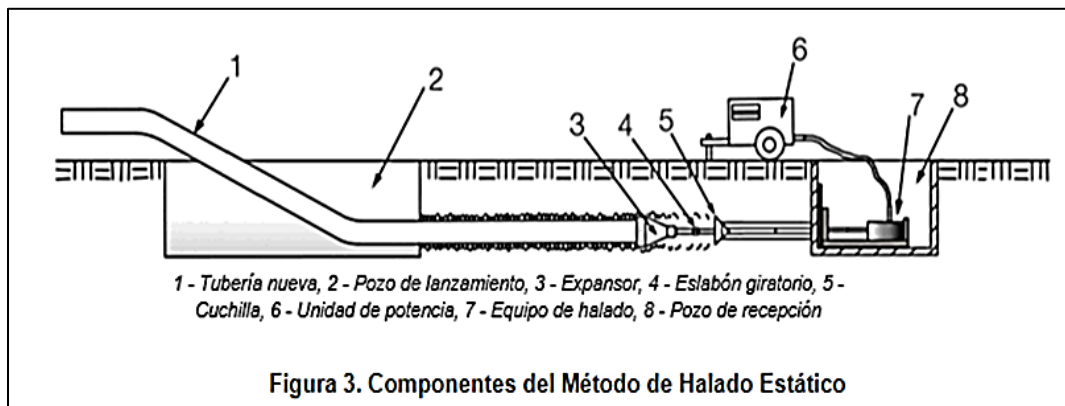


Ilustración 7 Componentes del método de halado Estático

Fuente: <https://www.acueducto.com.co/webdomino/sistec/consultas.nsf>

2.2 MARCO JURÍDICO

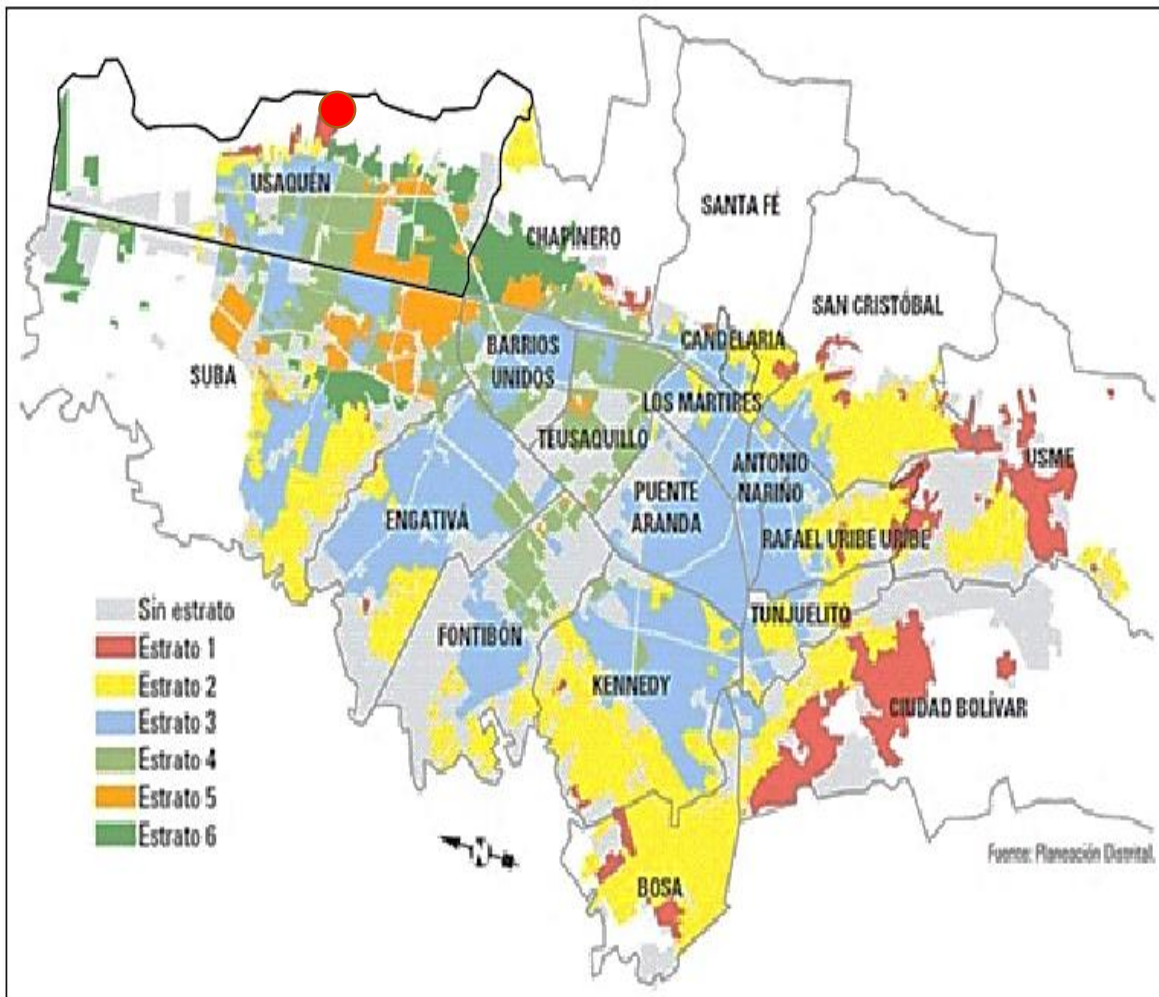
1. Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
2. Resolución No. 0755 de 2014, Por la cual se adopta el Reglamento de Urbanizadores y Constructores de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá EAB – ESP.
3. Resolución No. 0672 de 2014, Por la cual se modifica la Resolución 046 del 12 de marzo de 2014, que establece el procedimiento para el reconocimiento económico de los estudios hidráulicos, estructurales y las obras ejecutadas por los constructores en la ciudad y se fijan otros lineamientos de conformidad con la normativa legal vigente.
4. Sistema de normalización técnica de la empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá. (SISTEC).
5. Código Civil Artículo 679. Prohibición de construir en bienes de uso público y fiscales
6. Ley 142 de 1994, por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.
7. Ley 1753 de 2015, publicada en el Diario Oficial No. 49.538 de 9 de junio de 2015, “Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2015-2018”
8. Resolución 1885 del 17 de junio de 2015, “Por la cual se adopta el manual de señalización vial – Dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorutas de Colombia”.
9. Ley 769 de 2002 Código Nacional de Tránsito en su artículo 101, Toda empresa pública, privada y/o persona particular que intervenga el espacio público debe contar con la aprobación de un Plan de Manejo del Tránsito.
10. Decreto 1504 de 1998, por el cual se reglamenta el manejo del espacio público en los planes de ordenamiento territorial.

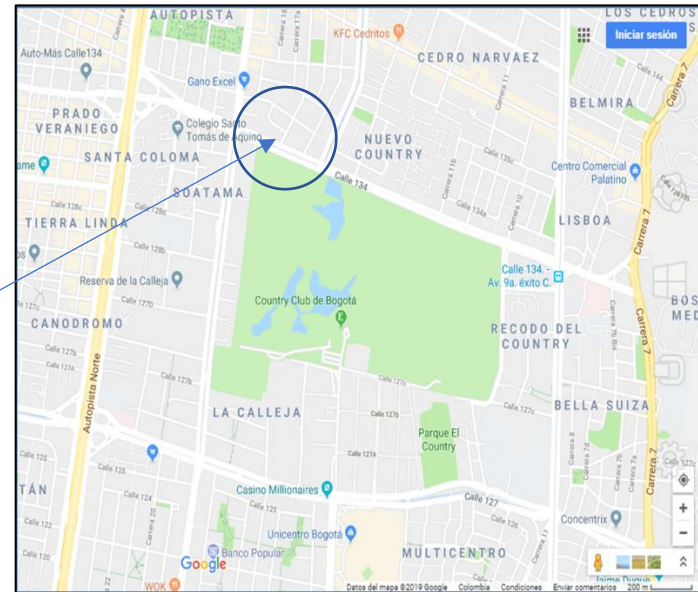
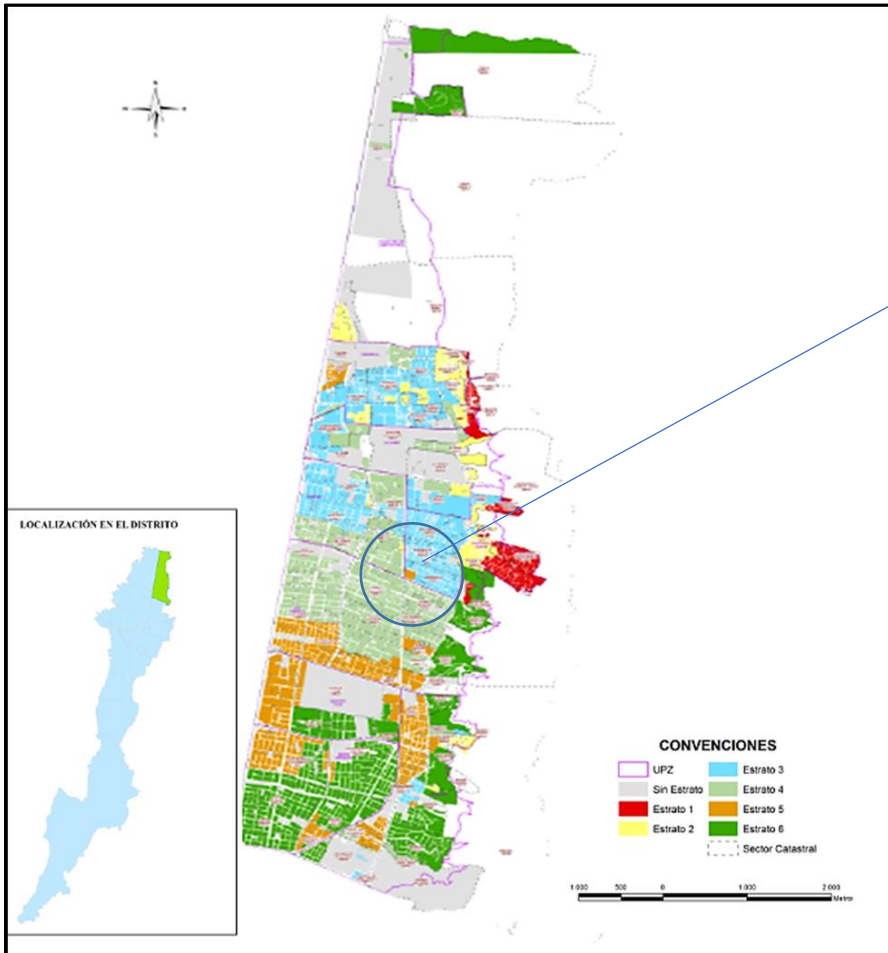
11. Ley 418 de 1997, Ley 548 de 1999, Ley 782 de 2002 y Decreto 128 de 2003, reglamentarios de la Ley 418 de 1997 - Por las cuales se consagran unos instrumentos para la búsqueda de la convivencia, la eficacia de la justicia y en materia de reincorporación a la sociedad civil.
12. Ley 850 de 2003 - Por la cual se reglamentan las veedurías ciudadanas
13. Decreto Ley 2811 de 1974 - Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

2.3 MARCO GEOGRAFICO

El área de estudio para el proyecto de investigación fue la ciudad de Bogotá, capital de la República de Colombia, la cual se encuentra en las coordenadas 4°35'56"N 74°04'51"O, en la Cordillera Oriental. Tiene un área total de 1776 km² y un área urbana de 307 km². Se tomó como población de muestra y recolección de datos, el proyecto realizado en el barrio la Calleja, ubicado en la localidad de Usaquén, Bogotá – Colombia. El proyecto específicamente está ubicado en la Carrera 19 # 128b – 32 (Proyecto Saint Thomas – Constructora Colpatria S.A.), como se muestra en los siguientes gráficos.

Figuras 3 Mapa de Bogotá de localidades por estratos socioeconómicos
Fuente: Secretaría Distrital de Planeación (SDP), Alcaldía Mayor de Bogotá, Colombia





Figuras 4 Ubicación zona de estudio
 proyecto Fuente: Google Maps
 (<https://www.google.com/maps/@4.7113589,-74.0485435,15.37z>)

Figuras 5 Mapa de Bogotá de localidades por estratos socioeconómico
 (Fuente: Secretaría Distrital de Planeación (SDP), Alcaldía Mayor de Bogotá, Colombia)

2.4 MARCO DEMOGRAFICO

El proceso de transición demográfica de la ciudad se ha acelerado. En el año 2018, según la encuesta del DANE, la población de las 21 localidades de Bogotá era de 8.181.047 personas distribuidas en 3.943.265 (48,2%) hombres y 4.237.782 mujeres (51,8%). El Índice de Masculinidad era de 93,1 hombres por cada 100 mujeres, el cual ha venido progresando paulatinamente desde 2005.

Al analizar la evolución de la población bogotana, se encuentra que a través del tiempo ésta tiende a reducir su ritmo de crecimiento, lo cual implica transformaciones en los diferentes grupos de edad. Estos cambios son más significativos en la población que se encuentra en los extremos, tal como los niños y niñas y los adultos mayores. Por tal motivo, la pirámide de población bogotana es cada vez más regresiva: la base donde se encuentran las edades menores es más estrecha que el centro donde se encuentran los jóvenes y los adultos, y la cima, adultos mayores, es relativamente más ancha. Lo anterior genera importantes cambios en la vida social y económica de la capital, ya que a medida que estas poblaciones se transforman, también lo hacen sus necesidades y demandas particulares.

En la estructura de población por grupos poblacionales de Bogotá se observa una reducción en la fecundidad, la cual se evidencia en la disminución del grupo de edad de 0 a 4 años y de 5 a 11 años, y en el proceso de envejecimiento acentuado después de los 65 años.

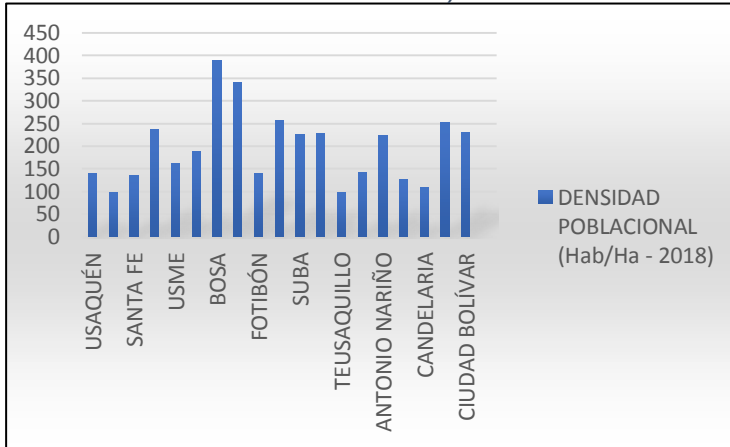
GENERALIDADES DE LAS LOCALIDADES DE BOGOTÁ EN TÉRMINOS DEMOGRÁFICOS.

Los siguientes datos son obtenidos de la Secretaria Distrital de Planeación

- En Bogotá las tres localidades que más concentran población son: Suba con el 16,08%, Kennedy con el 15,04% y Engativá con el 10,80%. Teniendo en cuenta que la población estimada en el 2018 para la ciudad de Bogotá es de 8.181.047 habitantes.
- Las 5 localidades de Bogotá más extensas en hectáreas de tierra en orden de mayor a menor; son:
 1. Sumapaz: 47.73%
 2. Usme: 13.14%
 3. Ciudad Bolívar: 7.94%
 4. Suba: 6.15%
 5. Usaquén: 3.98%

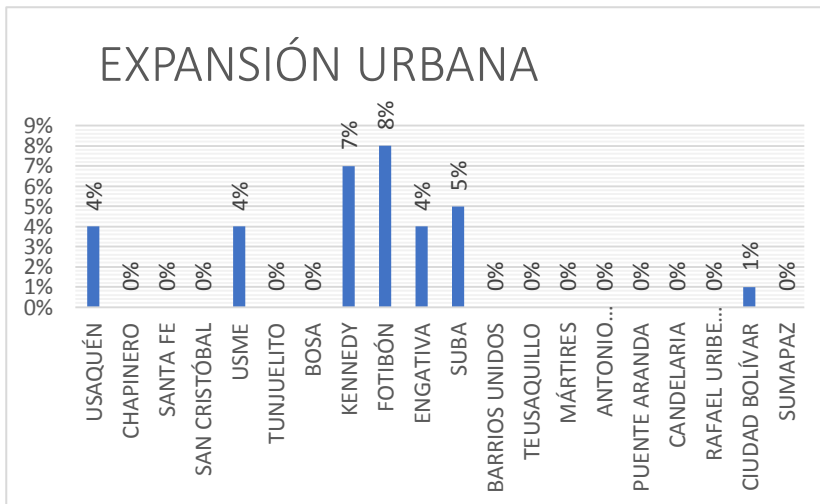
- Las 5 localidades de Bogotá más **Densamente Pobladas** en orden de mayor a menor; son:

Ilustración 8 Densidad Poblacional de Bogotá
(Elaboración propia – Fuente: Secretaria Distrital de Planeación)



1. Bosa: 390 Hab./ha
2. Kennedy: 341 Hab./ha
3. Engativá: 257 Hab./ha
4. Rafael Uribe: 252 Hab./ha
5. San Cristóbal: 237 Hab./ha

- Las localidades de Bogotá con mayor **Expansión Urbana**; son:



1. Fontibón: 8%
2. Kennedy: 7%
3. Suba: 5%
4. Usaquén: 4%
5. Usme: 4%
6. Engativá: 4%
7. Ciudad Bolívar: 1%

- Bogotá cuenta con 38.431 Ha., de zonas Urbanas, lo que corresponde al 23% del área total de Bogotá.
- Bogotá cuenta con 122.257 Ha., de zonas Rural, lo que corresponde al 75% del área total de Bogotá.

2.5 ESTADO DEL ARTE

IDENTIFICACIÓN	OBJETIVO GENERAL	CATEGORÍAS/VARIABLES	INSTRUMENTOS RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	RESULTADOS
<p>J. A. Pinzón, "Evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá", proyecto de grado para obtener título Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 2011.</p>	<p>Establecer la utilización de las tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá y su potencial de aplicación en los próximos 10 años.</p>	<p>Alcantarillado Bogotá (Colombia)</p> <p>Construcciones subterráneas Bogotá</p> <p>Tuberías Mantenimiento y reparación Bogotá (Colombia)</p>	<p>La recopilación de información a través de archivos de entidades como la empresa de agua y alcantarillado de Bogotá, el Instituto Colombiano de Infraestructura subterránea, libros y demás fuentes bibliográficas, en donde se establecerá el contexto mundial y nacional que ha tenido la evolución y el desarrollo de los métodos sin zanja.</p>	<p>Evalúa los diferentes tipos de tecnologías sin zanja aplicables a la ciudad de Bogotá.</p>
<p>J. A. Alarcón y J. L. Pacheco, "Comparación tecnológica y costos del método de instalación de tuberías sin zanja (Trenchless) más eficiente para los suelos encontrados en un proyecto de Bogotá.", Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia,</p>	<p>Establecer el potencial de utilización del método de instalación de tubería sin zanja (Trenchless) en un proyecto de la ciudad de Bogotá.</p>	<p>Tecnologías sin zanja</p> <p>Costos directos Tubería</p> <p>Método convencional</p> <p>Costos indirectos</p>	<p>Para el desarrollo del presente trabajo de grado se acudió a diferentes empresas del sector público y privado, principalmente en la ciudad de Bogotá que tienen gran conocimiento sobre dicha tecnología y la usan en la actualidad.</p>	<p>Se determina los costos de algunos sistemas sin zanja y sus variables de costos.</p>

IDENTIFICACIÓN	OBJETIVO GENERAL	CATEGORÍAS/VARIABLES	INSTRUMENTOS RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	RESULTADOS
<p>J. C. Ojeda, "Análisis comparativo entre el método Pipe Bursting y el método tradicional en la renovación de tuberías de desagüe ", proyecto de grado para obtener título Ingeniero Civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú, 2015.</p>	<p>Describir el proceso de renovación de tuberías por el método Pipe Bursting y por el método tradicional.</p>	<p>Método sin zanja Pipe Bursting</p> <p>Costos directos e indirectos</p> <p>Costos sociales</p>	<p>Recopilación de información mundial del sistema Pipe Bursting</p>	<p>Comparación del sistema Pipe Bursting con el sistema tradicional</p>
<p>N. F. Estrada y C. L. Forero, "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", Trabajo de grado para obtener el título de esp. Gerencia de Obras, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia,2018.</p>	<p>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.</p>	<p>Tuberías</p> <p>Gestión del tiempo</p> <p>Colector la vieja</p> <p>Guía PMBOK®</p> <p>Rehabilitación de tuberías</p> <p>Tecnología SPR</p>	<p>Recopilación de fuentes de información sobre el tema.</p>	<p>Contribuir al mejoramiento de las practicas gerenciales, mediante la gestión del tiempo bajo lineamientos del PMI® analizando 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.</p>

3 METODOLOGÍA

3.1 FASES DEL TRABAJO DE GRADO

Los siguientes, son objetivos desarrollados en el proyecto, el cual contempló y ejecutó las siguientes fases:

FASE 1: Se realizó, una revisión de la literatura sobre Pipe Bursting y el sistema de excavación a zanja abierta, donde el objetivo era establecer el contexto mundial y nacional que ha tenido la evolución y el desarrollo de estos métodos; principalmente el de sistemas sin Zanja.

FASE 2: Se recopiló información histórica a través de archivos de entidades de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá ESP (ahora en adelante E.A.A.B.). Lo anterior fue sustentado por medio de registros de obras y proyectos desarrollados a nivel mundial y local contemplando tanto las implicaciones que existieron cuando se realizaron este tipo de proyectos, como también las principales razones que condujeron al surgimiento y desarrollo de estas tecnologías.

FASE 3: Se desarrollo un análisis evaluativo comparando los costos de ejecución, rendimientos y practicidad de implementación del sistema sin zanja Pipe Bursting vs sistema de excavación a “zanja abierta” en las redes de acueducto y alcantarillado. como también el análisis de precios sobre este tipo de métodos según como lo tienen establecido sus proveedores y contratistas. Se logro estimar que tan competitivas están siendo el sistema sin zanja Pipe Bursting y que brecha existe hoy en día entre este método y los convencionales; así mismo, se obtuvo resultados de las redes de alcantarillado inspeccionadas del proyecto.

3.2 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Se utilizó instrumentos como las guías metodológicas, las cuales implementan las siguientes técnicas documentales que consisten en: Obtener información escrita, para soportar las afirmaciones, análisis o estudios realizados por los actores. A través de la comprobación y revisión analítica de los datos y antecedentes de implementación de estos sistemas constructivos. De ahí que se llevó a cabo una revisión de documentos de proyectos de grado donde se aborde la temática de investigación. Así mismo, se buscó información estadística, cartográfica, técnica y electrónica de las empresas prestadoras de servicios públicos y empresas que realizan esta clase actividades, con el fin de saber el nivel de depuración de la información que se maneja sobre el sistema Pipe Bursting y el sistema tradicional a zanja abierta, y así, identificar las necesidades fundamentales para estandarizar los procesos. De esta forma, poder volverlos medibles, cuantificables y útiles para la renovación de redes de acueducto sin zanja.

De manera que el proceso metodológico, cuenta con una fase inicial de diagnóstico utilizando una técnica documental, un proceso posterior operativo cuantitativo del análisis de los datos estadísticos de los sistemas constructivos para la renovación de redes de acueducto, y un tercer proceso dinámico, donde se debe tener en cuenta en primera instancia los conocimientos adquiridos en el marco teórico, el diagnóstico realizado, la cuantificación de la información revisada y analizada, que permita realizar el análisis final, sobre los resultados obtenidos al comparar los dos sistemas constructivos para la renovación de redes de acueducto en la ciudad de Bogotá.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Se tomó como proyecto de muestra y obtención de información, el proyecto ubicado en la localidad de Usaquén, en la carrera 19 con calle 128 B N° 32, Bogotá, proyecto Saint Thomas de la Constructora Colpatria S.A. y ejecutado por el contratista CMIJ Ingenieros; donde se realizó la renovación de redes de acueducto y alcantarillado sanitario, empleando el sistema Pipe Bursting.

3.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcance

- Posible solución al momento de realizar rehabilitación o renovación, de redes de acueducto y alcantarillado.
- Se analizó los factores de costo-beneficio que conlleva la utilización del sistema sin zanja Pipe Bursting vs sistema tradicional de excavación a cielo abierto.
- Se logró realizar estudio, para justificar el sistema Pipe Bursting, como fuente de negocio y técnica ideal para los factores económicos, sociales y ambientales.

Limitaciones

- La escasa información donde poder consultar, los proyectos donde se ha realizado renovación de redes de acueducto y alcantarillado, utilizando el sistema Pipe Bursting en la ciudad de Bogotá.

4 PRODUCTO A ENTREGAR

- Documento de consulta para establecer la factibilidad costo-beneficio del sistema Pipe Bursting frente al sistema tradicional de excavación a zanja abierta, para la renovación de redes de acueducto y alcantarillado.
- Propuesta metodológica para a la evaluación de sistemas constructivos.
- Gráficas, datos estadísticos y modelos para la toma de decisiones; comparando el sistema sin zanja Pipe Bursting vs sistema tradicional de excavación a zanja abierta.

5 RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DESDE EL ASPECTO ECONÓMICO DE LOS COSTOS DIRECTOS

En el siguiente estudio de factibilidad económica, se tomó como base de análisis los costos directos, costos indirectos, tiempo de ejecución, recursos e impactos sociales y ambientales, los cuales fueron determinantes al momento de tomar una decisión de implementación del método constructivo a utilizar; así como, establecer con este modelo económico, la posibilidad de desarrollar futuros proyectos de renovación de redes de acueducto y alcantarillado, utilizando el sistema Pipe Bursting.

Para este fin, fue necesario en primera medida, realizar la comparación económica en costos de los dos métodos constructivos, teniendo en cuenta las actividades más relevantes dentro del proceso de rehabilitación de redes de acueducto y alcantarillado. Esto se pudo determinar, gracias a la utilización de análisis de precios unitarios (A.P.U.s), rendimientos y tiempos de ejecución (ver tablas en anexos). A continuación, se relacionan y analizan las actividades y costos directos más importantes dentro de cada proceso constructivo.

5.1.1 COSTOS DIRECTOS EN ACTIVIDADES PRELIMINARES

Se debe tener en cuenta, al momento de comparar las actividades preliminares y las actividades consiguientes de los dos métodos de renovación de redes de acueducto y alcantarillado, que sean evaluados bajo una base comparativa de igualdad de condiciones. Las actividades preliminares comprenden todas las tareas necesarias para la ejecución inicial de una obra, en la que se inspecciona el terreno y se dejan todos los preliminares listos para poder empezar la construcción. Se divide en las siguientes principales tareas:

- **Señalización de obra:** Es un medio preventivo que delimita el área de trabajo del entorno donde se desarrolla los trabajos.
- **Localización y replanteo:** Es el conjunto de actividades que se realizan para trasladar las medidas del plano al terreno, los puntos, alineaciones y niveles necesarios para la correcta ejecución del proyecto.
- **Corte de pavimento:** Proceso necesario antes de la demolición, el cual consiste en realizar corte con maquina de disco, a la zonas duras del proyecto.

5.1.2 COSTOS DIRECTOS EN ACTIVIDADES DEMOLICIÓN

Las demoliciones, son actividades que comprenden una parte importante en la ejecución de la obra, esto debido al impacto que puede producir al entorno del proyecto, las afectaciones a las estructuras aledañas por la realización de la actividad y la disposición del material sobrante del proceso de demolición. Las demoliciones pueden ser mecánicas o manuales y dependerán de las condiciones del terreno.

5.1.3 COSTOS DIRECTOS EN ACTIVIDADES EXCAVACIÓN

Al igual que, las actividades de demolición, las actividades de excavación tienen un importante impacto en el entorno de obra, principalmente en los procesos de seguridad requeridos para la protección del personal que las realiza, el acopio momentáneo y disposición final del material sobrante. Esto genera gran cantidad de recursos económicos que se deben asignar a esta actividad, recursos como lo son; la asignación de personal calificados en seguridad, elementos de seguridad y protección, personal de limpieza y uso de maquinarias pesadas, Los cuales encarecen el costo de la actividad.

5.1.4 COSTOS DIRECTOS EN ACTIVIDADES INSTALACIÓN TUBERÍA

La actividad de instalación de tubería es la actividad más compleja en el sistema tradicional de zanja abierta, esto debido a las características que debe cumplir para su instalación, como lo son; el tipo de cimentación que debe cumplir, características de profundidad de instalación, anchos, características del material a utilizar como relleno y cimentación, características físicas y mecánicas de la tubería y por último los protocolos de calidad que se deben cumplir para su aceptación. Mientras tanto, para el sistema Pipe Bursting son mucho menores los procesos de aceptación. Sin embargo, el costo operacional del sistema es casi el doble que el tradicional.

5.1.5 COSTOS DIRECTOS EN ACTIVIDADES INSTALACIÓN RELLENOS

Las actividades de acabados y recuperación del espacio público, es el factor desequilibrante en la comparación entre el sistema tradicional de excavación y el sistema sin zanja, esto debido a la asignación de recursos que requiere los métodos para la realización de la actividad.

A continuación, se realiza el análisis económico de las actividades propuestas, tomando los costos directos que se producen en los dos métodos.

Costos directos en actividades preliminares

Excavación a cielo abierto		
Valor (COP)	Porcentaje con respecto al costo total	Preliminares (Excavación cielo abierto)
\$ 316,839.69	0.27%	Corte losa en concreto
\$ 563,270.56	0.48%	Corte de carpeta asfáltica
\$ 8,176,498.00	6.91%	Suministro e instalación señalización y aislamiento de obra
\$ 3,774,957.50	3.19%	Localización y replanteo
\$ 12,831,565.75	10.84%	Subtotal Preliminares

Tabla 5 Preliminares (Excavación a cielo abierto)

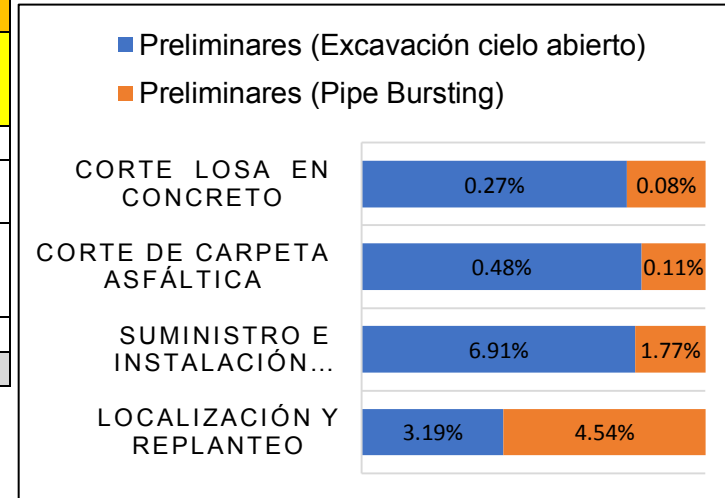


Ilustración 9 Comparación de costos directos en actividades preliminares (elaboración autor)

Pipe Bursting		
Valor (COP)	Porcentaje con respecto al costo total	Preliminares (Pipe Bursting)
\$ 3,774,957.50	4.54%	Localización y replanteo
\$ 1,472,500.00	1.77%	Suministro e instalación señalización y aislamiento de obra
\$ 92,939.64	0.11%	Corte de carpeta asfáltica
\$ 67,592.47	0.08%	Corte losa en concreto
\$ 5,407,989.61	6.51%	Subtotal Preliminares

Tabla 6 Preliminares (Pipe Bursting)

Se puede determinar que los costos directos de los preliminares en el sistema de excavación a cielo abierto, es más costoso que el Pipe Bursting. Esto debido, a la gran complejidad de la implementación de la señalización y delimitación de la obra. Así mismo, se puede establecer que, dentro del presupuesto de los preliminares de la excavación tradicional, el índice de ejecución es del 10.84% del costo directo total, mientras que para los preliminares del Pipe Bursting, corresponde tan solo el 6.51% del costo total del método.

Costos directos en actividades demolición

Excavación a cielo abierto		
Valor (COP)	Porcentaje con respecto al costo total	Demoliciones (Excavación cielo abierto)
\$ 867,502.50	0.73%	Demolición andén en tablón - tableta o adoquín
\$ 1,122,800.00	0.95%	Demolición de carpeta asfáltica (e=0,20cm)
\$ 723,600.00	0.61%	Demolición andén en concreto MR - 45 e= 0.2
\$ 3,876,864.00	3.28%	Retiro de red existente acueducto
\$ 6,590,766.50	5.57%	Subtotal Demoliciones

Tabla 7 Demoliciones (Excavación a cielo abierto)

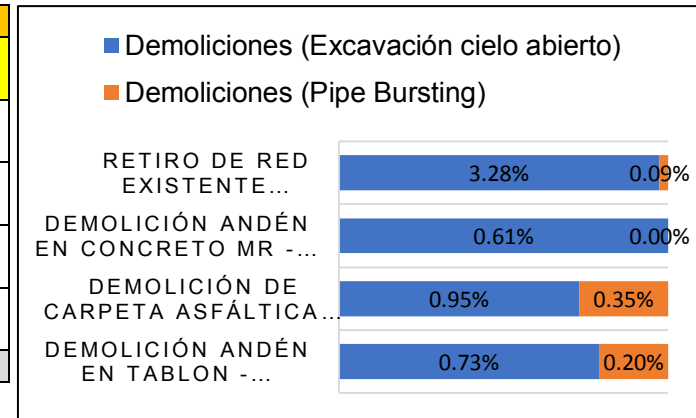


Ilustración 10 Comparación de costos directos en actividades Demolición (elaboración autor)

Excavación Pipe Bursting		
Valor (COP)	Porcentaje con respecto al costo total	Demoliciones (Pipe Bursting)
\$ 162,150.00	0.20%	Demolición andén en tablón - tableta o adoquín
\$ 291,928.00	0.35%	Demolición de carpeta asfáltica (e=0,20cm)
\$ -	0.00%	Demolición andén en concreto MR - 45 e= 0.2
\$ 76,800.00	0.09%	Retiro de red existente acueducto
\$ 530,878.00	0.64%	Subtotal Demolición

Tabla 8 Demolición (Pipe Bursting)

Se observa el conjunto de actividades pertenecientes a la demolición, con la mayor adquisición de recursos económicos y de mano de obra para desarrollar la actividad. El porcentaje correspondiente al sistema de excavación a cielo abierto requiere el 5.57% del total presupuestado para la instalación de tubería, siendo las actividades más costosas el retiro de carpeta asfáltica y el retiro de tubería existente (ver tablas 7 – 8). En su contraparte, el sistema Pipe Bursting requiere tan solo el 0.64% del total presupuestado en la actividad, observándose una deferencia importante en la comparación de costos.

Costos directos en actividades excavación

Valor (COP)	Porcentaje con respecto al costo total	Excavación (Excavación cielo abierto)
\$ 6,178,556.05	5.22%	Excavación Manual para instalación red Acueducto
\$ 6,178,556.05	5.22%	Subtotal Excavación

Tabla 9 Excavación (Excavación a cielo abierto)

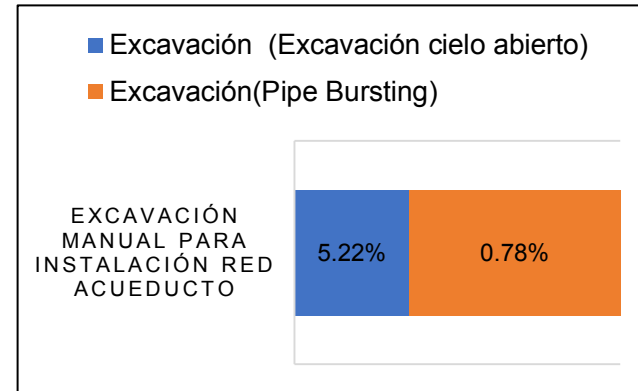


Ilustración 11 Comparación de costos directos en actividades excavación (elaboración propia)

Excavación Pipe Bursting		
Valor	Porcentaje	Excavación(Pipe Bursting)
\$ 647,795.00	0.78%	Excavación Manual para instalación red Acueducto
\$ 647,795.00	0.78%	Subtotal Excavación

Tabla 10 Excavación (Pipe Bursting)

La actividad de excavación es uno de los ítems más representativos, al momento de colacionar los dos sistemas de renovación de tuberías. Esto debido al porcentaje tan alto del 5.22% en la excavación con zanja abierta, en comparación con el sistema Pipe Bursting. El cual, es inferior del 1% del costo total de la actividad. (ver tablas 9 – 10)

Costos directos en actividades instalación tubería

Excavación a cielo abierto		
Valor	Porcentaje	Tubería (Excavación cielo abierto)
\$ 28,504,653.62	24.09%	Suministro e instalación tubería PVC presión ϕ 8"
\$ 7,030,087.91	5.94%	Suministro e instalación tubería PVC presión ϕ 6"
\$ 35,534,741.53	30.03%	Subtotal Tubería

Tabla 11 Tubería (Excavación a cielo abierto)

Excavación Pipe Bursting		
Valor	Porcentaje	Tubería (Pipe Bursting)
\$ 42,541,723.70	51.17%	Suministro e instalación tubería PEAD presión f 8"(200 mm) PIPE BURSTING
\$ 10,327,908.05	12.42%	Suministro e instalación tubería PEAD presión f 6"(160 mm) PIPE BURSTING
\$ 52,869,631.74	63.60%	Subtotal Tubería

Tabla 12 Tubería (Pipe Bursting)

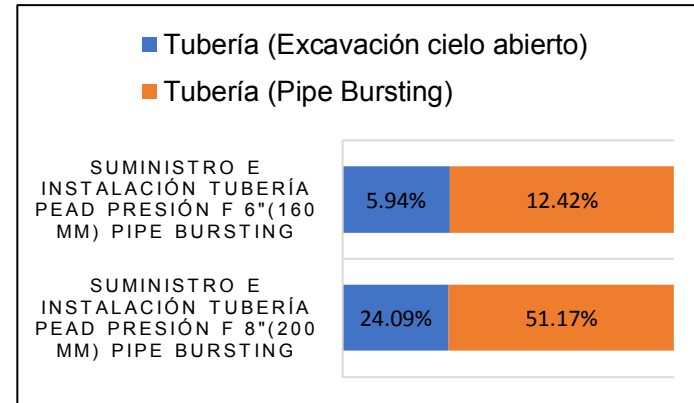
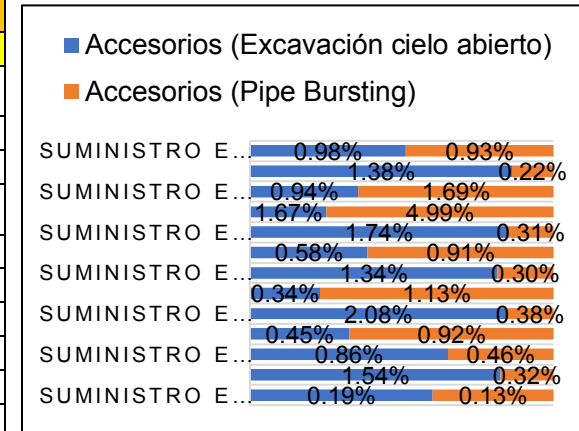


Ilustración 12 Comparación de costos directos en actividades instalación tubería (elaboración propia)

Se observa que la actividad de la instalación de tubería es la menos favorable en términos de costos para el sistema Pipe Bursting. Esto debido al elevado costo operativo del sistema en comparación con la excavación a zanja abierta. El sistema Pipe Bursting, para esta actividad requiere aproximadamente el 64% del presupuesto total, mientras que para el sistema a zanja abierta requiere el 30% del presupuesto total. (ver tablas 11 - 12)

Costos directos en actividades instalación accesorios

Excavación a cielo abierto		
Valor	Porcentaje	Accesorios (Excavación cielo abierto)
\$ 230,280.65	0.19%	Suministro e instalación Reducción 6X4" HD (incluye anclajes en concreto)
\$ 1,818,903.90	1.54%	Suministro e instalación Codo 6" X 45° HD
\$ 1,022,202.60	0.86%	Suministro e instalación Codo 6" X 11,25° HD
\$ 530,141.30	0.45%	Suministro e instalación Codo 6" X 22,5° HD (incluye anclajes en concreto)
\$ 2,464,482.60	2.08%	Suministro e instalación Codo 8" X 45° HD
\$ 399,620.65	0.34%	Suministro e instalación Tee 6 X 2 X 6" HD
\$ 1,582,261.30	1.34%	Suministro e instalación Tee 8 X 6 X 8" HD
\$ 681,650.65	0.58%	Suministro e instalación Tee 8 X 3 X 8" HD
\$ 2,055,374.86	1.74%	Suministro e instalación Unión PVC 6"
\$ 1,976,655.12	1.67%	Suministro e instalación Unión PVC 8"
\$ 1,111,145.65	0.94%	Suministro e instalación Válvula φ 6" HD
\$ 1,632,365.65	1.38%	Suministro e instalación Válvula φ 8" HD
\$ 1,163,400.00	0.98%	Suministro e instalación Tapa Válvula
\$ 16,668,484.93	14.09%	Subtotal Accesorios



Excavación Pipe Bursting		
Valor	Porcentaje	Accesorios (Pipe Bursting)
\$ 106,994.19	0.13%	Suministro e instalación Reducción PEAD 160 X 110
\$ 269,894.58	0.32%	Suministro e instalación Codo PEAD 160 mm X 45°
\$ 382,844.62	0.46%	Suministro e instalación Codo PEAD 200 mm X 45°
\$ 765,480.00	0.92%	Suministro e instalación Brida loca 8"
\$ 318,480.00	0.38%	Suministro e instalación Brida loca 6"
\$ 2,203,912.14	2.65%	Suministro e instalación Portaflanche Bidas
\$ 4,146,460.00	4.99%	Suministro e instalación válvula bridada 8"
\$ 1,400,880.00	1.69%	Suministro e instalación válvula bridada 6"
\$ 181,437.12	0.22%	Suministro e instalación Tee PEAD 160 X 160 mm
\$ 773,535.90	0.93%	Suministro e instalación Tee PEAD 200 X 200 mm
\$ 277,517.72	0.33%	Suministro e instalación Reducción PEAD 200 X 160
\$ 106,994.19	0.13%	Suministro e instalación Reducción PEAD 160 X 90
\$ 707,736.64	0.85%	Suministro e instalación Unión electrofusión PEAD 160 mm
\$ 2,304,032.00	2.77%	Suministro e instalación Unión electrofusión PEAD 200 mm
\$ 1,163,400.00	1.40%	Suministro e instalación Tapa Válvula
\$ 15,109,599.10	18.18%	Subtotal

Así mismo, que el anterior ítem analizado, el sistema a zanja abierta posee una pequeña ventaja sobre el sistema Pipe Bursting, ya que para la instalación de accesorios en el sistema a zanja abierta requiere un 14% aproximadamente del presupuesto total de la actividad conta un 18% del costo total en el sistema Pipe Bursting.

Costos directos en actividades instalación rellenos

Valor	Porcentaje	Rellenos (Excavación cielo abierto)
\$ 17,531,514.00	14.81%	Suministro e instalación recebo B-400
\$ 4,037,645.00	3.41%	Recuperación andén en tablón - tableta o adoquín
\$ 5,869,125.00	4.96%	Recuperación andén en concreto MR - 45
\$ 570,000.00	0.48%	Suministro e instalación imprimación
\$ 8,951,200.00	7.56%	Recuperación de carpeta asfáltica (e=0,20cm)
\$ 36,959,484.00	31.23%	Subtotal Rellenos

Tabla 13 rellenos (Excavación a cielo abierto)

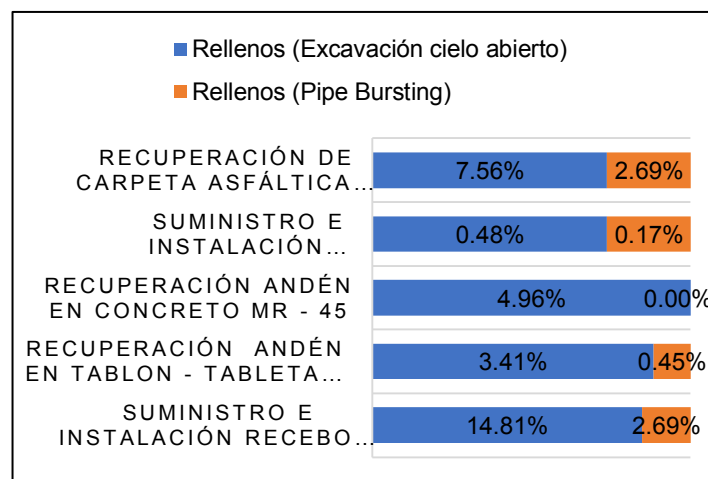


Ilustración 13 Comparación de costos directos en actividades de rellenos y reparaciones

Valor	Porcentaje	Rellenos (Pipe Bursting)
\$ 2,236,162.50	2.69%	Suministro e instalación recebo B-400
\$ 377,350.00	0.45%	Recuperación andén en tablón - tableta o adoquín
\$ -	0.00%	Recuperación andén en concreto MR - 45
\$ 142,500.00	0.17%	Suministro e instalación imprimación
\$ 2,237,800.00	2.69%	Recuperación de carpeta asfáltica (e=0,20cm)
\$ 4,993,812.50	6.01%	Subtotal

Tabla 14 rellenos (Pipe Bursting)

La actividad de relleno es clave para determinar el sobre costo del sistema a zanja abierta en comparación con el sistema Pipe Bursting. Ya que para la excavación a zanja abierta requiere aproximadamente un 31% del presupuesto total para la actividad. En contra parte el sistema Pipe Bursting requiere tan solo un 6%, lo cual radica en una menor utilización de cantidades en rellenos y recuperación de la zona afectada por la actividad. Al observar la actividad de relleno con recebo, podemos dar cuenta, que se debe utilizar casi un 12% más de recursos, en comparación con el sistema Pipe Bursting. (ver tablas 17 -18)

Costos directos en actividades instalación empates acueducto

Valor	Porcentaje	Empates Acueducto (Excavación cielo abierto)
\$ 1,692,500.00	1.43%	Empate red existente de 6" Existente
\$ 1,880,450.00	1.59%	Empate red existente de 8" Existente
\$ 3,572,950.00	3.02%	Subtotal Acueducto

Tabla 15 empates acueducto (Excavación a cielo abierto)

Valor	Porcentaje	Empates Acueducto (Pipe Bursting)
\$ 1,692,500.00	2.04%	Empate red existente de 6" Existente (incluye excavación, equipos, materiales y recuperación del área afectada)
\$ 1,880,450.00	2.26%	Empate red existente de 8" Existente (incluye excavación, equipos, materiales y recuperación del área afectada)
\$ 3,572,950.00	4.30%	Subtotal

Tabla 16 empates acueducto (Pipe Bursting)

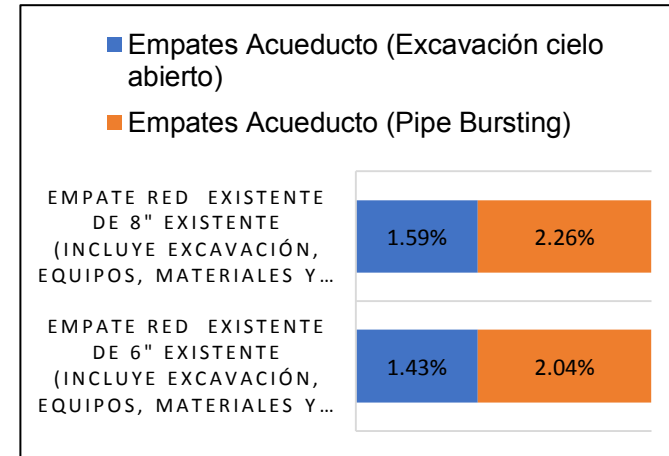


Ilustración 14 Comparación de costos directos en actividades de empates acueducto (elaboración propia)

Se establece que para la excavación a zanja abierta y el sistema Pipe Bursting, la actividad de empates de acueducto tiene el mismo costo de ejecución, la diferencia radica en el porcentaje del costo de la actividad dentro del presupuesto. La cual, para efectos del análisis no tiene mayor relevancia. (ver tablas 15 -16)

5.2 ANÁLISIS ESTRATÉGICO PARA LA TOMA DE DECISIONES UTILIZANDO HERRAMIENTAS COMO EL ÁRBOL DE PROBLEMAS , LA MATRIZ DOFA Y LA MATRIZ DE RIESGOS.

5.2.1 ÁRBOL DE PROBLEMA UTILIZANDO EL SISTEMA A ZANJA ABIERTA

Se utiliza el árbol de problemas para entender los principales inconvenientes, al momento de utilizar el sistema de zanja abierta (Causas y efectos).

Ilustración 15 árbol de problema para la excavación a zanja abierta (elaboración autor)



5.2.2 MATRIZ DOFA PARA EL SISTEMA A ZANJA ABIERTA

Analizando la matriz DOFA para el sistema de excavación a zanja abierta, se puede establecer los parámetros más relevantes del sistema constructivo, los cuales pueden ayudar a tomar una decisión más acertada en el caso de estudio.

Tabla 17 matriz DOFA para el sistema a zanja abierta (elaboración autor)

		OPORTUNIDADES	AMENAZAS
		MATRIZ DOFA EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO	
FORTALEZAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Instalación de tubería a profundidades menores a 1.0m 2. Aumento de la actividad laboral y la comercialización de materiales. 3. Posibilidad de instalar y retirar cualquier tipo de material de tubería. 4. No tiene dificultades con el tipo de terreno existente. 5. Genera mayor capacidad de mano de obra. 6. Cuenta con mayores estudios del comportamiento de los rendimientos de manos de obra y materiales. 	F-O Estrategia que aprovecha las fortalezas para maximizar las oportunidades	F-A Estrategia que utiliza las fortalezas para minimizar las amenazas
		<ul style="list-style-type: none"> - Implementar en zonas con topografías complejas y de difícil acceso. - Utilizar en redes existentes menores a 0.6m de profundidad . 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar en tramos cortos y con poca profundidad de excavación.
DEBILIDADES	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alto costo en actividades como excavación, demolición y reparación, en comparación con el sistema Pipe Bursting. 2. Problemas por asentamiento debido a la capacidad de compactación del material de relleno. 3. Aumento de la contaminación, auditiva, visual, aumento de material particulado y contaminación con material procedente de la excavación. 4. El aumento de la profundidad de la tubería genera mayores costos y riesgos de colapso y atrapamiento. 5. La excavación a cielo abierto incrementa los accidentes laborales y la afectación a otras redes existentes. 6. Aumento en los tiempos de ejecución, recursos de mano de obra y materiales. 7. Incremento del gasto público de la ciudad 	D-O Estrategia que minimiza las debilidades sacando partido de las oportunidades	D-A Estrategia que minimiza las debilidades y evita las amenazas
		<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar en zonas con baja densidad poblacional - Reutilizar lo máximo posible el material procedente de la excavación 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar los sistemas sin zanja como el Pipe Bursting

5.2.3 MATRIZ DOFA PARA EL SISTEMA PIPE BURSTING

Después de analizar las dos matrices DOFA, para la excavación a zanja abierta y el sistema Pipe Bursting, se puede identificar que el sistema Pipe Bursting, tiene más ventajas comparándolo en aspectos económicos, sociales y ambientales.

Tabla 18 matriz DOFA para el sistema Pipe Bursting (elaboración autor)

MATRIZ DOFA SISTEMA PIPE BURSTING		OPORTUNIDADES	AMENAZAS
		FORTALEZAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reemplazo de tuberías en mal estado, sin la necesidad de realizar grandes volúmenes de excavación y demolición. 2. Incremento en el diámetro con respecto a la tubería existente, entre un 20 - 30%. 3. Se puede usar en cualquier material fragmentable (PVC, Asbesto cemento, concreto simple, tubería cerámica (gres), Polietileno). 4. Menor costo en actividades de excavación, demolición y reparación, en 1. comparación con la excavación a cielo abierto. 5. Reducción de la contaminación auditiva, visual, por material particular en el aire del 98%, con respecto a la excavación zanja abierta. 6. Se puede usar a grandes profundidades. 7. Ejecución de longitudes de hasta 100ml por jornada. 8. Bajo costo y menor tiempo de ejecución en comparación con otros sistemas. 9. Se puede utilizar cualquier tipo de material, especialmente se trabaja con Polietileno de lata densidad (PEAD). 10. Mantenimientos a muy bajo costo.
DEBILIDADES	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alto costo de operación del sistema al momento de instalar la tubería. 2. No es recomendable en suelos muy expansivos. 3. Para dar servicio o reemplazar a las conexiones (laterales) es necesario de excavación. 4. La profundidad de la tubería a ser reemplazada no puede ser menores a 1.0m. 5. Dificultades en tuberías de concreto reforzado, Hierro dúctil y materiales de difícil fragmentación. 6. En raras ocasiones las vibraciones del equipo neumático pueden afectar las vías, andenes o tuberías aledañas. 7. El proceso de estallido no debe utilizarse a menos de 300 milímetros de otro servicio público. 	<p style="text-align: center;">D-O Estrategia que minimiza las debilidades sacando partido de las oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aumentar la profundización de las redes existentes y sus diámetros de capacidad de servicio. - Fomentar el uso de tubería de polietileno de alta densidad (PEAD). 	<p style="text-align: center;">D-A Estrategia que minimiza las debilidades y evita las amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Difusión por parte del los sectores públicos y privado en la investigación y normativa internacional del uso del sistema Pipe Bursting, con la finalidad de incrementar el uso en el ámbito local. - Gestión y compromiso de las entidades publicas para legislar e implementar el uso de tecnologías amigables con el medio ambiente y ayuden a reducir los costos de operación de los sistemas sin zanja.

5.2.4 MATRIZ DE RIESGOS SISTEMA A ZANJA ABIERTA Y SISTEMA PIPE BURSTING

La matriz de riesgos para las dos alternativas constructivas nos ayuda a determinar los riesgos desde la etapa de planificación del proyecto, facilitando desde el principio la mitigación de los aspectos que pueden impactar de una forma negativa el desarrollo de este, con la generación de alternativas que puedan en dado caso solventar el problema, apenas se presente.

A continuación, se muestra las directrices de calificación para los riesgos que se pueden presentar a la hora de escoger alguno de los sistemas constructivos de excavación a zanja abierta o sistema Pipe Bursting.

Categorías de impacto de los riesgos en el proyecto	
Escala de valoración	Definición de categoría
Alto(3)	Un evento que si ocurre causa una desviación del más del 10% en el tiempo, costo o alcance del proyecto.
Medio (2)	Un evento que si ocurre causa una desviación entre el 6% y el 10% en el tiempo, costo o alcance del proyecto.
Bajo(1)	Un evento que si ocurre causa una desviación menor al 6% en el tiempo, costo o alcance del proyecto.

Categorías de probabilidad de ocurrencia del riesgo	
Muy Frecuente (4)	76% - 100%
Periódico(3)	51% - 75%
Posible (2)	26% - 50%
Improbable (1)	1% - 25%

Estructura de Degradación de Riesgos			
Impacto/Probabilidad	Bajo	Medio	Alto
Muy Frecuente (4)			
Periódico(3)			
Posible (2)			
Improbable (1)			

Matriz de riesgos sistema zanja abierta

MATRIZ PARA LA TIPIFICACIÓN, ESTIMACIÓN Y ASIGNACIÓN DE RIESGOS PREVISIBLES EN EJECUCIÓN DE OBRA A ZANJA ABIERTA										
OBJETO: REHABILITACIÓN SISTEMA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO										
TIPIFICACIÓN DEL RIESGO					ESTIMACIÓN DEL RIESGO				PLAN DE MANEJO	ASIGNACIÓN DEL RIESGO
TIPO DE RIESGO	RIESGO	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO	CAUSA	CONSECUENCIA	CUALITATIVA		CUANTITATIVA			
					PROBABILIDAD	IMPACTO	PROBABILIDAD	VALOR DEL RIESGO		
Regulatorio	Licencia de Construcción y/o Excavación	Se entiende como el trámite ante las Entidades Distritales donde se ejecutará la obra para tener los permisos de licencias de excavación, Plan de Manejo de Tránsito FMT, Licencias ambientales y de mas permisos según la categoría de las obras, enmarcados en los planes de cada una de las entidades distritales.	Mala gestión del trámite de expedición de las licencias y permisos	Retrasos en el cronograma , sobrecostos	Baja	Bajo	Bajo	2.31%	Mitigar	Contratista Entidad contratante
Regulatorio	Licencia o trámites ambientales	Se entiende como el trámite ante las autoridades correspondientes para tener los permisos ambientales de utilización de las zonas de trabajo, fuentes, extracción, producción y colocación de materiales.	Mala gestión del trámite de expedición de las licencias y permisos	Retrasos en el cronograma , sobrecostos	Baja	Bajo	Bajo	2.31%	Mitigar	Contratista Entidad contratante
Operacional	Ejecución de la obra	Se presentan cuando durante la ejecución de la obras haya variaciones de cantidades y/o plazos con respecto a las condiciones técnicas iniciales.	Falta de planeación Nuevos requerimientos del cliente/patrocinador	Sobrecosto, pérdida de claridad en el alcance, problemas en el control de la ejecución	Medio	Medio	Medio	9.86%	Evitar	Contratista Interventoría Entidad contratante
Operacional	Programación de la obra	Efecto favorable o desfavorable derivado del desarrollo del esquema fijado en su programa de trabajo en la ejecución de la obra: en cuanto a compra, transporte e ingreso de materiales, ingreso y suministro de equipos, contratación de mano de obra, accesos a fuentes de materiales y de las vías públicas que utilice y localización de campamentos. todo esto enmarcado dentro del plazo máximo de ejecución del proyecto que dio origen a la programación de obra presentada para su ejecución .	Deficiencia en la planeación Nuevos requerimientos del cliente/patrocinador	Sobrecosto, pérdida de claridad en el alcance, problemas en el control de la ejecución	Medio	Medio	Medio	7.65%	Mitigar	Contratista Interventoría
Operacional	Calidad de las obras	Los efectos económicos desfavorables ocasionados por el incumplimiento de las especificaciones generales y particulares de construcción y de las normas de ensayo de materiales que regulan el contrato.	Deficiencia en el control de obra	Retrasos en el cronograma , sobrecostos	Baja	Medio	Baja	5.42%	Mitigar	Contratista Interventoría
Operacional	Fuentes de materiales (Proveedores)	El efecto favorable o desfavorable ocasionado por la selección, explotación, calidad y manejo de los insumos provenientes de las fuentes o proveedores de materiales de referencia entregadas en las especificaciones técnicas de los estudios y diseños.	Deficiencia en la planeación y control	Retrasos en el cronograma , sobrecostos	Medio	Medio	Medio	6.31%	Mitigar	Contratista Interventoría
Financiero	Estudios y diseños	Efecto económico derivado de diseños deficientes e incompletos.	Deficiencia en la revisión de los estudios y diseños	Sobrecosto, pérdida de claridad en el alcance, problemas en el control de la ejecución	Medio	Medio	Media	9.86%	Mitigar	Contratista Interventoría
Financiero	Geológico	Efecto económico derivado de la presencia durante la ejecución del contrato de zonas inestables o fallas geológicas no identificadas en los estudios y diseños. Se entiende como fallas geológicas, terremotos, movimientos telúricos.	Inundaciones, Terremotos, derrumbes de tierra, avalanchas	Suspensión del trabajo, retrasos en el cronograma	Baja	Bajo	Baja	5.42	Aceptar	Contratista Entidad contratante
Financiero	Precios unitarios	Los efectos económicos derivados de un análisis insuficiente de los precios unitarios realizados por el contratista, en cuanto equipos, transporte, materiales y mano de obra.	Mala estimación del costo directo de las actividades	Pérdida del equilibrio económico	Media	Alta	Media	6.31%	Mitigar	Contratista Interventoría
Financiero	Financieros (externos)	Cambios en las variables macroeconómicas de Colombia, pero sin limitación a inflación, devaluación y tasa de interés.	Cambios en la economía mundial, guerras comerciales	Sobrecostos	Baja	Medio	Baja	5.42%	Aceptar	Contratista Interventoría Entidad contratante
Financiero	Financieros (internos)	Se refiere a los posibles retrasos o incumplimientos parciales o totales relacionados con la capacidad que tiene el contratista para iniciar o continuar la obra en caso de que los anticipos y las actas no se cancelen dentro de los términos normales.	Deficiencia en la planeación y control	Suspensión del trabajo, retrasos en el cronograma y sobrecostos	Baja	Medio	Baja	5.42%	Mitigar	Contratista Interventoría
Financiero	Regulatorios y tributarios	Los efectos económicos derivados por la expedición de nuevas normas, al igual que la imposición de nuevos impuestos locales o nacionales posteriores al cierre del presente proceso de selección.	Cambios en la economía y política del país	Sobrecostos	Baja	Medio	Baja	2.31%	Aceptar	Contratista Interventoría Entidad contratante
Social o Político	Sociales	Los efectos económicos derivados de cualquier reclamación en razón a la ejecución de las obras; así como el efectos ocasionados por parálisis de las obras ocasionadas por el no pago de las obligaciones en materia de proveedores, salarios, seguridad social integral y parafiscales.	Deficiencia en la planeación, control y manejo del presupuesto	Suspensión del trabajo, retrasos en el cronograma y sobrecostos	Media	Medio	Media	6.31%	Mitigar	Contratista Interventoría
Social o Político	Compra de predios y servidumbres	Efectos económicos y de tiempo causados por la negociación, adquisición de los predios para la construcción de las obras. Demora en el inicio de los trabajos por este concepto.	Deficiencia en la planeación, control y manejo del presupuesto	Suspensión del trabajo, retrasos en el cronograma y sobrecostos	Baja	Alta	Baja	6.31%	Mitigar	Contratista Interventoría Entidad contratante
Social o Político	Zonas de depósitos	Efectos económicos ocasionados por demora trámite y cumplimiento en la disposición de materiales sobrantes producto de la ejecución de la obra	Deficiencia en la planeación, control y manejo del presupuesto	Suspensión del trabajo, retrasos en el cronograma y sobrecostos	Medio	Medio	Baja	4.21%	Mitigar	Contratista Interventoría
Social o Político	Condiciones climáticas adversas	Se debe entender como la posibilidad de que las condiciones climáticas inicialmente analizadas para cuantificar los rendimientos de la obra cambien abruptamente e incidan sobre cumplimiento normal del cronograma de actividades en cuanto a plazo se refiere al igual que el impedimento de ejecutar el procedimiento constructivo inicialmente pactado en el cuadro de cantidades. Se consideran condiciones climáticas adversas entre otras.	Lluvia excesiva, invierno prolongado, inundaciones, alto nivel freático, vientos huracanados, incendios forestales.	Suspensión del trabajo, retrasos en el cronograma y sobrecostos	Media	Alta	Media	6.21%	Aceptar	Contratista Interventoría
Social o Político	Asegurables	Efecto económico ocasionado por desastres naturales	Terremotos, inundaciones, sequías	Suspensión del trabajo, retrasos en el cronograma y sobrecostos	Baja	Medio	Baja	5.42%	Transferrir	Contratista Interventoría
Social o Político	No asegurables	Efecto económico ocasionado por Daño Emergente y/o Lucro Cesante .	Guerra ,terrorismo	Suspensión del trabajo, retrasos en el cronograma y sobrecostos	Baja	Medio	Baja	5.86%	Aceptar	Contratista Interventoría Entidad contratante
Social o Político	Alteración de orden público	Se debe entender como la posibilidad que por ese componente se afecte el normal proceso de construcción.	Protestas	Suspensión del trabajo, retrasos en el cronograma y sobrecostos	Medio	Medio	Medio	9.31%	Mitigar	Contratista Interventoría Entidad contratante

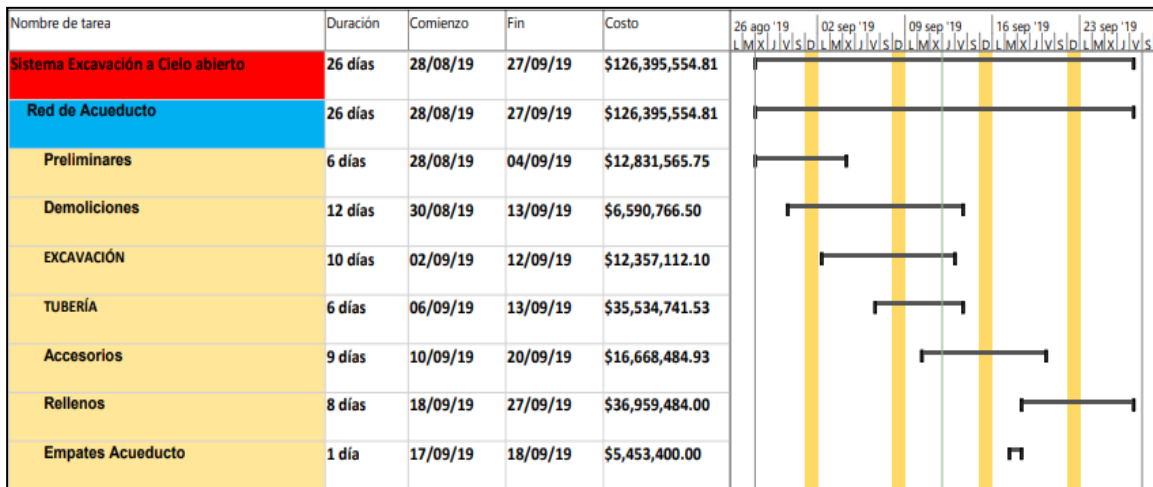
Matriz de riesgos sistema Pipe Bursting

MATRIZ PARA LA TIPIFICACIÓN, ESTIMACIÓN Y ASIGNACIÓN DE RIESGOS PREVISIBLES EN EJECUCIÓN DE OBRA USANDO SISTEMA PIPE BURSTING										
OBJETO: REHABILITACIÓN SISTEMA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO										
TIPIFICACIÓN DEL RIESGO					ESTIMACIÓN DEL RIESGO				PLAN DE MANEJO	ASIGNACIÓN DEL RIESGO
TIPO DE RIESGO	RIESGO	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO	CAUSA	CONSECUENCIA	CUALITATIVA		CUANTITATIVA			
					PROBABILIDAD	IMPACTO	PROBABILIDAD	VALOR DEL RIESGO		
Regulatorio	Licencia de Construcción y/o Excavación	Se entiende como el trámite ante las Entidades Distritales donde se ejecutará la obra para tener los permisos de licencias de excavación, Plan de Manejo de Tránsito PMT, Licencias ambientales y de mas permisos según la categoría de las obras, enmarcados en los planes de cada una de las entidades distritales.	Mala gestión del trámite de expedición de las licencias y permisos	Retrasos en el cronograma , sobrecostos	Baja	Bajo	Baja	2.31%	Mitigar	Contratista Entidad contratante
Regulatorio	Licencia o trámites ambientales	Se entiende como el trámite ante las autoridades correspondientes para tener los permisos ambientales de utilización de las zonas de trabajo, fuentes, extracción, producción y colocación de materiales.	Mala gestión del trámite de expedición de las licencias y permisos	Retrasos en el cronograma , sobrecostos	Baja	Bajo	Baja	2.31%	Mitigar	Contratista Entidad contratante
Operacional	Ejecución de la obra	Se presentan cuando durante la ejecución de la obras haya variaciones de cantidades y/o plazos con respecto a las condiciones técnicas iniciales.	Falta de planeación Nuevos requerimientos del cliente/patrocinador	Sobrecosto, pérdida de claridad en el alcance, problemas en el control de la ejecución	Media	Medio	Media	3.86%	Evitar	Contratista Interventoría Entidad contratante
Operacional	Programación de la obra	Efecto favorable o desfavorable derivado del desarrollo del esquema fijado en su programa de trabajo en la ejecución de la obra: en cuanto a compra, transporte e ingreso de materiales, ingreso y suministro de equipos, contratación de mano de obra, accesos a fuentes de materiales y de las vías públicas que utilice y localización de campamentos. todo esto enmarcado dentro del plazo máximo de ejecución del proyecto que dio origen a la programación de obra presentada para su ejecución	Deficiencia en la planeación Nuevos requerimientos del cliente/patrocinador	Sobrecosto, pérdida de claridad en el alcance, problemas en el control de la ejecución	Media	Bajo	Media	2.65%	Mitigar	Contratista Interventoría
Operacional	Calidad de las obras	Los efectos económicos desfavorables ocasionados por el incumplimiento de las especificaciones generales y particulares de construcción y de las normas de ensayo de materiales que regulan el contrato.	Deficiencia en el control de obra	Retrasos en el cronograma , sobrecostos	Baja	Bajo	Baja	3.42%	Mitigar	Contratista Interventoría
Operacional	Fuentes de materiales (Proveedores)	El efecto favorable o desfavorable ocasionado por la selección, explotación, calidad y manejo de los insumos provenientes de la fuentes o proveedores de materiales de referencia entregadas en las especificaciones técnicas de los estudios y diseños.	Deficiencia en la planeación y control	Retrasos en el cronograma , sobrecostos	Media	Bajo	Media	3.31%	Mitigar	Contratista Interventoría
Financiero	Estudios y diseños	Efecto económico derivado de diseños deficientes e incompletos.	Deficiencia en la revisión de los estudios y diseños	Sobrecosto, pérdida de claridad en el alcance, problemas en el control de la ejecución	Media	Medio	Media	5.86%	Mitigar	Contratista Interventoría
Financiero	Geológico	Efecto económico derivado de la presencia durante la ejecución del contrato de zonas inestables o fallas geológicas no identificadas en los estudios y diseños. Se entiende como fallas geológicas, terremotos, movimientos telúricos.	Inundaciones, Terremotos, derrumbes de tierra, avalanchas	Suspensión del trabajo, retrasos en el cronograma	Baja	Bajo	Baja	5.42	Aceptar	Contratista Entidad contratante
Financiero	Precios unitarios	Los efectos económicos derivados de un análisis insuficiente de los precios unitarios realizados por el contratista, en cuanto equipos, transporte, materiales y mano de obra.	Mala estimación del costo directo de las actividades	Perdida del equilibrio económico	Media	Medio	Media	6.31%	Mitigar	Contratista Interventoría
Financiero	Financieros (externos)	Cambios en las variables macroeconómicas de Colombia, pero sin limitación a inflación, devaluación y tasa de interés.	Cambios en la economía mundial, guerras comerciales	Sobrecostos	Baja	Medio	Baja	5.42%	Aceptar	Contratista Interventoría Entidad contratante
Financiero	Financieros (internos)	Se refiere a los posibles retrasos o incumplimientos parciales o totales relacionados con la capacidad que tiene el contratista para iniciar o continuar la obra en caso de que los anticipos y las actas no se cancelen dentro de los términos normales.	Deficiencia en la planeación y control	Suspensión del trabajo, retrasos en el cronograma y sobrecostos	Baja	Medio	Baja	5.42%	Mitigar	Contratista Interventoría
Financiero	Regulatorios y tributarios	Los efectos económicos derivados por la expedición de nuevas normas, al igual que la imposición de nuevos impuestos locales o nacionales posteriores al cierre del presente proceso de selección.	Cambios en la economía y política del país	Sobrecostos	Baja	Bajo	Baja	2.31%	Aceptar	Contratista Interventoría Entidad contratante
Social o Político	Sociales	Los efectos económicos derivados de cualquier reclamación en razón a la ejecución de las obras; así como el efectos ocasionados por parálisis de las obras ocasionadas por el no pago de las obligaciones en materia de proveedores, salarios, seguridad social integral y parafiscales.	Deficiencia en la planeación, control y manejo del presupuesto	Suspensión del trabajo, retrasos en el cronograma y sobrecostos	Media	Bajo	Media	6.31%	Mitigar	Contratista Interventoría
Social o Político	Compra de predios y servidumbres	Efectos económicos y de tiempo causados por la negociación, adquisición de los predios para la construcción de las obras. Demora en el inicio de los trabajos por este concepto.	Deficiencia en la planeación, control y manejo del presupuesto	Suspensión del trabajo, retrasos en el cronograma y sobrecostos	Baja	Medio	Baja	6.31%	Mitigar	Contratista Interventoría Entidad contratante
Social o Político	Zonas de depósitos	Efectos económicos ocasionados por demora trámite y cumplimiento en la disposición de materiales sobrantes producto de la ejecución de la obra	Deficiencia en la planeación, control y manejo del presupuesto	Suspensión del trabajo, retrasos en el cronograma y sobrecostos	Medio	Bajo	Baja	2.21%	Mitigar	Contratista Interventoría
Social o Político	Condiciones climáticas adversas	Se debe entender como la posibilidad de que las condiciones climáticas inicialmente analizadas para cuantificar los rendimientos de la obra cambien abruptamente e incidan sobre cumplimiento normal del cronograma de actividades en cuanto a plazo se refiere al igual que el impedimento de ejecutar el procedimiento constructivo inicialmente pactado en el cuadro de cantidades. Se consideran condiciones climáticas adversas entre otras.	Lluvia excesiva, invierno prolongado, inundaciones, alto nivel freático, vientos huracanados, incendios forestales.	Suspensión del trabajo, retrasos en el cronograma y sobrecostos	Media	Bajo	Media	3.21%	Aceptar	Contratista Interventoría
Social o Político	Asegurables	Efecto económico ocasionado por desastres naturales	Terremotos, inundaciones, sequías	Suspensión del trabajo, retrasos en el cronograma y sobrecostos	Baja	Medio	Baja	5.42%	Transferrir	Contratista Interventoría
Social o Político	No asegurables	Efecto económico ocasionado por Daño Emergente y/o Lucro Cesante .	Guerra ,terrorismo	Suspensión del trabajo, retrasos en el cronograma y sobrecostos	Baja	Medio	Baja	5.86%	Aceptar	Contratista Interventoría Entidad contratante
Social o Político	Alteración de orden público	Se debe entender como la posibilidad que por ese componente se afecte el normal proceso de construcción.	Protestas	Suspensión del trabajo, retrasos en el cronograma y sobrecostos	Media	Baja	Baja	3.31%	Mitigar	Contratista Interventoría Entidad contratante

5.2.5 ANÁLISIS DESDE LA PROGRAMACIÓN Y TIEMPO DE EJECUCIÓN

Otro factor importante en la toma de decisiones para la alternativa de construcción en la renovación de redes de acueducto y alcantarillado es la programación y el tiempo de ejecución de las dos alternativas analizadas. Para esto, se tuvo en cuenta las cantidades de las actividades a realizar, rendimientos de mano de obra, número de cuadrillas para poder desarrollar las tareas, entre otros elementos que influyen en la programación del proyecto.

Ilustración 16 Programación de sistema a zanja abierta (elaboración autor)



INFORME DE HITO

HITOS EXCAVACIÓN A ZANJA ABIERTA	
Hitos que vencen este mes.	
Nombre	Fin
Inicio Preliminares	28/08/19
Fin Preliminares	04/09/19
Inicio Demoliciones	30/08/19
Fin Demoliciones	13/09/19
Inicio Excavaciones	02/09/19
Fin Excavaciones	12/09/19
Inicio instalación tubería	06/09/19
Fin instalación tubería	13/09/19
Inicio instalación accesorios	10/09/19
Fin instalación accesorios	18/09/19
Inicio Rellenos	18/09/19
Fin Rellenos	27/09/19
Inicio empates acueducto	28/08/19
Fin empates acueducto	18/09/19

TAREAS CRÍTICAS EXCAVACIÓN A ZANJA ABIERTA

Nombre	Comienzo	Fin
Localización y replanteo	28/08/19	30/08/19
Suministro e instalación señalización y aislamiento de obra	28/08/19	04/09/19
Demolición andén en tablon - tableta o adoquín	30/08/19	04/09/19
Retiro de red existente acueducto - (incluye cargue, retiro y disposición final en botadero certificado)	04/09/19	13/09/19
Excavación Manual para instalación red Acueducto (incluye cargue, retiro y disposición final en botadero certificado)	02/09/19	12/09/19
Suministro e instalación tubería PVC presión ϕ 8" (incluye cama de arena)	06/09/19	13/09/19
Suministro e instalación recebo B-400 (incluye humedecer y compactar 95%)	18/09/19	25/09/19
Suministro e instalación imprimación	25/09/19	26/09/19
Recuperación de carpeta asfáltica (e=0,20cm) - (incluye suministro e instalación)	26/09/19	27/09/19
Fin Rellenos	27/09/19	27/09/19
Empate red existente de 6" Existente (incluye excavación, equipos, materiales y recuperación del área afectada)	17/09/19	18/09/19
Empate red existente de 8" Existente (incluye excavación, equipos, materiales y recuperación del área afectada)	17/09/19	18/09/19

Ilustración 17 Programación de sistema Pipe Bursting (elaboración autor)

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Costo	26 ago '19	02 sep '19	09 sep '19
					L M X J J V S D	L M X J J V S D	L M X J J
Sistema Pipe Bursting	12 días	28/08/19	11/09/19	\$85,660,900.96	[Barra de actividad]		
Red de Acueducto	12 días	28/08/19	11/09/19	\$85,660,900.96	[Barra de actividad]		
Preliminares	4 días	28/08/19	02/09/19	\$5,407,989.61	[Barra de actividad]		
Demoliciones	2 días	29/08/19	02/09/19	\$530,878.00	[Barra de actividad]		
EXCAVACIÓN	1 día	29/08/19	30/08/19	\$1,295,590.00	[Barra de actividad]		
TUBERÍA	2 días	02/09/19	04/09/19	\$52,869,631.75	[Barra de actividad]		
Accesorios	6 días	03/09/19	10/09/19	\$15,109,599.10	[Barra de actividad]		
Rellenos	3 días	06/09/19	11/09/19	\$4,993,812.50	[Barra de actividad]		
Empates Acueducto	1 día	05/09/19	06/09/19	\$5,453,400.00	[Barra de actividad]		

HITOS SISTEMA PIPE BURSTING

Hitos que vencen este mes.

Nombre	Fin
Inicio Preliminares	28/08/19
Fin Preliminares	02/09/19
Inicio Demoliciones	29/08/19
Fin Demoliciones	02/09/19
Inicio Excavación	29/08/19
Fin Excavación	30/08/19
Inicio instalación tubería	02/09/19
Fin instalación tubería	04/09/19
Inicio instalación accesorios	03/09/19
Fin instalación accesorios	10/09/19
Inicio Rellenos	09/09/19
Fin Rellenos	11/09/19
Inicio empates acueducto	05/09/19
Fin empates acueducto	06/09/19

INFORME DE HITO

Nombre	Comienzo	Fin
Localización y replanteo	28/08/19	30/08/19
Suministro e instalación señalización y aislamiento de obra	28/08/19	29/08/19
Demolición andén en tablon - tableta o adoquín	29/08/19	30/08/19
Excavación Manual para instalación red Acueducto (incluye cargue, retiro y disposición final en botadero certificado)	29/08/19	30/08/19
Suministro e instalación tubería PVC presión ϕ 8" (Incluye cama de arena)	02/09/19	04/09/19
Suministro e instalación recebo B-400 (Incluye humedecer y compactar 95%)	06/09/19	09/09/19
Suministro e instalación imprimación	09/09/19	10/09/19
Recuperación de carpeta asfáltica (e=0,20cm) - (Incluye suministro e instalación)	10/09/19	11/09/19
Fin Rellenos	11/09/19	11/09/19
Empate red existente de 6" Existente (Incluye excavación, equipos, materiales y recuperación del área afectada)	05/09/19	06/09/19
Empate red existente de 8" Existente (Incluye excavación, equipos, materiales y recuperación del área afectada)	05/09/19	06/09/19

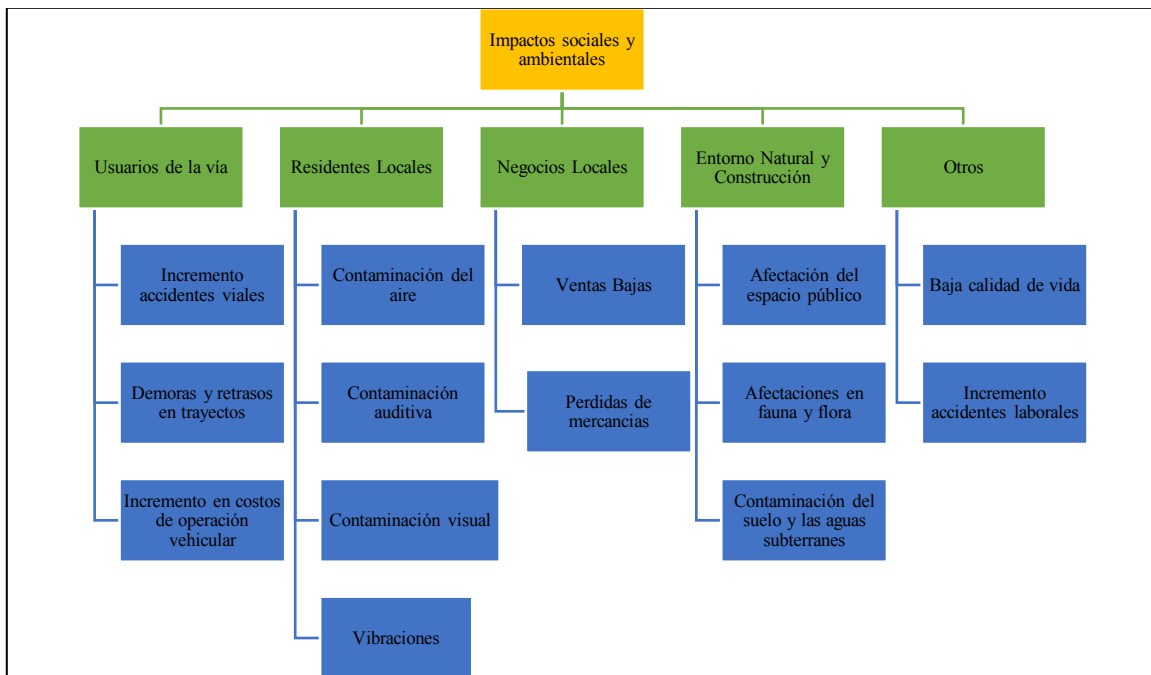
TAREAS CRITICAS SISTEMA PIPE BURSTING

5.2.6 ANÁLISIS DESDE EL IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL

Con el fin de poder analizar el impacto social y ambiental de las excavaciones a zanja abierta, se tomó como referencia el estudio realizado por Apeldoorn sobre los costos indirectos que denominó “perjuicios colaterales” para los casos “Storm drain, Oackland, California”, “Sewer 7 district Vienna, Austria” y “Sewer 19 district Vienna, Austria”, donde se establece unos parámetros de incidencia a los entornos social y ambiental, por parte de la actividad de excavación a zanja abierta, estableciendo una metodología para poder medir el costo económico de estas afectaciones. **(Apeldoorn, 2010)**

A continuación, se muestra en la ilustración 15 los principales aspectos de impacto sociales y ambientales producto de las excavaciones a zanja abierta, los cuales plantea Apeldoorn en su estudio como factores desencadenantes de la problemática.

Ilustración 18 Impactos Sociales y Ambientales producto de las excavaciones (elaboración autor)



Así mismo, el estudio plantea como obtener el costo de afectación utilizando algunos parámetros del cuadro anterior y valorarlos por el metraje de tubería instalada o por la duración de la actividad por días. A continuación, se muestra la tabla resumen de Apeldoorn. (ver la tabla 19)

Tabla 19 tabla resumen Apeldoorn (valor costos indirectos)

Categoría de costos social y ambiental	Minium [\$/m]	Maximum [\$/m]	Minium [\$/day]	Maximum [\$/m]
Costo de operación de vehículo	\$ 9.00	\$ 271.00	\$ 26.00	\$ 1,973.00
Costos den demoras de viaje	\$ 13.00	\$ 940.00	\$ 41.00	\$ 6,435.00
Generación Polvo y tierra	\$ 13.00	\$ 66.00	\$ 55.00	\$ 136.00
Ingresos de parquímetro	\$ 26.00	\$ 39.00	\$ 83.00	\$ 217.00
Disminución en el valor de la superficie	\$ 66.00	\$ 144.00	\$ 227.00	\$ 318.00
Costo Contaminación Acústica	-\$ 26.00	\$ 2.10	-\$ 66.00	\$ 7.00

Para efectos del ejercicio de análisis del costo de impacto social y ambiental, se tomó la anterior tabla 19, y se adoptaron las mismas categorías y valores de costo de impacto, los cuales están en dólares australianos. Realizando la conversión de moneda a pesos colombianos (COP), se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 20 tabla resumen Apeldoorn con precios moneda Colombia

Costos Indirectos	Cant. (ml)	Mínimo x metro		Mínimo X día	
		Valor Unitario (\$2313.86 COP)	Valor mínimo X ml de instalación	Valor Unitario (\$2313.86 COP)	Valor máximo X ml de instalación
Costo de operación de vehículo	252.4	\$ 20,824.74	\$ 5,256,164.38	\$ 60,160.36	\$ 15,184,474.86
Costos por demoras de viaje	252.4	\$ 30,080.18	\$ 7,592,237.43	\$ 94,868.26	\$ 23,944,748.82
Generación Polvo y tierra	252.4	\$ 30,080.18	\$ 7,592,237.43	\$ 127,262.30	\$ 32,121,004.52
Disminución en el valor de la superficie	252.4	\$ 152,714.76	\$ 38,545,205.42	\$ 525,246.22	\$ 132,572,145.93
Costo Contaminación Acústica	252.4	-\$ 60,160.36	-\$ 15,184,474.86	-\$ 152,714.76	-\$ 38,545,205.42

La siguiente tabla 21, muestra la valoración dada para cada una de las categorías de costos sociales y ambientales, según el criterio de análisis desarrollado a través de las diferentes estrategias y métodos planteados anteriormente para la toma de decisiones. Como resultado de lo anterior, se adoptaron parámetros de calificación para los aspectos más relevantes que pueden impactar en gran medida el proyecto.

Tabla 21 Resumen valor costo estimado usando cada uno de los sistemas

Categoría de costos social ambiental	Excavación a cielo abierto		Pipe Bursting	
	Porcentaje afectación	Costo x metros totales instalados	Porcentaje afectación	Costo x metros totales instalados
Costo de operación de vehículo	70%	\$ 3,679,315.06	20%	\$ 1,051,232.88
Costos den demoras de viaje	80%	\$ 6,073,789.95	20%	\$ 1,518,447.49
Generación Polvo y tierra	80%	\$ 6,073,789.95	10%	\$ 759,223.74
Disminución en el valor de la superficie	80%	\$ 30,836,164.34	5%	\$ 1,927,260.27
Costo Contaminación Acústica	90%	\$ 1,226,438.35	20%	\$ 245,287.67
Costo Indirecto		\$ 47,889,497.65		\$ 5,501,452.05

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS E IMPACTOS

6.1 APORTE DE LOS RESULTADOS A LA GERENCIA DE OBRAS

Los aportes más relevantes se enfocan principalmente en el modelo y metodología propuestos, y su aplicación a partir del análisis de los diferentes factores que intervienen al momento de realizar los trabajos de rehabilitación y mantenimiento de acueductos y alcantarillados. A continuación, se describen de manera más detallada, los principales aportes del trabajo de investigación, en relación con la forma de tomar mejores decisiones.

- Generar una estrategia para la toma de decisiones entre alternativas constructivas para la renovación y rehabilitación de redes de acueducto y alcantarillado.
- Sistema de evaluación y caracterización de los procesos a zanja abierta y sin zanja.
- Análisis de los factores de riesgo de los sistemas a zanja abierta y como sería el impacto social y económico de su implementación.
- Medio de consulta para la profundización e investigación para la promulgación e implementación de las tecnologías sin zanja.
- Propuesta de análisis de toma de decisiones entre alternativas constructivas, evaluando los aspectos económicos, riesgos, fortalezas, debilidades, de impactos ambientales y sociales, que al momento de tomar una mala decisión pueden generar sobrecostos en la actividad planeada.

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

A la pregunta de investigación, **Cómo se puede determinar, ¿cuál de los sistemas “Pipe Bursting” vs “Excavación a zanja abierta”, ¿es el más apropiado para la renovación de redes de acueducto y alcantarillado de Bogotá?**; se puede establecer que, los procedimientos de comparación y métodos de evaluación utilizados en el presente trabajo de investigación tienen gran impacto al momento de decidir, cual método es el ideal a utilizar, según las características únicas de cada proyecto.

La toma de decisiones utilizando la matriz DOFA, árbol de decisiones, matrices de riesgos, ayuda a determinar las fortalezas y debilidades de los sistemas constructivos propuestos, dando relevancia a los impactos sociales y ambientales de cada sistema. así mismo, los análisis económicos, análisis desde la programación y presupuesto, ayudaron a determinar cuál de los sistemas tiene mayores beneficios para la ejecución de la obra, el manejo de los recursos económicos y el manejo de los riesgos sociales y ambientales. A continuación, se presenta una tabla comparativa entre los dos sistemas propuestos.

Tabla 22 Comparación aspectos evaluados sistemas a zanja abierta y Pipe Bursting

Aspectos evaluados	SISTEMA CONSTRUCTIVO	
	Excavación a zanja abierta	Pipe Bursting
Bajo costo directo de ejecución	X	✓
Bajo costo indirecto de ejecución	X	✓
Menor tiempo de ejecución	X	✓
Bajo riesgo de accidente laboral	X	✓
Bajo impacto ambiental	X	✓
Bajo impacto Social	X	✓
Información en procedimientos técnicos y normatividad	✓	X
Demanda y campo de acción para la renovación de redes	✓	✓
bajas limitaciones técnicas (terreno, diámetros tubería y material)	✓	X
Altas oportunidades	X	✓
Altos Riesgos	✓	X
Altas debilidades	✓	X
Altas fortalezas	X	✓

Por consiguiente, después de evaluar y determinar los aspectos más relevantes en la toma de decisiones del procedimiento, para la renovación y rehabilitación de las redes de acueducto, se puede concluir que, el sistema Pipe Bursting, es el método ideal para esta clase de actividades. Debido a sus ventajas económicas, tiempo de ejecución, impacto ambiental y social. Esto comparándolo con el sistema tradicional de zanja abierta, el cual se viene ejecutando y promoviendo por los sectores económicos privados y públicos, desconociendo las ventajas que puede ofrecer el sistema sin zanja como el Pipe Bursting.

6.3 ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN Y DIVULGACIÓN

- Entrega de documento de consulta y apoyo de investigación para el análisis de alternativa constructiva en la renovación y rehabilitación de redes de acueducto y alcantarillando, utilizando el sistema sin zanja Pipe Bursting.
- Artículo académico realizando la comparación de alternativas constructivas entre el sistema Pipe Bursting y el sistema a zanja abierta tradicional.
- Sustentación del proyecto de investigación, según lo establecido por el programa de Especialización de Gerencia de Obras.

7 NUEVAS ÁREAS DE ESTUDIO

El sistema Pipe Bursting, es una alternativa constructiva que requiere mayor difusión, investigación y reglamentación, para su optimización e implementación. El sistema tiene una gran oportunidad de negocio a quienes utilizan y desarrollan esta clase de tecnologías sin zanja, en ciudades con densidad demográfica, como la ciudad de Bogotá.

Es posible plantear otras alternativas económicas y financieras para la evaluación de sistemas sin zanja, que permitan definir desde un punto comparativo las ventajas y desventajas de las metodologías de rehabilitación de tuberías. Así mismo, se plantea un modelo de evaluación del impacto ambiental y social que ayude a determinar el verdadero costo indirecto de la ejecución de obras de construcción, renovación o rehabilitación en las redes de acueducto y alcantarillado.

Con el trabajo de investigación, se abre la posibilidad de mejoramiento de procesos en la toma de decisiones, al momento de escoger entre alternativas constructivas, enfocándose, no solo en el aspecto de la viabilidad económica, sino en dar la importancia necesaria del impacto producido al entorno de las comunidades, donde se desarrolla la actividad.

8 CONCLUSIONES

- La investigación realizada ha contribuido de manera muy importante en identificar y resaltar los factores, que hay que cubrir y considerar al momento de implementar una alternativa constructiva adecuada, teniendo en cuenta, los beneficios económicos, sociales y ambientales a las que se enfrenta cada una de las propuestas presentadas, esto con el objetivo de obtener el máximo beneficio del proyecto realizado.
- Los sistemas sin zanja cuentan con más de 60 años desde su aparición. Sin embargo, en Colombia, se sigue dando prioridad por parte de las entidades públicas y privadas, a la realización de contratos priorizando el uso del método a zanja abierta, dejando de lado los beneficios ofrecidos en el uso de las tecnologías sin zanja.
- Se evidenció que el sistema Pipe Bursting, utiliza menos recursos y es más eficiente en su ejecución, comparándolo con el método convencional para rehabilitación de tuberías, lo que significa menores costos constructivos.
- Se puede establecer que el sistema a zanja abierta requiere aproximadamente el 45% del presupuesto para actividades preliminares, demolición y recuperación del espacio público afectado, mientras tanto, el sistema Pipe Bursting, requiere tan solo el 13% del presupuesto para estas mismas actividades.
- El sistema Pipe Bursting, tiene un ahorro de ejecución constructiva aproximadamente del 30%, comparándolo con el sistema tradicional de excavación a zanja abierta.
- El costo indirecto representado en el impacto ambiental y social de la actividad es casi un 90% mayor en el sistema tradicional a zanja abierta en comparación con el sistema Pipe Bursting.
- Realizada la matriz DOFA y Matriz de Riesgos para los dos sistemas propuestos de renovación y rehabilitación de redes, se puede concluir que la utilización de sistema tradicional de excavación produce una gran variedad de inconvenientes al inicio, ejecución y finalización de las actividades, generando sobrecostos al proyecto e inconvenientes con la comunidad.

- Durante la investigación, se puede determinar una falencia en la implementación, control y verificación de los procesos normativos por parte de las entidades públicas, en la utilización de los sistemas sin zanja.
- El sistema pipe Bursting, tiene un gran campo de acción en la renovación de redes de acueducto en la ciudad de Bogotá, ya que aproximadamente el 70% de las redes existentes, cuentan con más de 45 años de antigüedad.

9 BIBLIOGRAFÍA

Barbosa, G. A. (2013). *Estudio de la aplicación de tecnologías Trenchless en Bogotá*. Universidad Católica de Colombia, Ingeniería Civil. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Recuperado el 2019 de marzo de 25, de <http://hdl.handle.net/10983/1592>

CET N Y L, & CET N Y L (EPM). (2017). <https://www.epm.com.co>. Recuperado el abril de 2019, de https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/Aguas/NC_AS_IL01_39_Reemplazo_de%20tuberia_de_acueducto_y_alcantarillado_sin_zanja_por_el_metodo_de_pipe_bursting.pdf?ver=2018-06-14-114153-487

Charles Ormsby. (2009). *A framework for estimating the total cost of buried municipal infrastructure renewal projects A case study in Montreal*. M.Eng., McGill University, Montreal, Canada. Obtenido de <http://search.proquest.com/central/docview/305106428/abstract/96DA3B5C3084089PQ/1>

D. K. C. Moreno, E. C. A. Romero, y E. J. B. Berna. (2016). *Comparación técnica y económica del uso del sistema de perforación horizontal “ramming” y el sistema tradicional a cielo abierto en obras de instalación de redes subterráneas tomando como referencia el caso de la obra ubicada en el municipio de Tocancipá*. Universidad Católica de Colombia, Ingeniería Civil. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (11 de 04 de 2019). *Estadísticas por tema*. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) Recuperado el 11 de abril de 2019, de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema>.

El Espectador. (02 de julio de 2018). *elespectador.com*. (El Espectador) Recuperado el 2019 de abril de 13, de <https://www.elespectador.com/noticias/bogota/donde-sale-el-agua-de-bogota-articulo-797833>

Empresa de Acueducto de Bogotá. (2019). <https://www.acueducto.com.c>. (Empresa de Acueducto de Bogotá) Recuperado el 1 de mayo de 2019, de <https://www.acueducto.com.co/webdomino/sistec/consultas.nsf>

Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Btá. (s.f.). *www.acueducto.com.co*. Recuperado el 2019 de abril de 13, de <https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB/aempsecsecundaria/empresanuestrahistoria>

Empresas Publicas de Medellin (E.P.M.). (2019). *www.epm.com.co*. (E.P.M.) Recuperado el 25 de abril de 2019, de <https://www.epm.com.co/site/nuestros-proyectos/proyecto-modernizacion-de-redes>

H. Ávila & W. Clavijo . (2002). Renovación y rehabilitación de redes de distribución de agua potable y de alcantarillado. Bogotá.

J. A. Alarcón y J. L. Pacheco. (2014). *Comparación tecnológica y costos del metodo de instalación de tuberías sin zanja (Trenchless) más eficiente para los suelos encontrados en un proyecto de bogotá*. Pontificia Universidad Javeriana, Ingeniería Civil. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado el 07 de marzo de 2019, de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/16783/AlarconRochaJonathanArmando2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

J. E. Duque. (2018). *Beneficios socio-ambientales de las Tecnologías Sin Zanja*. Universidad EAFIT, Gerencia de Proyectos. Bogotá: Universidad EAFIT. Recuperado el mayo de 2019, de <http://hdl.handle.net/10784/13211>

J. Simicevic & R. Sterling. (2001). Guidelines for Pipe Bursting. *Engineering Research and Development Center (ERDC)*, 55.

J.C. Ojeda. (2015). *Análisis comparativo entre el método Pipe Bursting y el método tradicional en la renovación de tuberías de desagüe*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Ingeniería Civil. Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Jeff , G. (2000). Pipe bursting saves money on sewer jobs. *Construction Equipment*, 96-97. Obtenido de <http://search.proquest.com/central/docview/206669827/abstract/AECAAE16DB204080PQ/6>

- Luís A. Gómez. (2017). NORMAS SOBRE TECNOLOGÍAS SIN ZANJA-TSZ PARA TUBERÍAS – VISIÓN GENERAL. *Standards on Trenchless Technologies for pipes- An Overview*, 6.
- Ministerio del interior. (2019). *www.mininterior.gov.co*. Recuperado el 25 de abril de 2019, de <https://www.mininterior.gov.co/la-institucion/normatividad/ley-99-de-1993>
- N. F. Estrada y C. L. Forero. (2018). *Evaluación de la gestión del tiempo bajo la guía pmbok® 5ta edición para método spr de rehabilitación de tubería sin zanja vs método convencional de rehabilitación de tubería*. Universidad Católica de Colombia, Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Onkar K. Chothe , V.S. Kadam . (2016). Comparative Study of traditional method and innovative method for trenchless technology. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4.
- P. Kenter. (2006). Social costs of sewer and water main construction. *Daily Commercial News and Construction Record*, 79, SW1,SW3. Obtenido de <http://search.proquest.com/central/docview/224187862/abstract/846CB37BD2704209PQ/4>
- Penagos, J. (2010). Metodología para la elaboración de planes de rehabilitación de redes de alcantarillado. Bogotá.
- Pinzón, J. A. (2011). *Evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá*. bachelorThesis, Pontificia Universidad Javeriana, Ingeniería Civil, Bogotá. Recuperado el 15 de marzo de 2019, de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/7549>
- R. H. Clark & K. R. Browning. (1992). Benefit/Cost Analysis of Trenchless Alternatives. *American Association of Cost Engineers. Transactions of the American Association of Cost Engineer*, Q.1.1. Obtenido de <http://search.proquest.com/central/docview/208191708/abstract/35757F19704C485EPQ/1>

- R. H. Harbuck. (2000). Economic evaluation of trenchless technology. *AACE International Transactions*, RI12.1-RI12.7. Obtenido de <http://search.proquest.com/central/docview/208187226/abstract/30DE910B7F9449BPQ/1>
- R. McKim. (1996). Selection of appropriate trenchless technologies for the repair and rehabilitation of underground infrastructure systems. (C. A. 199, Ed.) *Transactions of AACE International Morgantown*. Recuperado el mayo de 2019, de <http://search.proquest.com/central/docview/208192727/abstract/62F946194864A04PQ/1>
- R. Sterling ; E. Allouche & M. Baumert . (11 de agosto de 2006). *Method selection for trenchless technology in south america*. Recuperado el abril de 2019, de http://www.grupo-epm.com/site/Portals/1/biblioteca_epm_virtual/tesis/Methodselectionfortrenchlesstechnology.pdf
- Radio, C. (s.f.). *Caracol Radio*. (Caracol Radio) Recuperado el 11 de abril de 2019
- S. Apeldoorn. (2010). *Comparing the cost-trenchless versus traditional methods”, en International Societyfor Trenchless Technology Conferencie, Australasian Society for Trenchless Technology*. Sidney,Australia.
- S. Niño & J. Cárdenas . (2009). *NUEVOS PROCEDIMIENTOS EN LA RECUPERACIÓN DE REDES DE ALCANTARILLADO*. Universidad de la Salle, Ingeniería Civil. Bogotá: Universidad de la Salle. Recuperado el abril de 2019
- Saieth Baudilio Chaves,Dayan Cárdenas, & Carolina Avilez,Julieth Barajas. (2018). Comparative Technical and Economic Study between Pipe Ramming and the Conventional System: Case Stud. Bogotá,Colombia: Revista Ingeniería Solidaria, vol. 14, no. 24, pp. 16, enero 2018.
- Santiago, F. (2015). *Métodos de excavación sin zanjas*. Universidad Politécnica de Madrid, Ingeniería Civil. Madrid. España: Universidad de Madrid. Recuperado el 13 de Marzo de 2019, de http://oa.upm.es/37225/1/Tesis_master_Felicidad_Minguez_Santiago.pdf

Viana, F. (2004). *Técnicas de construcción fundamentadas en la tecnología sin zanjas*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Ingeniería Civil. Antigua Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

10 ANEXOS

Anexo 1 A.P.U.s (zanja abierta - elaboración autor)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO (Excavación zanja abierta - 2019)						
ÍTEM	DESCRIPCION	UNIDAD			CANTIDAD	
2.4	Retiro de red existente acueducto - (incluye cargue, retiro y disposición final en botadero certificado)	ml			1.00	
Descripción		Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr Unitario	
Minicargador		Bodcat	\$ 56,000.00	0.1000	\$ 5,600.00	
SUBTOTAL						\$ 5,600.00
2. MATERIALES						
Descripción		UN	Cantidad	Vr Precio	Vr Unitario	
Herramienta Menor		%md	0.10	\$ 1,000.00	\$ 100.00	
SUBTOTAL						\$ 100.00
3. TRANSPORTES						
Descripción	UN	Cantidad (1)	Distancia (2)	Cantidad (1)*(2)	Tarifa	Vr Unitario
Trasporte material demolición	m3k	1.00	1.00	1.00	750.00	\$ 750.00
SUBTOTAL						\$ 750.00
4. MANO DE OBRA						
Trabajador	Cuadrilla	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Vr Unitario
Oficial	1	\$ 80,000.00	1.65	132,000.00	0.030	\$ 3,960.00
Ayudante	2	\$ 50,000.00	1.65	165,000.00	0.030	\$ 4,950.00
SUBTOTAL						\$ 8,910.00
TOTAL COSTO DIRECTO						\$ 15,360.00

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO (Excavación zanja abierta - 2019)						
ÍTEM	DESCRIPCION	UNIDAD			CANTIDAD	
3.1	Excavación Manual para instalación red Acueducto (incluye cargue, retiro y disposición final en botadero certificado)	m ³			1.00	
1. EQUIPO						
Descripción		Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr Unitario	
Minicargador		Bodcat	\$ 56,000.00	0.1000	\$ 5,600.00	
SUBTOTAL						\$ 5,600.00
2. MATERIALES						
Descripción		UN	Cantidad	Vr Precio	Vr Unitario	
Herramienta Menor		%md	1.00	\$ 1,000.00	\$ 1,000.00	
Combustible		gl	0.10	\$ 10,000.00	\$ 1,000.00	
SUBTOTAL						\$ 2,000.00
3. TRANSPORTES						
Descripción	UN	Cantidad (1)	Distancia (2)	Cantidad (1)*(2)	Tarifa	Vr Unitario
Trasporte material demolición	m3k	1.30	10.00	13.00	1,125.00	\$ 14,625.00
SUBTOTAL						\$ 14,625.00
4. MANO DE OBRA						
Trabajador	Cuadrilla	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Vr Unitario
Oficial	1	\$ 80,000.00	1.65	132,000.00	0.020	\$ 2,640.00
Ayudante	2	\$ 50,000.00	1.65	165,000.00	0.020	\$ 3,300.00
SUBTOTAL						\$ 5,940.00
TOTAL COSTO DIRECTO						\$ 28,165.00

Anexo 2 A.P.U.s (zanja abierta - elaboración autor)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO (Excavación zanja abierta - 2019)							
ÍTEM	DESCRIPCIÓN			UNIDAD	CANTIDAD		
4.1	Suministro e instalación tubería PVC presión ϕ 8" (incluye cama de arena)			ml	1.00		
1. EQUIPO							
Descripción		Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr Unitario		
Minicargador		Bodcat	\$ 56,000.00	0.0100	\$ 560.00		
SUBTOTAL					\$ 560.00		
2. MATERIALES							
Descripción		UN	Cantidad	Vr Precio	Vr Unitario		
Herramienta Menor		%md	0.50	\$ 1,000.00	\$ 500.00		
Suministro tubería RDE 21 ϕ 8"		ml	1.05	\$ 129,387.72	\$ 135,857.11		
Lubricante		500gr	0.02	\$ 18,065.00	\$ 361.30		
Cinta de señalización EAB		ml	1	\$ 90.00	\$ 90.00		
Arena		m3	0.01	\$ 70,000.00	\$ 700.00		
SUBTOTAL					\$ 137,508.41		
3. TRANSPORTES							
Descripción		UN	Cantidad (1)	Distancia (2)	Cantidad (1)*(2)	Tarifa	Vr Unitario
Trasporte material demolición		m3k	1.00	10.00	10.00	750.00	\$ 7,500.00
SUBTOTAL					\$ 7,500.00		
4. MANO DE OBRA							
Trabajador		Cuadrilla	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Vr Unitario
Oficial		1	\$ 80,000.00	1.65	132,000.00	0.060	\$ 7,920.00
Ayudante		1	\$ 50,000.00	1.65	82,500.00	0.060	\$ 4,950.00
SUBTOTAL					\$ 12,870.00		
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 158,438.41		

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO (Excavación zanja abierta - 2019)							
ÍTEM	DESCRIPCIÓN			UNIDAD	CANTIDAD		
4.2	Suministro e instalación tubería PVC presión ϕ 6" (incluye cama de arena)			ml	1.00		
1. EQUIPO							
Descripción		Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr Unitario		
Minicargador		Bodcat	\$ 56,000.00	0.0100	\$ 560.00		
SUBTOTAL					\$ 560.00		
2. MATERIALES							
Descripción		UN	Cantidad	Vr Precio	Vr Unitario		
Herramienta Menor		%md	0.50	\$ 1,000.00	\$ 500.00		
Suministro tubería RDE 21 ϕ 8"		ml	1.05	\$ 76,593.95	\$ 80,423.65		
Lubricante		500gr	0.02	\$ 18,065.00	\$ 361.30		
Cinta de señalización EAB		ml	1	\$ 90.00	\$ 90.00		
Arena		m3	0.01	\$ 70,000.00	\$ 700.00		
SUBTOTAL					\$ 82,074.95		
3. TRANSPORTES							
Descripción		UN	Cantidad (1)	Distancia (2)	Cantidad (1)*(2)	Tarifa	Vr Unitario
Trasporte material demolición		m3k	1.00	10.00	10.00	750.00	\$ 7,500.00
SUBTOTAL					\$ 7,500.00		
4. MANO DE OBRA							
Trabajador		Cuadrilla	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Vr Unitario
Oficial		1	\$ 80,000.00	1.65	132,000.00	0.060	\$ 7,920.00
Ayudante		1	\$ 50,000.00	1.65	82,500.00	0.060	\$ 4,950.00
SUBTOTAL					\$ 12,870.00		
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 103,004.95		

Anexo 3 A.P.U.s (zanja abierta - elaboración autor)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO (Excavación zanja abierta - 2019)						
ÍTEM	DESCRIPCION			UNIDAD	CANTIDAD	
5.11	Suministro e instalación Válvula ϕ 8" HD (incluye anclajes en concreto)			und	1.00	
1. EQUIPO						
Descripción		Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr Unitario	
					\$ -	
SUBTOTAL						\$ -
2. MATERIALES						
Descripción		UN	Cantidad	Vr Precio	Vr Unitario	
Herramienta Menor		%md	0.05	\$ 23,000.00	\$ 1,150.00	
Suministro Válvula ϕ 8" HD		und	1	\$ 1,605,310.00	\$ 1,605,310.00	
Lubricante		500gr	0.01	\$ 18,065.00	\$ 180.65	
Concreto anclaje (2500psi)		m3	0.05	\$ 300,000.00	\$ 15,000.00	
SUBTOTAL						\$ 1,621,640.65
3. TRANSPORTES						
Descripción	UN	Cantidad (1)	Distancia (2)	Cantidad (1)*(2)	Tarifa	Vr Unitario
						\$ -
SUBTOTAL						\$ -
4. MANO DE OBRA						
Trabajador	Cuadrilla	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Vr Unitario
Oficial	1	\$ 80,000.00	1.65	132,000.00	0.050	\$ 6,600.00
Ayudante	1	\$ 50,000.00	1.65	82,500.00	0.050	\$ 4,125.00
SUBTOTAL						\$ 10,725.00
TOTAL COSTO DIRECTO						\$ 1,632,365.65

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO (Excavación zanja abierta - 2019)						
ÍTEM	DESCRIPCION			UNIDAD	CANTIDAD	
5.8	Suministro e instalación Tee 8 X 3 X 8" HD (incluye anclajes en concreto)			und	1.00	
1. EQUIPO						
Descripción		Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr Unitario	
					\$ -	
SUBTOTAL						\$ -
2. MATERIALES						
Descripción		UN	Cantidad	Vr Precio	Vr Unitario	
Herramienta Menor		%md	0.10	\$ 23,000.00	\$ 2,300.00	
Suministro Tee 8 X 3 X 8" HD		und	1	\$ 556,920.00	\$ 556,920.00	
Lubricante		500gr	0.01	\$ 18,065.00	\$ 180.65	
Concreto anclaje (2500psi)		m3	0.05	\$ 300,000.00	\$ 15,000.00	
SUBTOTAL						\$ 574,400.65
3. TRANSPORTES						
Descripción	UN	Cantidad (1)	Distancia (2)	Cantidad (1)*(2)	Tarifa	Vr Unitario
						\$ -
SUBTOTAL						\$ -
4. MANO DE OBRA						
Trabajador	Cuadrilla	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Vr Unitario
Oficial	1	\$ 80,000.00	1.65	132,000.00	0.500	\$ 66,000.00
Ayudante	1	\$ 50,000.00	1.65	82,500.00	0.500	\$ 41,250.00
SUBTOTAL						\$ 107,250.00
TOTAL COSTO DIRECTO						\$ 681,650.65

Anexo 4 A.P.U.s (zanja abierta - elaboración autor)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO (Excavación zanja abierta - 2019)							
ÍTEM	DESCRIPCION			UNIDAD	CANTIDAD		
6.1	Suministro e instalación recebo B-400 (incluye humedecer y compactar 95%)			m ³	1.00		
1. EQUIPO							
Descripción		Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr Unitario		
Canguro			\$ 45,000.00	0.1000	\$ 4,500.00		
MiniCargador		Bodcat	\$ 56,000.00	0.01	\$ 560.00		
SUBTOTAL					\$ 5,060.00		
2. MATERIALES							
Descripción		UN	Cantidad	Vr Precio	Vr Unitario		
Herramienta Menor		%md	0.20	\$ 23,000.00	\$ 4,600.00		
Recebo B400		m3	1.3	\$ 60,000.00	\$ 78,000.00		
Combustible		gl	0.1	\$ 10,000.00	\$ 1,000.00		
SUBTOTAL					\$ 83,600.00		
3. TRANSPORTES							
Descripción		UN	Cantidad (1)	Distancia (2)	Cantidad (1)*(2)	Tarifa	Vr Unitario
							\$ -
SUBTOTAL					\$ -		
4. MANO DE OBRA							
Trabajador		Cuadrilla	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Vr Unitario
Oficial		1	\$ 80,000.00	1.65	\$ 132,000.00	0.050	\$ 6,600.00
Ayudante		1	\$ 50,000.00	1.65	\$ 82,500.00	0.050	\$ 4,125.00
SUBTOTAL					\$ 10,725.00		
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 99,385.00		

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO (Excavación zanja abierta - 2019)							
ÍTEM	DESCRIPCION			UNIDAD	CANTIDAD		
6.5	Recuperación de carpeta asfáltica (e=0,20cm) - (incluye suministro e instalación)			m ³	1.00		
1. EQUIPO							
Descripción		Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr Unitario		
Minicargador		Bodcat	\$ 56,000.00	0.05	\$ 2,800.00		
Vibro compactador			\$ 150,000.00	0.05	\$ 7,500.00		
Finisher			\$ 300,000.00	0.05	\$ 15,000.00		
SUBTOTAL					\$ 25,300.00		
2. MATERIALES							
Descripción		UN	Cantidad	Vr Precio	Vr Unitario		
Herramienta Menor		%md	0.20	\$ 23,000.00	\$ 4,600.00		
Pavimento MDC-2 en planta		m3	1.2	\$ 332,000.00	\$ 398,400.00		
Combustible		gl	0.5	\$ 10,000.00	\$ 5,000.00		
SUBTOTAL					\$ 408,000.00		
3. TRANSPORTES							
Descripción		UN	Cantidad (1)	Distancia (2)	Cantidad (1)*(2)	Tarifa	Vr Unitario
Trasporte equipos		1	0.03	5.00	0.15	500,000.00	\$ 75,000.00
SUBTOTAL					\$ 75,000.00		
4. MANO DE OBRA							
Trabajador		Cuadrilla	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Vr Unitario
Oficial		2	\$ 80,000.00	1.65	\$ 264,000.00	0.10	\$ 26,400.00
Ayudante		3	\$ 50,000.00	1.65	\$ 247,500.00	0.10	\$ 24,750.00
SUBTOTAL					\$ 51,150.00		
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 559,450.00		

Anexo 5 A.P.U.s (Pipe Bursting- elaboración autor)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO (Pipe Bursting - 2019)						
ÍTEM	DESCRIPCION			UNIDAD	CANTIDAD	
4.1	Suministro e instalación tubería PEAD presión f 6"(160 mm) PIPE BURSTING			ml	1.00	
1. EQUIPO						
Descripción		Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr Unitario	
Equipo hidroburst para pipe bursting (HAMMERHEAD/VERMEER)		3038/5058	\$ 814,314.00	0.09	\$ 73,288.26	
Minicargador		Bodcat	\$ 56,000.00	0.05	\$ 2,800.00	
Equipo temofusión (DELTA RITMO)		160	\$ 56,250.00	0.09	\$ 5,062.50	
SUBTOTAL					\$ 81,150.76	
2. MATERIALES						
Descripción		UN	Cantidad	Vr Precio	Vr Unitario	
Herramienta Menor		%md	0.08	\$ 20,000.00	\$ 1,600.00	
Tubería PEAD presión 160 mm		ml	1.00	\$ 38,709.00	\$ 38,709.00	
Gasolina		gl	0.12	\$ 10,000.00	\$ 1,200.00	
Combustible DIESEL		gl	0.10	\$ 8,824.00	\$ 882.40	
SUBTOTAL					\$ 42,391.40	
3. TRANSPORTES						
Descripción	UN	Cantidad (1)	Distancia (2)	Cantidad (1)*(2)	Tarifa	Vr Unitario
Transporte equipos local - bodega - local		0.005	10.00	0.05	\$125,000.00	\$ 6,250.00
SUBTOTAL					\$ 6,250.00	
4. MANO DE OBRA						
Trabajador	Cuadrilla	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Vr Unitario
Operador Equipo	1	\$ 95,000.00	1.65	156,750.00	0.090	\$ 14,107.50
ayudante	1	\$ 50,000.00	1.65	82,500.00	0.090	\$ 7,425.00
SUBTOTAL					\$ 21,532.50	
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 151,324.66	

Anexo 6 A.P.U.s (Pipe Bursting- elaboración autor)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO (Pipe Bursting - 2019)							
ÍTEM	DESCRIPCION			UNIDAD	CANTIDAD		
4.2	Suministro e instalación tubería PEAD presión f 8"(200 mm) PIPE BURSTING			ml	1.00		
1. EQUIPO							
Descripción		Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr Unitario		
Equipo hidroburst para pipe bursting (HAMMERHEAD/VERMEER)		3038/5058	\$ 814,314.00	0.16	\$ 130,290.24		
Minicargador		Bodcat	\$ 56,000.00	0.12	\$ 6,720.00		
Equipo temofusión (DELTA RITMO)		160	\$ 56,250.00	0.12	\$ 6,750.00		
SUBTOTAL					\$ 143,760.24		
2. MATERIALES							
Descripción		UN	Cantidad	Vr Precio	Vr Unitario		
Herramienta Menor		%md	0.12	\$ 20,000.00	\$ 2,400.00		
Tubería PEAD presión 160 mm		ml	1.00	\$ 60,436.00	\$ 60,436.00		
Gasolina		gl	0.12	\$ 10,000.00	\$ 1,200.00		
Combustible DIESEL		gl	0.10	\$ 8,824.00	\$ 882.40		
SUBTOTAL					\$ 64,918.40		
3. TRANSPORTES							
Descripción		UN	Cantidad (1)	Distancia (2)	Cantidad (1)*(2)	Tarifa	Vr Unitario
transporte equipos local - bodega local			0.005	10.00	0.05	\$125,000.00	\$ 6,250.00
SUBTOTAL					\$ 6,250.00		
4. MANO DE OBRA							
Trabajador		Cuadrilla	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Vr Unitario
Operador Equipo		1	\$ 95,000.00	1.65	156,750.00	0.090	\$ 14,107.50
ayudante		1	\$ 50,000.00	1.65	82,500.00	0.090	\$ 7,425.00
SUBTOTAL					\$ 21,532.50		
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 236,461.14		

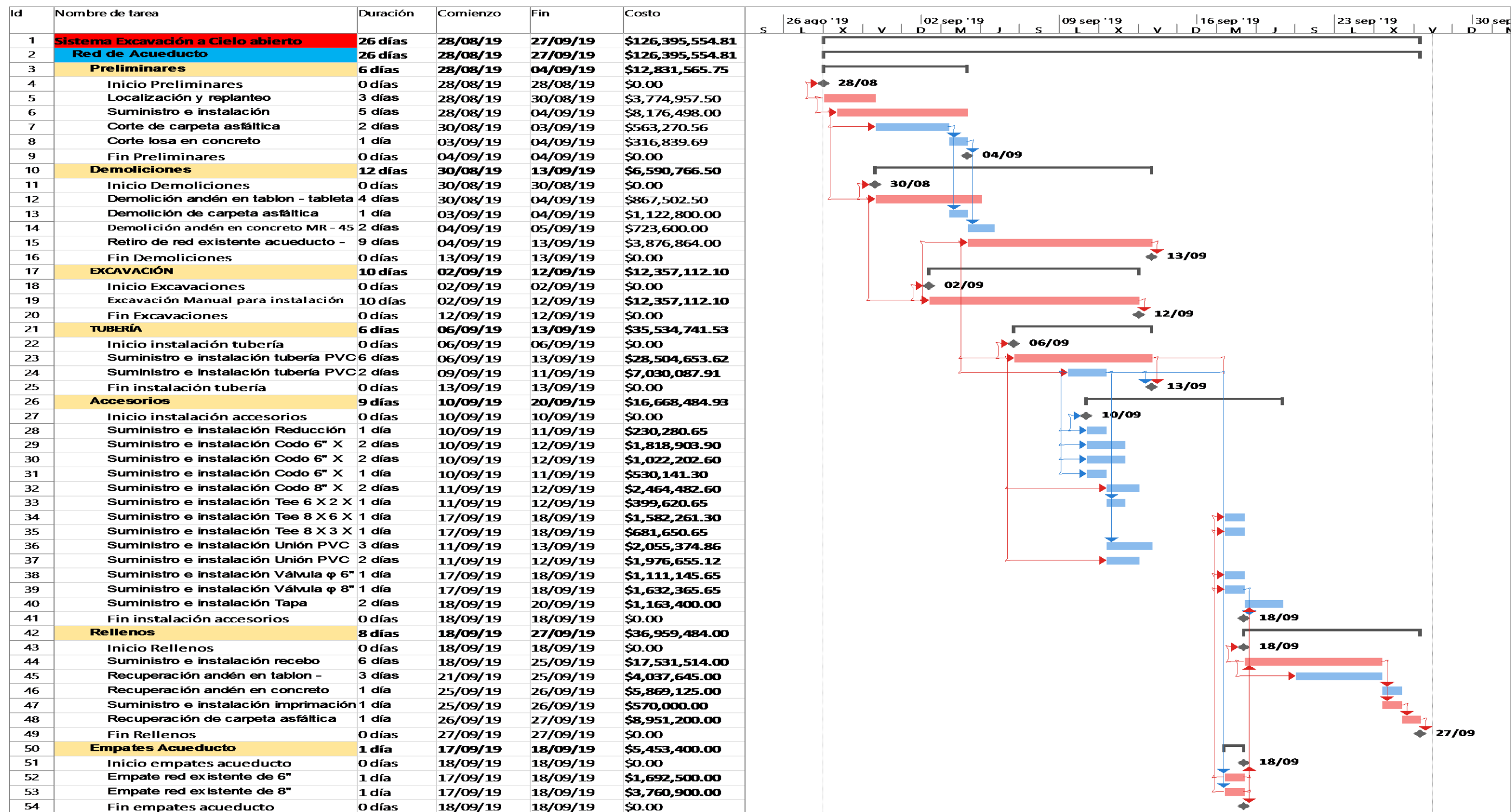
Anexo 7 Presupuesto excavación a cielo abierto (elaboración autor)

EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO														
Ítem	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	CONFIGURACIÓN CUADRILLA			RENDIMIENTO CUADRILLA	CANTIDAD CUADRILLAS	DURACIÓN (días)	COSTO MATERIAL Y EQUIPOS	COSTO MANO DE OBRA POR CUADRILLA	VALOR UNITARIO	VALOR Total	
				Oficiales	Ayudantes	Topógrafo								
1	Preliminares													
1.1	Localización y replanteo	ml	252.4		AA	1	1	100	1	3	\$ 6,046.25	\$ 8,910.00	\$ 14,956.25	\$ 3,774,957.50
1.2	Suministro e instalación señalización y aislamiento de obra	ml	277.64		AA	2		60	1	5	\$ 27,800.00	\$ 1,650.00	\$ 29,450.00	\$ 8,176,498.00
1.3	Corte de carpeta asfáltica	ml	80	1	AA	1		50	1	2	\$ 2,750.88	\$ 4,290.00	\$ 7,040.88	\$ 563,270.56
1.4	Corte losa en concreto	ml	45	1	AA	1		50	1	1	\$ 2,750.88	\$ 4,290.00	\$ 7,040.88	\$ 316,839.69
	Subtotal												\$ 12,831,565.75	
2	Demoliciones													
2.1	Demolición andén en tablón - tableta o adoquín	ml	107	1	AA	1		30	1	4	\$ 600.00	\$ 7,507.50	\$ 8,107.50	\$ 867,502.50
2.2	Demolición de carpeta asfáltica (e=0,20cm) - (incluye cargue, retiro y disposición final en botadero certificado)	m2	40	1	AA	1		50	1	1	\$ 25,925.00	\$ 2,145.00	\$ 28,070.00	\$ 1,122,800.00
2.3	Demolición andén en concreto MR - 45 e=0.2 (incluye cargue, retiro y disposición final en botadero certificado)	m2	22.5	1	AA	1		20	1	2	\$ 25,725.00	\$ 6,435.00	\$ 32,160.00	\$ 723,600.00
2.4	Retiro de red existente acueducto - (incluye cargue, retiro y disposición final en botadero certificado)	ml	252.4	1	AA	2		30	1	9	\$ 6,450.00	\$ 8,910.00	\$ 15,360.00	\$ 3,876,864.00
	Subtotal												\$ 6,590,766.50	
3	EXCAVACIÓN													
3.1	Excavación Manual para instalación red Acueducto (incluye cargue, retiro y disposición final en botadero certificado)	m3	219.37	1	AA	2		12	2	10	\$ 22,225.00	\$ 5,940.00	\$ 28,165.00	\$ 12,357,112.10
	Subtotal												\$ 12,357,112.10	
4	TUBERÍA													
4.1	Suministro e instalación tubería PVC presión ϕ 8" (incluye cama de arena)	ml	179.91	1	AA	1		30	1	6	\$ 145,568.41	\$ 12,870.00	\$ 158,438.41	\$ 28,504,653.62
4.2	Suministro e instalación tubería PVC presión ϕ 6" (incluye cama de arena)	ml	68.25	1	AA	1		35	1	2	\$ 90,134.95	\$ 12,870.00	\$ 103,004.95	\$ 7,030,087.91
	Subtotal												\$ 35,534,741.53	
5	Accesorios													
5.1	Suministro e instalación Reducción 6X4" HD (incluye anclajes en concreto)	und	1	1	AA	1		1	1	1	\$ 208,830.65	\$ 21,450.00	\$ 230,280.65	\$ 230,280.65
5.2	Suministro e instalación Codo 6" X 45° HD (incluye anclajes en concreto)	und	6	1	AA	1		3	1	2	\$ 281,700.65	\$ 21,450.00	\$ 303,150.65	\$ 1,818,903.90
5.3	Suministro e instalación Codo 6" X 11,25° HD (incluye anclajes en concreto)	und	4	1	AA	1		3	1	2	\$ 234,100.65	\$ 21,450.00	\$ 255,550.65	\$ 1,022,202.60
5.4	Suministro e instalación Codo 6" X 22,5° HD (incluye anclajes en concreto)	und	2	1	AA	1		3	1	1	\$ 243,620.65	\$ 21,450.00	\$ 265,070.65	\$ 530,141.30
5.5	Suministro e instalación Codo 8" X 45° HD (incluye anclajes en concreto)	und	4	1	AA	1		3	1	2	\$ 594,670.65	\$ 21,450.00	\$ 616,120.65	\$ 2,464,482.60
5.6	Suministro e instalación Tee 6 X 2 X 6" HD (incluye anclajes en concreto)	und	1	1	AA	1		2	1	1	\$ 292,370.65	\$ 107,250.00	\$ 399,620.65	\$ 399,620.65
5.7	Suministro e instalación Tee 8 X 6 X 8" HD (incluye anclajes en concreto)	und	2	1	AA	1		2	1	1	\$ 683,880.65	\$ 107,250.00	\$ 791,130.65	\$ 1,582,261.30
5.8	Suministro e instalación Tee 8 X 3 X 8" HD (incluye anclajes en concreto)	und	1	1	AA	1		2	1	1	\$ 574,400.65	\$ 107,250.00	\$ 681,650.65	\$ 681,650.65
5.9	Suministro e instalación Unión PVC 6"	und	14	1	AA	1		6	1	3	\$ 136,087.49	\$ 10,725.00	\$ 146,812.49	\$ 2,055,374.86
5.10	Suministro e instalación Unión PVC 8"	und	8	1	AA	1		6	1	2	\$ 236,356.89	\$ 10,725.00	\$ 247,081.89	\$ 1,976,655.12
5.11	Suministro e instalación Válvula ϕ 6" HD (incluye anclajes en concreto)	und	1	1	AA	1		1	1	1	\$ 1,100,420.65	\$ 10,725.00	\$ 1,111,145.65	\$ 1,111,145.65
5.12	Suministro e instalación Válvula ϕ 8" HD (incluye anclajes en concreto)	und	1	1	AA	1		1	1	1	\$ 1,621,640.65	\$ 10,725.00	\$ 1,632,365.65	\$ 1,632,365.65
5.13	Suministro e instalación Tapa Válvula (Incluye Caja en mampostería)	und	4	1	AA	1		2	1	2	\$ 183,600.00	\$ 107,250.00	\$ 290,850.00	\$ 1,163,400.00
	Subtotal												\$ 16,668,484.93	
6	Rellenos													
6.1	Suministro e instalación recebo B-400 (incluye humedecer y compactar 95%)	m3	176.4	1	AA	1		35	1	6	\$ 88,660.00	\$ 10,725.00	\$ 99,385.00	\$ 17,531,514.00
6.2	Recuperación andén en tablón - tableta o adoquín	ml	107	1	AA	1		45	1	3	\$ 27,010.00	\$ 10,725.00	\$ 37,735.00	\$ 4,037,645.00
6.3	Recuperación andén en concreto MR - 45 (incluye suministro e instalación)	m2	22.5	1	AA	1		30	1	1	\$ 153,600.00	\$ 107,250.00	\$ 260,850.00	\$ 5,869,125.00
6.4	Suministro e instalación imprimación	m2	80	1	AA	1		100	1	1	\$ 4,980.00	\$ 2,145.00	\$ 7,125.00	\$ 570,000.00
6.5	Recuperación de carpeta asfáltica (e=0,20cm) - (incluye suministro e instalación)	m3	16	2	AA	3		60	1	1	\$ 508,300.00	\$ 51,150.00	\$ 559,450.00	\$ 8,951,200.00
	Subtotal												\$ 36,959,484.00	
7	Empates Acueducto													
7.1	Empate red existente de 6" Existente (incluye excavación, equipos, materiales y recuperación del área afectada)	gbl	1	1	AA	3		1	1	1	\$ 1,313,000.00	\$ 379,500.00	\$ 1,692,500.00	\$ 1,692,500.00
7.2	Empate red existente de 8" Existente (incluye excavación, equipos, materiales y recuperación del área afectada)	gbl	2	1	AA	3		1	1	2	\$ 1,463,000.00	\$ 417,450.00	\$ 1,880,450.00	\$ 3,760,900.00
	Subtotal												\$ 5,453,400.00	

Anexo 8 Presupuesto sistema Pipe Bursting (elaboración autor)

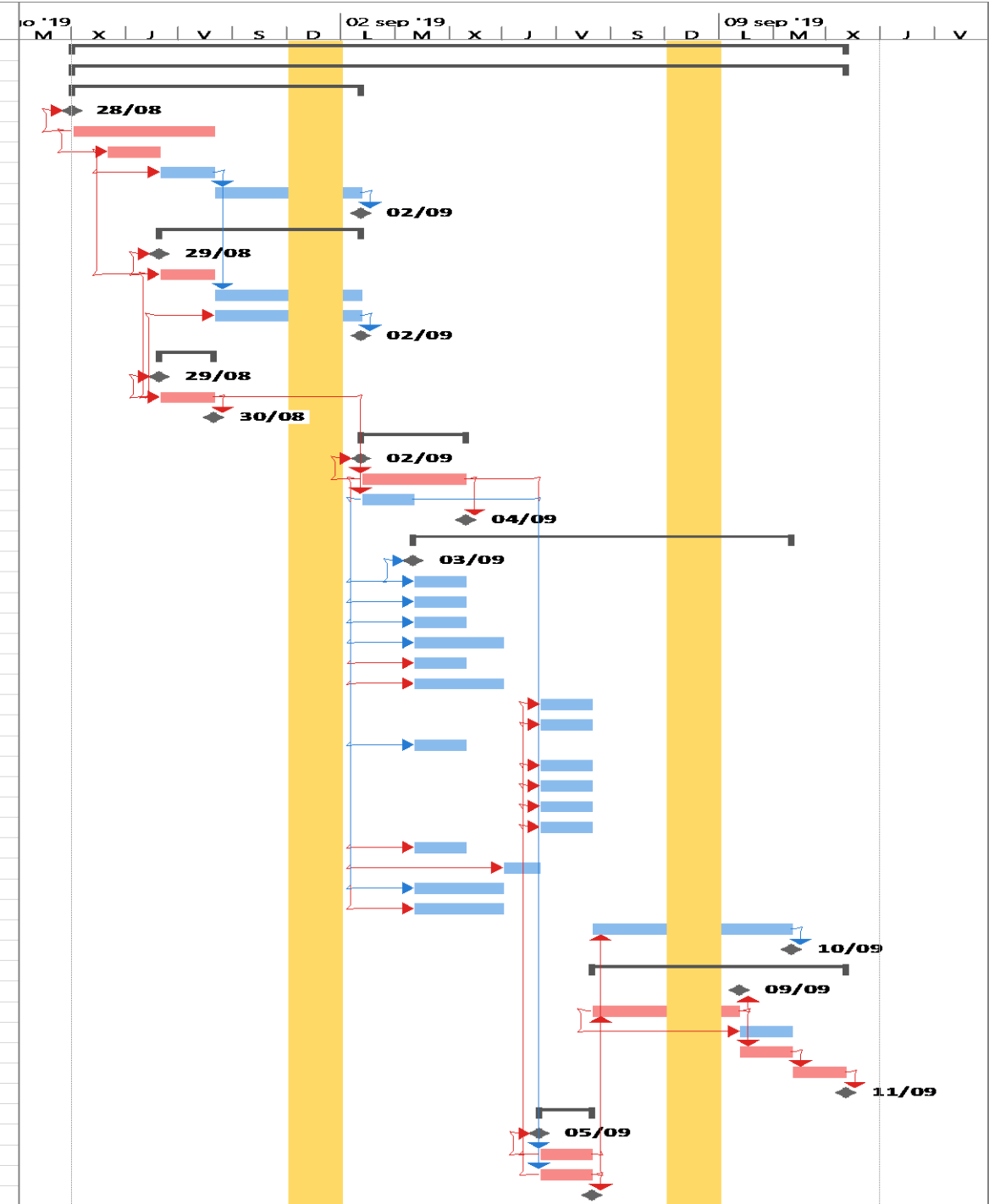
PIPE BURSTING														
Ítem	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	CONFIGURACIÓN CUADRILLA			RENDIMIENTO CUADRILLA	CANTIDAD CUADRILLAS	DURACIÓN (días)	COSTO MATERIAL Y EQUIPOS	COSTO MANO DE OBRA POR CUADRILLA	VALOR UNITARIO	VALOR Total	
				Oficiales	Ayudantes	Topógrafo								
1	Preliminares													
1.1	Localización y replanteo	ml	252.4		AA	1	1	100	1	3	\$ 6,046.25	\$ 8,910.00	\$ 14,956.25	\$ 3,774,957.50
1.2	Suministro e instalación señalización y aislamiento de obra	ml	50		AA	2		60	1	1	\$ 27,800.00	\$ 1,650.00	\$ 29,450.00	\$ 1,472,500.00
1.3	Corte de carpeta asfáltica	ml	13.2	1	AA	1		50	1	1	\$ 2,750.88	\$ 4,290.00	\$ 7,040.88	\$ 92,939.64
1.4	Corte losa en concreto	ml	9.6	1	AA	1		50	1	1	\$ 2,750.88	\$ 4,290.00	\$ 7,040.88	\$ 67,592.47
	Subtotal												\$ 5,407,989.61	
2	Demoliciones													
2.1	Demolición andén en tablón - tableta o adoquín	ml	20	1	AA	1		30	1	1	\$ 600.00	\$ 7,507.50	\$ 8,107.50	\$ 162,150.00
2.2	Demolición de carpeta asfáltica (e=0,20cm) - (incluye cargue, retiro y disposición final en botadero certificado)	m2	10.4	1	AA	1		50	1	1	\$ 25,925.00	\$ 2,145.00	\$ 28,070.00	\$ 291,928.00
2.3	Demolición andén en concreto MR - 45 e= 0.2 (incluye cargue, retiro y disposición final en botadero certificado)	m2	0	1	AA	1		20	1	0	\$ 25,725.00	\$ 6,435.00	\$ 32,160.00	\$ 0.00
2.4	Retiro de red existente acueducto - (incluye cargue, retiro y disposición final en botadero certificado)	ml	5	1	AA	2		30	1	1	\$ 6,450.00	\$ 8,910.00	\$ 15,360.00	\$ 76,800.00
	Subtotal												\$ 530,878.00	
3	EXCAVACIÓN													
3.1	Excavación Manual para instalación red Acueducto (incluye cargue, retiro y disposición final en botadero certificado)	m3	23	1	AA	2		12	2	1	\$ 22,225.00	\$ 5,940.00	\$ 28,165.00	\$ 1,295,590.00
	Subtotal												\$ 1,295,590.00	
4	TUBERÍA													
4.1	Suministro e instalación tubería PEAD presión f 8"(200 mm) PIPE BURSTING	ml	179.91	1	AA	1		100	1	2	\$ 214,928.64	\$ 21,532.50	\$ 236,461.14	\$ 42,541,723.70
4.2	Suministro e instalación tubería PEAD presión f 6"(160 mm) PIPE BURSTING	ml	68.25	1	AA	1		100	1	1	\$ 129,792.16	\$ 21,532.50	\$ 151,324.66	\$ 10,327,908.05
	Subtotal												\$ 52,869,631.74	
5	Accesorios													
5.1	Suministro e instalación Reducción PEAD 160 X 110	und	1	1	AA	1		1	1	1	\$ 98,434.65	\$ 8,559.54	\$ 106,994.19	\$ 106,994.19
5.2	Suministro e instalación Codo PEAD 160 mm X 45°	und	2	1	AA	1		3	1	1	\$ 124,151.51	\$ 10,795.78	\$ 134,947.29	\$ 269,894.58
5.3	Suministro e instalación Codo PEAD 200 mm X 45°	und	2	1	AA	1		3	1	1	\$ 176,108.53	\$ 15,313.78	\$ 191,422.31	\$ 382,844.62
5.4	Suministro e instalación Brida loca 8"	und	6	1	AA	1		3	1	2	\$ 117,373.60	\$ 10,206.40	\$ 127,580.00	\$ 765,480.00
5.5	Suministro e instalación Brida loca 6"	und	3	1	AA	1		3	1	1	\$ 97,667.20	\$ 8,492.80	\$ 106,160.00	\$ 318,480.00
5.6	Suministro e instalación portaflanche 200 mm	und	6	1	AA	1		3	1	2	\$ 143,595.15	\$ 12,486.54	\$ 156,081.69	\$ 936,490.14
5.7	Suministro e instalación portaflanche 160 mm	und	3	1	AA	1		3	1	1	\$ 77,522.88	\$ 6,741.12	\$ 84,264.00	\$ 252,792.00
5.8	Suministro e instalación brida por acople universal 8"	und	2	1	AA	1		2	1	1	\$ 348,376.40	\$ 30,293.60	\$ 378,670.00	\$ 757,340.00
5.9	Suministro e instalación brida por acople universal 6"	und	1	1	AA	1		2	1	1	\$ 236,706.80	\$ 20,583.20	\$ 257,290.00	\$ 257,290.00
5.10	Suministro e instalación válvula bridada 8"	und	2	1	AA	1		2	1	1	\$ 1,907,371.60	\$ 165,858.40	\$ 2,073,230.00	\$ 4,146,460.00
5.11	Suministro e instalación válvula bridada 6"	und	1	1	AA	1		2	1	1	\$ 1,288,809.60	\$ 112,070.40	\$ 1,400,880.00	\$ 1,400,880.00
5.12	Suministro e instalación Tee PEAD 160 X 160 mm	und	2	1	AA	1		2	1	1	\$ 83,461.08	\$ 7,257.48	\$ 90,718.56	\$ 181,437.12
5.13	Suministro e instalación Tee PEAD 200 X 200 mm	und	2	1	AA	1		2	1	1	\$ 355,826.51	\$ 30,941.44	\$ 386,767.95	\$ 773,535.90
5.14	Suministro e instalación Reducción PEAD 200 X 160	und	2	1	AA	1		2	1	1	\$ 127,658.15	\$ 11,100.71	\$ 138,758.86	\$ 277,517.72
5.15	Suministro e instalación Reducción PEAD 160 X 90	und	1	1	AA	1		6	1	1	\$ 98,434.65	\$ 8,559.54	\$ 106,994.19	\$ 106,994.19
5.16	Suministro e instalación Unión electrofusión PEAD 160 mm	und	8	1	AA	1		6	1	2	\$ 81,389.71	\$ 7,077.37	\$ 88,467.08	\$ 707,736.64
5.17	Suministro e instalación Unión electrofusión PEAD 200 mm	und	16	1	AA	1		8	1	2	\$ 132,481.84	\$ 11,520.16	\$ 144,002.00	\$ 2,304,032.00
5.18	Suministro e instalación Tapa Válvula (Incluye Caja en mampostería)	und	4	1	AA	1		2	1	2	\$ 267,582.00	\$ 23,268.00	\$ 290,850.00	\$ 1,163,400.00
	Subtotal												\$ 15,109,599.10	
6	Rellenos													
6.1	Suministro e instalación recebo B-400 (incluye humedecer y compactar 95%)	m3	22.5	1	AA	1		35	1	1	\$ 88,660.00	\$ 10,725.00	\$ 99,385.00	\$ 2,236,162.50
6.2	Recuperación andén en tablón - tableta o adoquín	ml	10	1	AA	1		45	1	1	\$ 27,010.00	\$ 10,725.00	\$ 37,735.00	\$ 377,350.00
6.3	Recuperación andén en concreto MR - 45 (incluye suministro e instalación)	m2	0	1	AA	1		30	1	0	\$ 153,600.00	\$ 107,250.00	\$ 260,850.00	\$ 0.00
6.4	Suministro e instalación imprimación	m2	20	1	AA	1		100	1	1	\$ 4,980.00	\$ 2,145.00	\$ 7,125.00	\$ 142,500.00
6.5	Recuperación de carpeta asfáltica (e=0,20cm) - (incluye suministro e instalación)	m3	4	2	AA	3		60	1	1	\$ 508,300.00	\$ 51,150.00	\$ 559,450.00	\$ 2,237,800.00
	Subtotal												\$ 4,993,812.50	
7	Empates Acueducto													
7.1	Empate red existente de 6" Existente (incluye excavación, equipos, materiales y recuperación del área afectada)	gbl	1	1	AA	3		1	1	1	\$ 1,313,000.00	\$ 379,500.00	\$ 1,692,500.00	\$ 1,692,500.00
7.2	Empate red existente de 8" Existente (incluye excavación, equipos, materiales y recuperación del área afectada)	gbl	2	1	AA	3		1	1	2	\$ 1,463,000.00	\$ 417,450.00	\$ 1,880,450.00	\$ 3,760,900.00
	Subtotal												\$ 5,453,400.00	

Anexo 9 Cronograma actividades excavación a cielo abierto (elaboración autor)



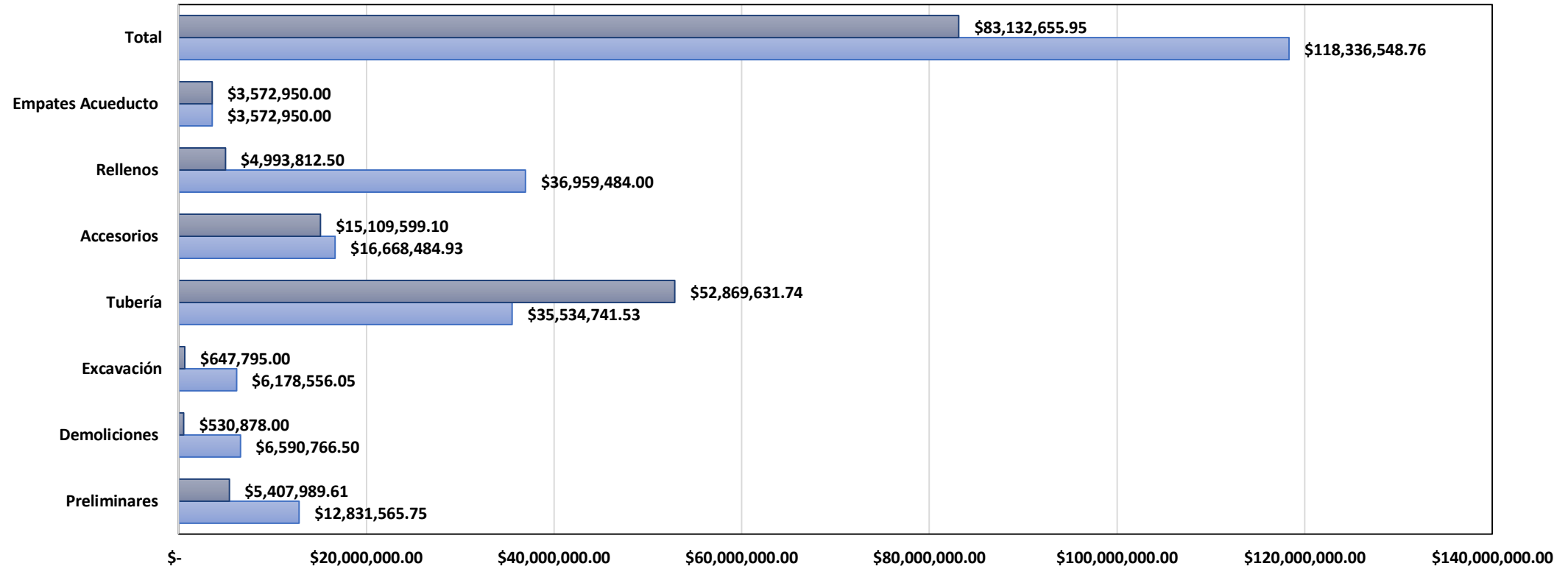
Anexo 10 Cronograma actividades excavación a cielo abierto (elaboración autor)

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Costo	Predecesoras
1	Sistema Pipe Bursting	12 días	28/08/19	11/09/19	\$85,660,900.96	
2	Red de Acueducto	12 días	28/08/19	11/09/19	\$85,660,900.96	
3	Preliminares	4 días	28/08/19	02/09/19	\$5,407,989.61	
4	Inicio Preliminares	0 días	28/08/19	28/08/19	\$0.00	5CC
5	Localización y replanteo	3 días	28/08/19	30/08/19	\$3,774,957.50	
6	Suministro e instalación	1 día	28/08/19	29/08/19	\$1,472,500.00	5CC+1 día
7	Corte de carpeta asfáltica	1 día	29/08/19	30/08/19	\$92,939.64	6CC+1 día
8	Corte losa en concreto	1 día	30/08/19	02/09/19	\$67,592.47	7
9	Fin Preliminares	0 días	02/09/19	02/09/19	\$0.00	8
10	Demoliciones	2 días	29/08/19	02/09/19	\$530,878.00	
11	Inicio Demoliciones	0 días	29/08/19	29/08/19	\$0.00	12CC
12	Demolición andén en tablon - tableta	1 día	29/08/19	30/08/19	\$162,150.00	6CC+1 día
13	Demolición de carpeta asfáltica	1 día	30/08/19	02/09/19	\$291,928.00	7
14	Retiro de red existente acueducto -	1 día	30/08/19	02/09/19	\$76,800.00	18CC+1 día
15	Fin Demoliciones	0 días	02/09/19	02/09/19	\$0.00	14
16	EXCAVACIÓN	1 día	29/08/19	30/08/19	\$1,295,590.00	
17	Inicio Excavación	0 días	29/08/19	29/08/19	\$0.00	18CC
18	Excavación Manual para instalación	1 día	29/08/19	30/08/19	\$1,295,590.00	12CC
19	Fin Excavación	0 días	30/08/19	30/08/19	\$0.00	18
20	TUBERÍA	2 días	02/09/19	04/09/19	\$52,869,631.75	
21	Inicio instalación tubería	0 días	02/09/19	02/09/19	\$0.00	22CC
22	Suministro e instalación tubería PVC	2 días	02/09/19	04/09/19	\$42,541,723.70	18FC+1 día
23	Suministro e instalación tubería PVC	1 día	02/09/19	03/09/19	\$10,327,908.05	18FC+1 día
24	Fin instalación tubería	0 días	04/09/19	04/09/19	\$0.00	22
25	Accesorios	6 días	03/09/19	10/09/19	\$15,109,599.10	
26	Inicio instalación accesorios	0 días	03/09/19	03/09/19	\$0.00	27CC
27	Suministro e instalación Reducción	1 día	03/09/19	04/09/19	\$106,994.19	23CC+1 día
28	Suministro e instalación Codo PEAD	1 día	03/09/19	04/09/19	\$269,894.58	23CC+1 día
29	Suministro e instalación Codo PEAD	1 día	03/09/19	04/09/19	\$382,844.62	23CC+1 día
30	Suministro e instalación Brida loca	2 días	03/09/19	04/09/19	\$765,480.00	23CC+1 día
31	Suministro e instalación Brida loca	1 día	03/09/19	04/09/19	\$318,480.00	22CC+1 día
32	Suministro e instalación portaflanche	2 días	03/09/19	04/09/19	\$936,490.14	22CC+1 día
33	Suministro e instalación portaflanche	1 día	05/09/19	06/09/19	\$252,792.00	55CC
34	Suministro e instalación brida por	1 día	05/09/19	06/09/19	\$757,340.00	56CC
35	Suministro e instalación brida por	1 día	03/09/19	04/09/19	\$257,290.00	23CC+1 día
36	Suministro e instalación válvula	1 día	05/09/19	06/09/19	\$4,146,460.00	56CC
37	Suministro e instalación válvula	1 día	05/09/19	06/09/19	\$1,400,880.00	55CC
38	Suministro e instalación Tee PEAD	1 día	05/09/19	06/09/19	\$181,437.12	55CC
39	Suministro e instalación Tee PEAD	1 día	05/09/19	06/09/19	\$773,535.90	56CC
40	Suministro e instalación Reducción	1 día	03/09/19	04/09/19	\$277,517.72	22CC+1 día
41	Suministro e instalación Reducción	1 día	05/09/19	05/09/19	\$106,994.19	22CC+3 días
42	Suministro e instalación Unión	2 días	03/09/19	04/09/19	\$707,736.64	23CC+1 día
43	Suministro e instalación Unión	2 días	03/09/19	04/09/19	\$2,304,032.00	22CC+1 día
44	Suministro e instalación Tapa	2 días	06/09/19	10/09/19	\$1,163,400.00	55,56
45	Fin instalación accesorios	0 días	10/09/19	10/09/19	\$0.00	44
46	Rellenos	3 días	06/09/19	11/09/19	\$4,993,812.50	
47	Inicio Rellenos	0 días	09/09/19	09/09/19	\$0.00	48
48	Suministro e instalación recebo	1 día	06/09/19	09/09/19	\$2,236,162.50	55,56
49	Recuperación andén en tablon -	1 día	09/09/19	10/09/19	\$377,350.00	48CC+1 día
50	Suministro e instalación imprimación	1 día	09/09/19	10/09/19	\$142,500.00	48
51	Recuperación de carpeta asfáltica	1 día	10/09/19	11/09/19	\$2,237,800.00	50
52	Fin Rellenos	0 días	11/09/19	11/09/19	\$0.00	51
53	Empates Acueducto	1 día	05/09/19	06/09/19	\$5,453,400.00	
54	Inicio empates acueducto	0 días	05/09/19	05/09/19	\$0.00	55CC
55	Empate red existente de 6"	1 día	05/09/19	06/09/19	\$1,692,500.00	22FC+2
56	Empate red existente de 8"	1 día	05/09/19	06/09/19	\$3,760,900.00	22FC+2
57	Fin empates acueducto	0 días	06/09/19	06/09/19	\$0.00	56



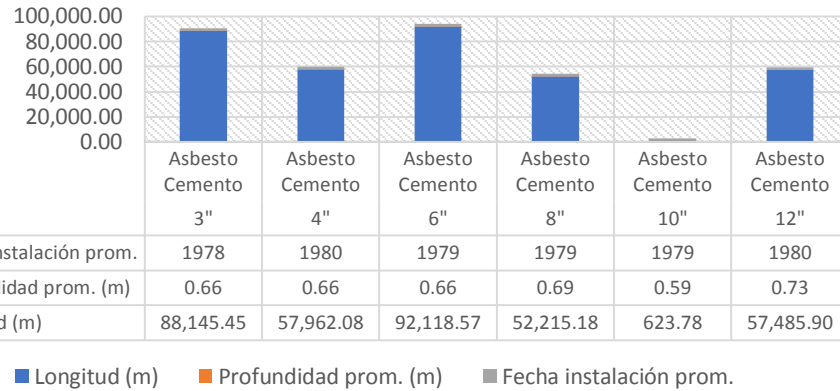
Anexo10 -1 Comparación económica

**Comparación Económica
Excavación cielo abierto VS Pipe Bursting**

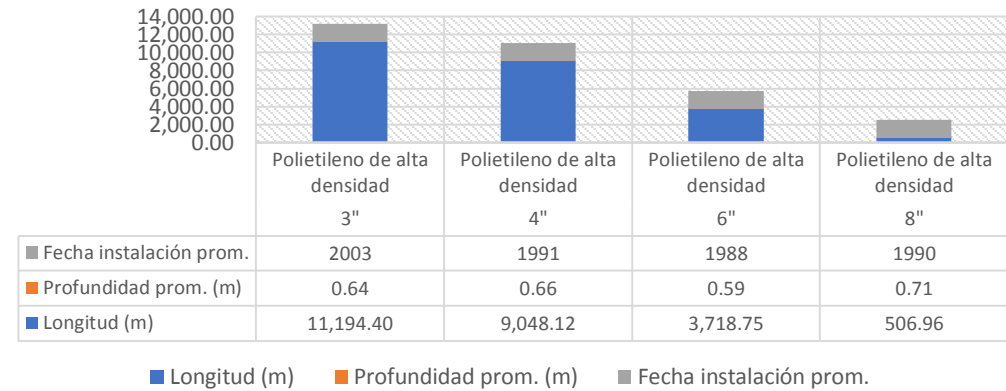


	Preliminares	Demoliciones	Excavación	Tubería	Accesorios	Rellenos	Empates Acueducto	Total
■ Excavación Pipe Bursting	\$5,407,989.61	\$530,878.00	\$647,795.00	\$52,869,631.74	\$15,109,599.10	\$4,993,812.50	\$3,572,950.00	\$83,132,655.95
■ Excavación a cielo abierto	\$12,831,565.75	\$6,590,766.50	\$6,178,556.05	\$35,534,741.53	\$16,668,484.93	\$36,959,484.00	\$3,572,950.00	\$118,336,548.76

Localidades de Suba - Usaquén

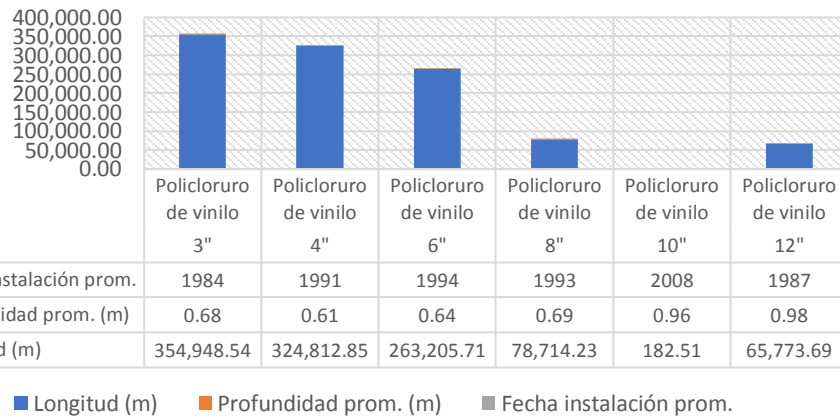


Localidades de Suba - Usaquén



Anexo 11 Análisis redes acueducto por localidad Bogotá (elaboración autor)

Localidades de Suba - Usaquén



Análisis tuberías redes menores acueducto localidades Suba – Usaquén

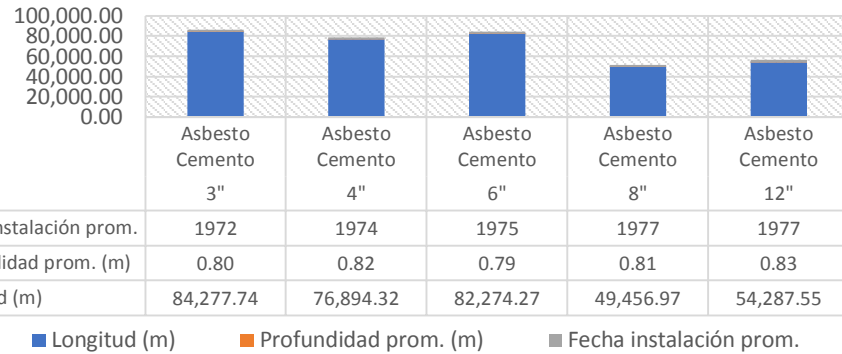
Tuberías Asbesto Cemento: Esta tubería ocupa el 23.6% del total de redes existentes de la localidad. Predominan los diámetros de 6", 3", 4" y 12" respectivamente, el promedio de año de instalación es 1979.

Tuberías Policloruro de Vinilo: Esta tubería ocupa el 73.8% del total de redes existentes de la localidad. Predominan los diámetros de 3", 4", 6" y 8" respectivamente, el promedio de año de instalación es 1994.

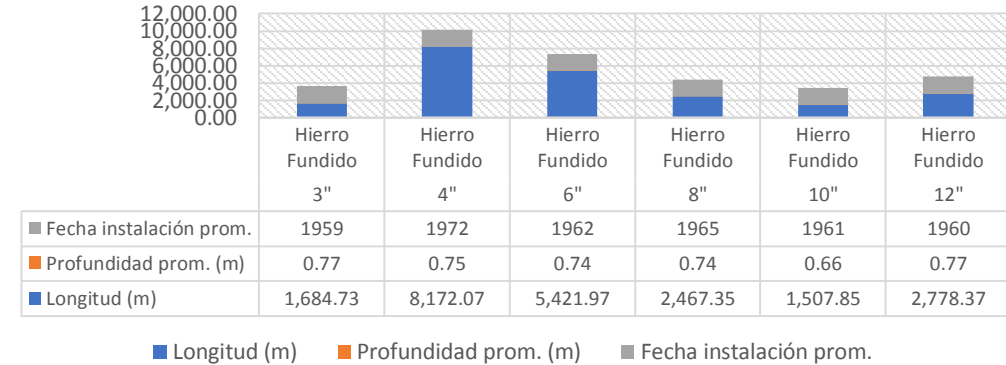
Tuberías Polietileno alta densidad: Esta tubería ocupa el 1.7% del total de redes existentes de la localidad. Predominan los diámetros de 3", 4", 6" y 8" respectivamente, el promedio de año de instalación es 1991.

Tuberías Restantes: Ocupan el 0.9% (Acero, Hierro fundido, Hierro dúctil)

Localidades de Engativá - Chapinero - Teusaquillo y Barrios Unidos.

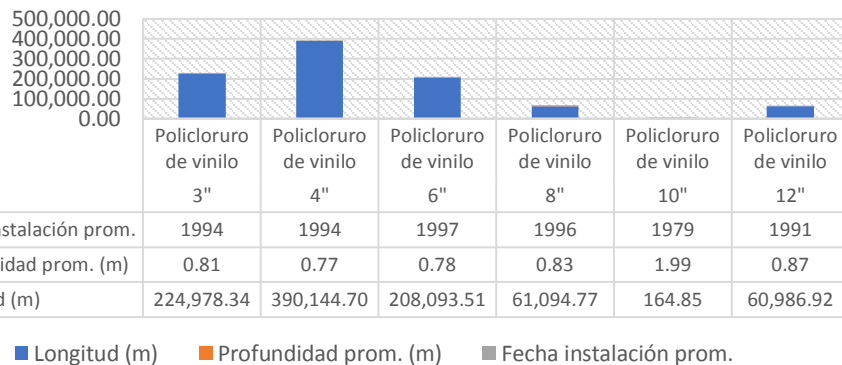


Localidades de Engativá - Chapinero - Teusaquillo y Barrios Unidos.



Anexo 12 Análisis redes acueducto por localidad Bogotá

Localidades de Engativá - Chapinero - Teusaquillo y Barrios Unidos.



Engativá, Chapinero, Teusaquillo y Barrios Unidos.

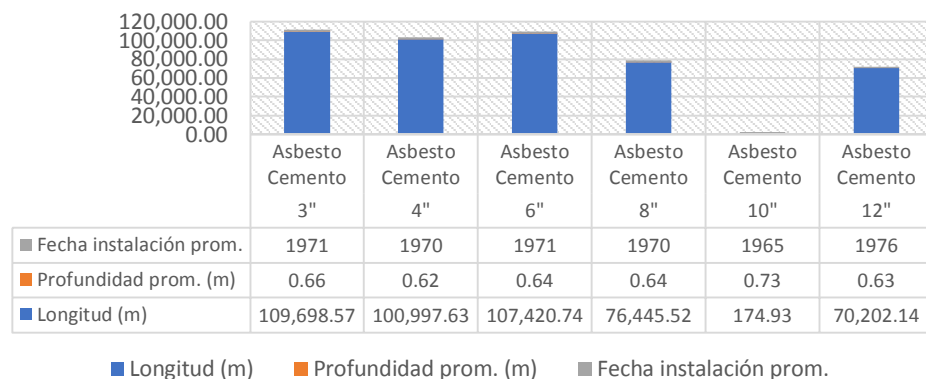
Tuberías Asbesto Cemento: Ocupa el 25.9% del total de redes, predominan los diámetros de 3", 6", 4" y 12" respectivamente, el promedio de año de instalación es 1975.

Tuberías Policloruro de Vinilo: Ocupa el 70.5% del total de redes existentes de la localidad. Predominan los diámetros de 4", 3", 6" y 8" respectivamente, el promedio de año de instalación es 1990.

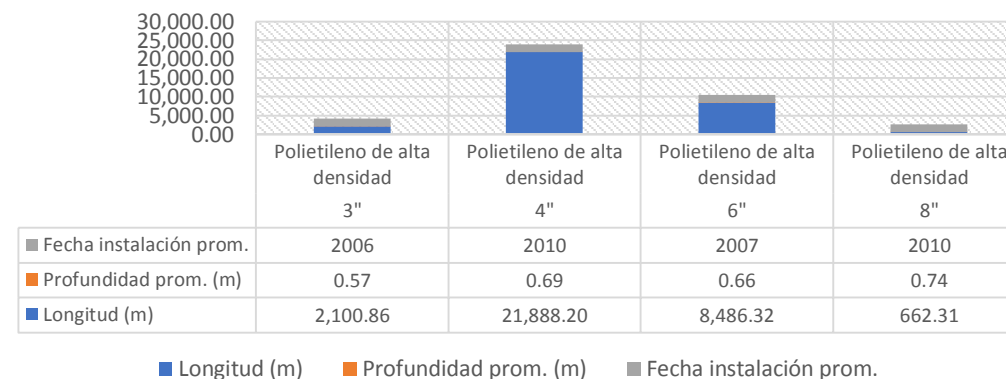
Tuberías Hierro Fundido: Ocupa el 1.6% del total de redes existentes de la localidad. Predominan los diámetros de 3", 4", 6" y 8" respectivamente, el promedio de año de instalación es 1960.

Tuberías Restantes: Ocupan el 2% (Acero, Hierro dúctil, Polietileno alta densidad, Hierro Galvanizado).

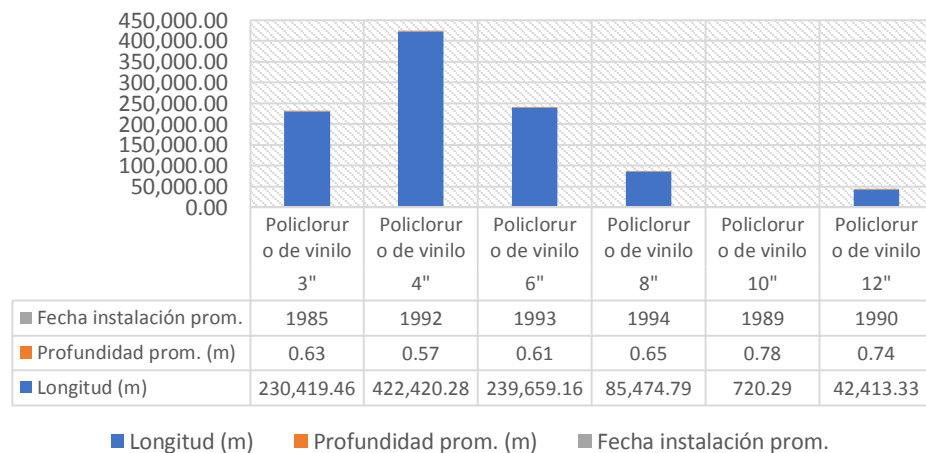
Localidades de Santafé - San Cristóbal - Tunjuelito - Fontibón, -Antonio Nariño - Puente Aranda - Rafael Uribe Uribe - Mártires y La Candelaria.



Localidades de Santafé - San Cristóbal - Tunjuelito - Fontibón, -Antonio Nariño - Puente Aranda - Rafael Uribe Uribe - Mártires y La Candelaria.



Localidades de Santafé - San Cristóbal - Tunjuelito - Fontibón, -Antonio Nariño - Puente Aranda - Rafael Uribe Uribe - Mártires y La Candelaria.



Anexo 13 Análisis redes acueducto por localidad Bogotá (elaboración autor)

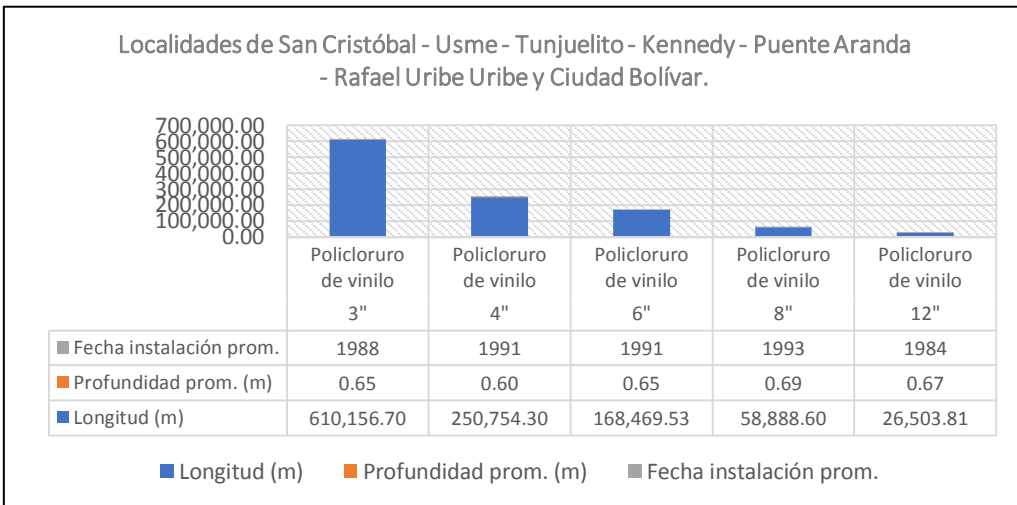
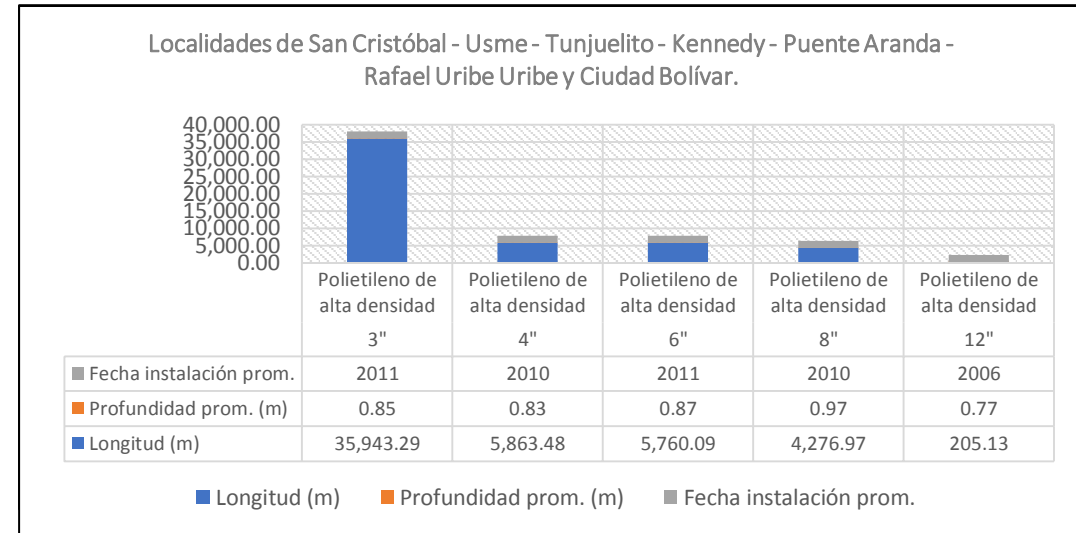
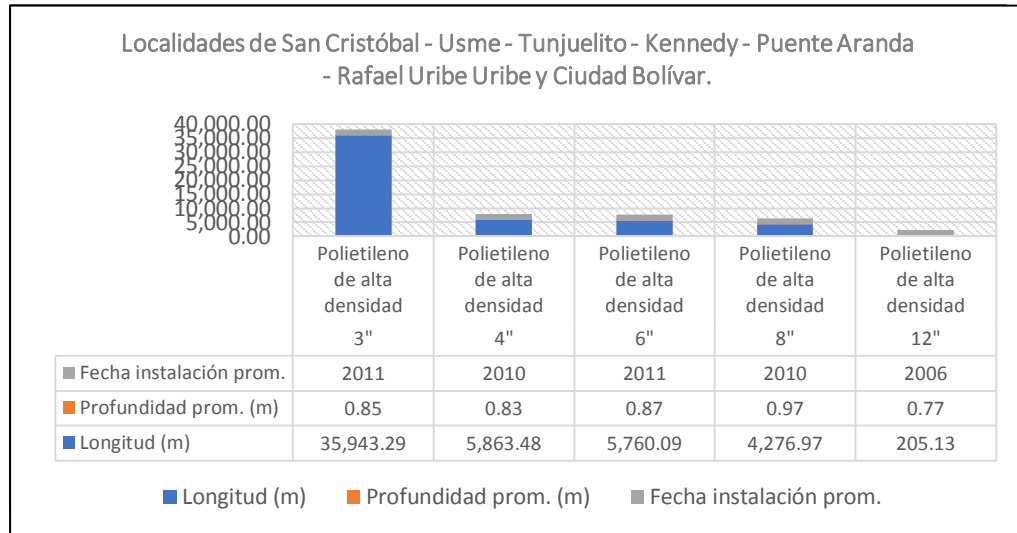
Análisis tuberías redes menores acueducto localidades Santafé, San Cristóbal, Tunjuelito, Fontibón, Puente Aranda, Rafael Uribe, Candelaria.

Tuberías Asbesto Cemento: Ocupa el 29.9% del total de redes, predominan los diámetros de 3", 6", 4" y 8" respectivamente, el promedio de año de instalación es 1970.

Tuberías Policloruro de Vinilo: Ocupa el 65.6% del total de redes existentes de la localidad. Predominan los diámetros de 4", 3", 6" y 8" respectivamente, el promedio de año de instalación es 1990.

Tuberías Polietileno Alta Densidad: Ocupa el 2.1% del total de redes existentes de la localidad. Predominan los diámetros de 4", 6", 3" y 8" respectivamente, el promedio de año de instalación es 2008.

Tuberías Restantes: Ocupan el 2.4% (Acero, Hierro dúctil, Hierro Fundido, Hierro Galvanizado).



Análisis tuberías redes menores acueducto localidades San Cristóbal, Usme, Tunjuelito, Kennedy, Puente Aranda, Rafael Uribe, Ciudad Bolívar.

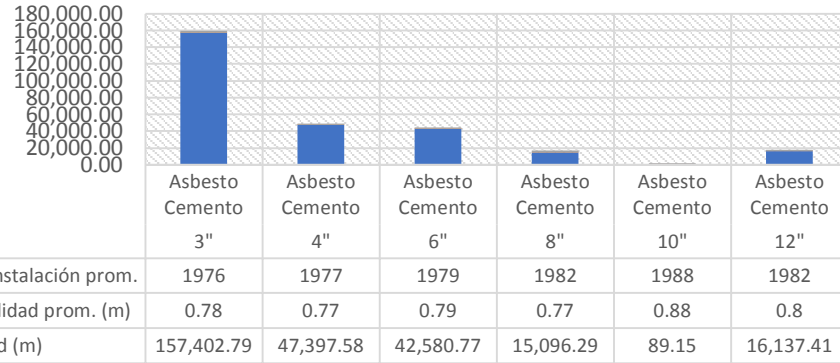
Tuberías Asbesto Cemento: Ocupa el 23.6% del total de redes, predominan los diámetros de 3", 6", 12" y 4" respectivamente, el promedio de año de instalación es 1976.

Tuberías Policloruro de Vinilo: Ocupa el 71.9% del total de redes existentes de la localidad. Predominan los diámetros de 3", 4", 6" y 8" respectivamente, el promedio de año de instalación es 1987.

Tuberías Polietileno Alta Densidad: Ocupa el 3.4% del total de redes existentes de la localidad. Predominan los diámetros de 3", 4", 6" y 8" respectivamente, el promedio de año de instalación es 2008.

Tuberías Restantes: Ocupan el 1.08% (Acero, Hierro dúctil, Hierro Fundido, Hierro Galvanizado).

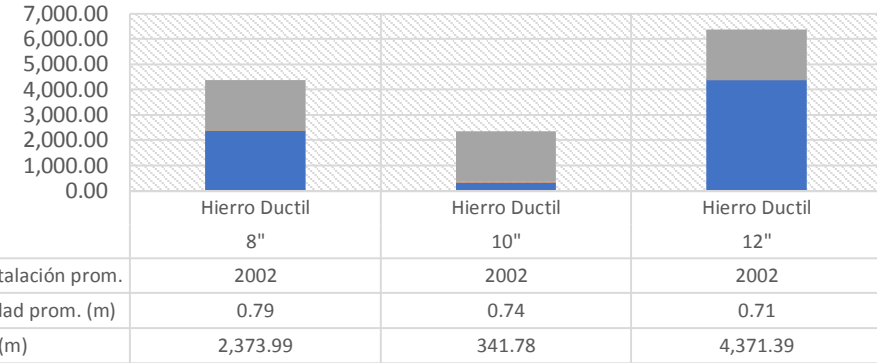
Localidades de Kennedy - Bosa y Soacha.



	3"	4"	6"	8"	10"	12"
Fecha instalación prom.	1976	1977	1979	1982	1988	1982
Profundidad prom. (m)	0.78	0.77	0.79	0.77	0.88	0.8
Longitud (m)	157,402.79	47,397.58	42,580.77	15,096.29	89.15	16,137.41

■ Longitud (m) ■ Profundidad prom. (m) ■ Fecha instalación prom.

Localidades de Kennedy - Bosa y Soacha.

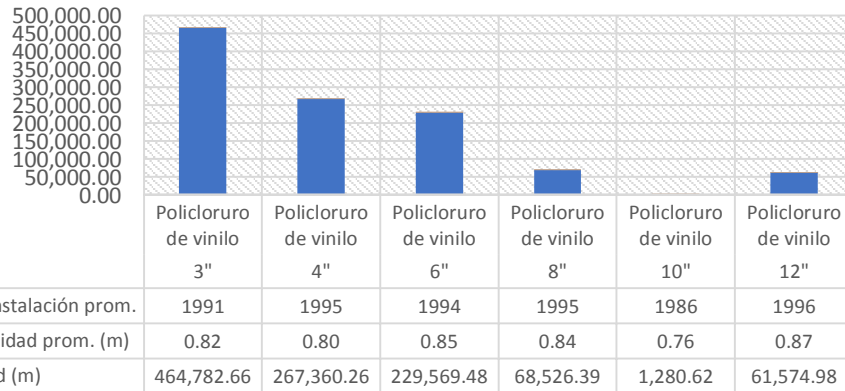


	8"	10"	12"
Fecha instalación prom.	2002	2002	2002
Profundidad prom. (m)	0.79	0.74	0.71
Longitud (m)	2,373.99	341.78	4,371.39

■ Longitud (m) ■ Profundidad prom. (m) ■ Fecha instalación prom.

Anexo 14 Análisis redes acueducto por localidad Bogotá (elaboración autor)

Localidades de Kennedy - Bosa y Soacha.



	3"	4"	6"	8"	10"	12"
Fecha instalación prom.	1991	1995	1994	1995	1986	1996
Profundidad prom. (m)	0.82	0.80	0.85	0.84	0.76	0.87
Longitud (m)	464,782.66	267,360.26	229,569.48	68,526.39	1,280.62	61,574.98

■ Longitud (m) ■ Profundidad prom. (m) ■ Fecha instalación prom.

Análisis tuberías redes menores acueducto localidades Kennedy, Bosa, Soacha.

Tuberías Asbesto Cemento: Ocupa el 20.0% del total de redes, predominan los diámetros de 3", 4", 6" y 8" respectivamente, el promedio de año de instalación es 1985.

Tuberías Policloruro de Vinilo: Ocupa el 78.5% del total de redes existentes de la localidad. Predominan los diámetros de 3", 4", 6" y 8" respectivamente, el promedio de año de instalación es 1994.

Tuberías Hierro Dúctil: Ocupa el 0.5% del total de redes existentes de la localidad. Predominan los diámetros de 8", 10", 12" respectivamente, el promedio de año de instalación es 2002.

Tuberías Restantes: Ocupan el 0.95% (Acero, Polietileno alta densidad, Hierro Fundido, Hierro Galvanizado).

REGISTRO FOTOGRÁFICO SISTEMA PIPE BURSTING

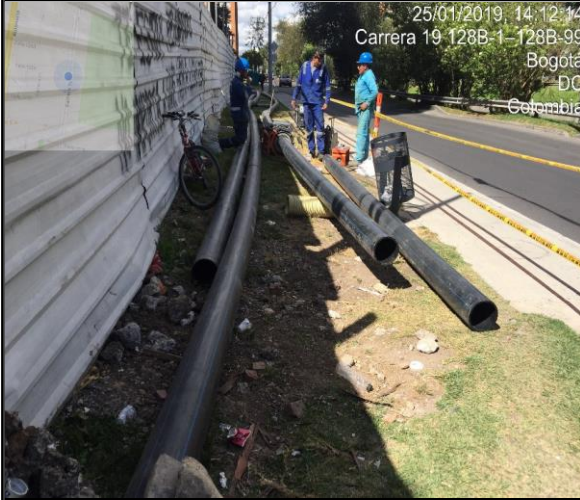


Foto No: 1

Foto No: 2

Dirección: Calle 128b # 19 -32

Dirección: Calle 128b # 19 -32

OBSERVACIONES PARTICULARES:
Alistado tubería PEAD 6 - 8"

OBSERVACIONES PARTICULARES:
Pega por termofusión de tubería PEAD de 6m

REGISTRO FOTOGRAFICO



Foto No: 3

Foto No: 4

Dirección: Calle 128b # 19 -32

Dirección: Calle 128b # 19 -32

OBSERVACIONES PARTICULARES:
Equipo hidráulico utilizado para instalar la tubería PEAD

OBSERVACIONES PARTICULARES:
Cuchilla utilizada para romper la tubería existente

Fuente registro fotográfico Autor

REGISTRO FOTOGRÁFICO SISTEMA PIPE BURSTING



Foto No: 5
 Dirección: Calle 128b # 19 -32
 OBSERVACIONES PARTICULARES:
 Pega realizada por termofusión a la tubería PEAD

Foto No: 6
 Dirección: Calle 128b # 19 -32
 OBSERVACIONES PARTICULARES:
 Pozo de lanzamiento

REGISTRO FOTOGRAFICO



Foto No: 7
 Dirección: Calle 128b # 19 -32
 OBSERVACIONES PARTICULARES:
 Introducción barras dentro de la tubería existente

Foto No: 8
 Dirección: Calle 128b # 19 -32
 OBSERVACIONES PARTICULARES:
 Cuchilla utilizada para romper la tubería existente

Fuente registro fotográfico Autor

REGISTRO FOTOGRÁFICO SISTEMA PIPE BURSTING			
			
Foto No:		9	Foto No:
Dirección: Calle 128b # 19 -32			Dirección: Calle 128b # 19 -32
OBSERVACIONES PARTICULARES: Amarre tubería insertada dentro de la tubería existente con la tubería PEAD a instalar			OBSERVACIONES PARTICULARES: Pozo de llegada tubería
REGISTRO FOTOGRAFICO			
			
Foto No:		11	Foto No:
Dirección: Calle 128b # 19 -32			Dirección: Calle 128b # 19 -32
OBSERVACIONES PARTICULARES: Instalación tubería PEAD en tubo existente			OBSERVACIONES PARTICULARES: Pegue de accesorios por eléctrofusión
Fuente registro fotográfico Autor			