

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS
CONSTRUCTIVOS SIN ZANJA EN REHABILITACIONES DE
REDES DE ALCANTARILLADO, SANTIAGO DE SURCO

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR:

Bach. PULIDO DAMIAN, JULIO FERNANDO

Bach. ANGULO ENRIQUEZ, DAVID ARMANDO

Asesor: DR. MAIQUEL LÓPEZ SILVA

LIMA – PERÚ

2020

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Julio y Liliana que con tanto esfuerzo me impulsaron a lograr mis metas dándome siempre amor y buenos valores.

Pulido Damian, Julio Fernando

Dedico esta tesis a mis padres Ciro y Jacqueline que con tanto esfuerzo, amor y comprensión me impulsaron a lograr mis metas. A mis hermanos Mayte, Flavio y María Fernanda que siempre me fortalecen y apoyan cuando lo necesito.

Angulo Enriquez, David Armando

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestra alma mater la Universidad Ricardo Palma, a nuestro asesor Dr. Maiquel López por su constante apoyo para el desarrollo de la presente tesis. También agradecemos a nuestros familiares porque estuvieron en nuestro proceso académico universitario incentivándonos a seguir adelante.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
1. CAPÍTULO I: Planteamiento y delimitación del problema	2
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Formulación del problema.....	4
1.2.1. Problema General	4
1.2.2. Problema Específico	4
1.3. Importancia y justificación del estudio.....	5
1.4. Limitaciones del estudio	6
1.5. Objetivos de la Investigación	7
1.5.1. Objetivo general	7
1.5.2. Objetivos específicos	7
2. CAPÍTULO II: Marco Teórico	8
2.1. Marco Histórico	8
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema	10
2.2.1. Investigaciones Internacionales	10
2.2.2. Investigaciones Nacionales	12
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio	13
2.3.1. Redes de alcantarillado	13
2.3.2. Clasificación de las redes de alcantarillado	14
2.3.3. Parámetros hidráulicos de redes de alcantarillado	14
2.3.4. Metodología sin zanja	21
2.3.5. Método de rehabilitación Pipe Bursting	22
2.3.6. Método de Rehabilitación Cured in Place Pipe	25
2.3.7. Proceso constructivo de la tecnología sin zanja	28
2.3.8. Material de tubería	36
2.4. Definiciones de términos básicos	40
2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis.....	41
2.6. Hipótesis	41
2.6.1. Hipótesis General	41
2.6.2. Hipótesis Específicas	41

2.7. Variables	42
2.7.1. Variable independiente	42
2.7.2. Variable dependiente	42
2.7.3. Operacionalización de variables.....	42
3. Capítulo III: Marco metodológico.....	43
3.1. Tipo y método de investigación.....	43
3.2. Población de estudio	43
3.3. Diseño Muestral.....	44
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	46
3.5. Descripción de procedimientos de análisis.....	48
4. Capítulo IV: Resultados y análisis de resultados de la investigación.....	50
4.1. Resultados.....	50
4.1.1. Proceso constructivo de la tecnología Pipe Bursting.....	50
4.1.2. Proceso constructivo de la tecnología Cured In Place Pipe.....	58
4.1.3. Análisis Teórico de las variables hidráulicas de las tecnologías sin Zanja	62
4.1.4. Análisis de los datos de la encuesta a Especialistas.....	72
4.2. Análisis de resultados	101
4.3. Constatación de Hipótesis	138
CONCLUSIONES	140
RECOMENDACIONES	142
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144
ANEXOS.....	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores Dados por Horton para ser Usados en la Formula de Manning	37
Tabla 2 Dimensiones de tuberías de PEAD	37
Tabla 3 Valores Recomendados del Coeficiente de Manning	38
Tabla 4 Productos de revestimiento	39
Tabla 5 Ubicación de los Tramos de las Redes de Alcantarillado de la Muestra.....	45
Tabla 6 Interpretación del Coeficiente de Cronbach	48
Tabla 7 Cálculo del Tirante de los Tramos de Alcantarillado	63
Tabla 8 Parámetros que Caracterizan los Tramos de las Redes de Alcantarillado.....	64
Tabla 9 Parámetros Hidráulico de los Tramos Existentes	66
Tabla 10 Parámetros Hidráulicos de los Tramos Rehabilitados por el Pipe Bursting	68
Tabla 11 Parámetros Hidráulicos de los Tramos Rehabilitados por el CIPP	70
Tabla 12 Número de Especialistas que Conocen el Término “Tecnología Sin Zanja” ..	72
Tabla 13 Conocimiento de los Especialistas de las Tecnologías Sin Zanja	73
Tabla 14 Reducción de Niveles de Ruido Comparando el Proceso Constructivo del Método Convencional y los Métodos Sin Zanja.....	74
Tabla 15 Reducción del Uso de Maquinaria Comparando el Proceso Constructivo del Método Convencional y los Métodos Sin Zanja.....	75
Tabla 16 Reducción de Movimientos de Tierras o Relieve Comparando el Proceso Constructivo del Método Convencional y los Métodos Sin Zanja	76
Tabla 17 Reducción de Contaminación Ambiental Comparando el Proceso Constructivo del Método Convencional y los Métodos Sin Zanja.....	77
Tabla 18 Reducción de Contaminación Ambiental Comparando el Proceso Constructivo del Método Convencional y los Métodos Sin Zanja.....	78
Tabla 19 Reducción de Contaminación Ambiental Comparando el Proceso Constructivo del Método Convencional y los Métodos Sin Zanja.....	79
Tabla 20 Reducción de Contaminación Ambiental Comparando el Proceso Constructivo del Método Convencional y los Métodos Sin Zanja.....	80
Tabla 21 Nivel de Molestias en la población durante los trabajos	81
Tabla 22 Tiempo que se Restringen los Accesos Vehiculares durante el tiempo de Trabajo	82

Tabla 23 Tiempo que se Restringen los Accesos Peatonal durante el tiempo de Trabajo	83
Tabla 24 Nivel en que Afectan los negocios durante el tiempo de Trabajo	84
Tabla 25 Costo de la Rehabilitación de un Metro de Red Alcantarillado por los Métodos Sin Zanja	85
Tabla 26 Tiempo de Ejecución para la Rehabilitación de Red Alcantarillado por los Métodos Sin Zanja	86
Tabla 27 Nivel de Pérdidas Económicas de los Negocios Colindantes durante los trabajos de Rehabilitación.....	87
Tabla 28 Nivel de Afectaciones en Áreas Verdes Durante los Trabajos por los Métodos Sin Zanja	88
Tabla 29 Nivel de Ruido que Genera a la Población Durante los Trabajos por los Métodos Sin Zanja	89
Tabla 30 Nivel de Humo y Gases que Generan las Maquinarias y Equipos Durante la Metodología Pipe Bursting	90
Tabla 31 Nivel de Humo y Gases que Generan las Maquinarias y Equipos Durante la Metodología Cured In Place Pipe	91
Tabla 32 Nivel de Polvo que se Generan en las Diferentes Actividades Durante la Metodología Pipe Bursting	92
Tabla 33 Nivel de Polvo que se Generan en las Diferentes Actividades Durante la Metodología Cured In Place Pipe	93
Tabla 34 Nivel de Vibraciones que se Generan por las Maquinarias y Equipos Durante la Metodología Pipe Bursting	94
Tabla 35 Nivel de Vibraciones que se Generan por las Maquinarias y Equipos Durante la Metodología Cured In Place Pipe	95
Tabla 36 Método más Adecuado del Pipe Bursting para la Rehabilitación de las Redes de Alcantarillado.....	96
Tabla 37 Tipo de Curado más Adecuado del Cured In Place Pipe para la Rehanilitación de las Redes de Alcantarillado.....	97
Tabla 38 Método de Instalación más Usado del Cured In Place Pipe para la Rehabilitación de las Redes de Alcantarillado	98
Tabla 39 Nivel de Impacto Negativo de los Impactos Durante la Metodología Pipe Bursting.....	99

Tabla 40 Nivel de Impacto Negativo de los Impactos Durante la Metodología Cured In Place Pipe.....	100
Tabla 41 Tabla Comparativa de Velocidades	102
Tabla 42 Tabla Comparativa de Tensiones Tractivas.....	105
Tabla 43 Tabla Comparativa de Tirantes del Flujo	107
Tabla 44 Cuadro Comparativo de las Propiedades Hidráulicas de las Tecnologías Pipe Bursting y Cured In Place Pipe.....	108
Tabla 45 Tabla de Identificación de Impactos Potenciales.....	110
Tabla 46 Matriz Cualitativa de Identificación de Impactos Directos e Indirectos del Proceso Constructivo de la Tecnología Pipe Bursting.....	111
Tabla 47 Matriz Cualitativa de Identificación de Impactos Directos e Indirectos del Proceso Constructivo de la Tecnología Cured In Place Pipe.....	112
Tabla 48 Matriz comparativa de los factores Sociales, Ambientales y Económicos de las Tecnología Pipe Bursting y Cured In Place Pipe.....	113
Tabla 49 Calificación de Intensidad	116
Tabla 50 Calificación de la Extensión	116
Tabla 51 Calificación del Momento	116
Tabla 52 Calificación de la Persistencia	117
Tabla 53 Calificación de Reversibilidad.....	117
Tabla 54 Calificación de Sinergia.....	117
Tabla 55 Calificación de Acumulación	118
Tabla 56 Calificación del Efecto	118
Tabla 57 Calificación de la Periodicidad.....	118
Tabla 58 Clasificación de la Recuperabilidad	119
Tabla 59 Matriz Cuantitativa de los Impactos Directos e Indirectos del Proceso Constructivo de la Tecnología Pipe Bursting.	120
Tabla 60 Matriz Cuantitativa de los Impactos Directos e Indirectos del Proceso Constructivo de la Tecnología Cured In Place Pipe	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Países Asociados a la ISTT	9
Figura 2 Figura de una Tubería Semillena.....	16
Figura 3 Colocación de una Tubería por Método de Pipe Bursting.	22
Figura 4 Esquema de Renovación Pipe Bursting Dinámico.....	24
Figura 5 Esquema de Renovación Pipe Bursting Estático.....	25
Figura 6 Esquema de Renovación por Cured in Place Pipe	26
Figura 7 Equipo de Lavado en Operación	28
Figura 8 Equipos Especializados en el Corte de Obstrucciones para Tuberías.....	29
Figura 9 Cámara de Inspección Televisiva para Distintos Diámetros.....	30
Figura 10 Corte, Rotura y Excavación de Ventana	31
Figura 11 Termofusión de Tubería HDPE.....	32
Figura 12 Sistema Pipe Bursting Dinámico.....	33
Figura 13 Proceso Constructivo Pipe Bursting.....	33
Figura 14 Implementación de Resina para CIPP.....	34
Figura 15 Instalación Liner Pull-In e Inversión.....	35
Figura 16 Dimensiones de Tuberías de CSN.....	36
Figura 17 Fundamentos Teóricos que Sustentan las Hipótesis.....	41
Figura 18 Delimitación Geográfica de Área de Estudio.....	44
Figura 19 Valor de Alfa de Cronbach.....	49
Figura 20 Excavacion de conexión domiciliaria de desagüe con miniexcavador	52
Figura 21 Izaje de Equipo Pipe Bursting	54
Figura 22 Rehabilitación de Redes de Alcantarillado Pipe Bursting estático	56
Figura 23 Desmosnte generado por excavaciones	58
Figura 24 Calefactor de Agua CIPP	61
Figura 25 Generador de Vapor CIPP	62
Figura 26 Equipo de Rayos UV	63
Figura 27 Diagrama del Proceso Constructivo de la Tecnología Pipe Bursting	60
Figura 28 Diagrama del Proceso Constructivo de la Tecnologia Cured In Place Pipe ..	61
Figura 29 Video de Inspeccion Televisiva en Red de Alcantarillado.....	62
Figura 30 Gráfico del Conocimiento que Tienen los Especialistas sobre las Tecnologías Sin Zanjas	73

Figura 31 Gráfico de Reducción de Niveles de Ruido en Comparación al Método Tradicional y los Métodos Sin Zanja.....	74
Figura 32 Gráfico de Reducción de Uso de Maquinarias en Comparación al Método Tradicional y los Métodos Sin Zanja.....	75
Figura 33 Gráfico de Reducción de Movimientos de Tierra o Relieve en Comparación al Método Tradicional y los Métodos Sin Zanja	76
Figura 34 Reducción de Contaminación Ambiental Comparando el Proceso Constructivo del Método Convencional y los Métodos Sin Zanja.....	77
Figura 35 Gráfico de Reducción de Impacto de la Vegetación Urbanística en Comparación al Método Tradicional y los Métodos Sin Zanja	78
Figura 36 Gráfico de Reducción de Costos en Comparación al Método Tradicional y los Métodos Sin Zanja.....	79
Figura 37 Gráfico de Reducción de Costos en Comparación al Método Tradicional y los Métodos Sin Zanja.....	80
Figura 38 Gráfico de Nivel de Molestias de la Población Durante los Trabajos.....	81
Figura 39 Gráfico de Tiempo que se Restringe el Acceso Vehicular Durante los Trabajos de Métodos Sin Zanja	82
Figura 40 Gráfico de Tiempo que se Restringe el Acceso Peatonal Durante los Trabajos de Métodos Sin Zanja	83
Figura 41 Gráfico de Nivel en que Afecta a Negocios Durante los Trabajos de Métodos Sin Zanja.....	84
Figura 42 Gráfico de Costo de Rehabilitación por Metro de Red de Alcantarillado de los Trabajos de Métodos Sin Zanja	85
Figura 43 Gráfico de Tiempo de Ejecución para la Rehabilitación de un tramo de Red de Alcantarillado de los Trabajos de Métodos Sin Zanja.....	86
Figura 44 Gráfico de Nivel de Pérdidas Económicas de Negocios aledaños por Trabajos de Métodos Sin Zanja	87
Figura 45 Gráfico de Nivel de Afectación en Áreas Verdes Durante los Trabajos de Métodos Sin Zanja.....	88
Figura 46 Gráfico de Nivel de Ruido que Generan a la Población Durante los Trabajos de Métodos Sin Zanja.....	89
Figura 47 Gráfico de Nivel de Humo y Gases que Generan las Máquinas y Equipos Durante los Trabajos de la Metodología Pipe Bursting.....	90

Figura 48 Gráfico de Nivel de Humo y Gases que Generan las Máquinas y Equipos Durante los Trabajos de la Metodología Cured In Place Pipe	91
Figura 49 Gráfico de Nivel de Polvo que Generan las Actividades Durante los Trabajos de la Metodología Pipe Bursting.	92
Figura 50 Gráfico de Nivel de Polvo que Generan las Actividades Durante los Trabajos de la Metodología Cured In Place Pipe	93
Figura 51 Gráfico de Nivel de Vibraciones que Generan las Maquinarias y Equipos Durante los Trabajos de la Metodología Pipe BurstingFuente: Elaboración Propia	94
Figura 52 Gráfico de Nivel de Vibraciones que Generan las Maquinarias y Equipos Durante los Trabajos de la Metodología Cured In Place Pipe	95
Figura 53 Gráfico Circular del Método más Adecuado para la Metodología Pipe Bursting	96
Figura 54 Gráfico Circular del Tipo de Curado más Adecuado para la Metodología Cured In Place Pipe	97
Figura 55 Gráfico Circular del Método de Instalación más Usado para la Metodología Cured In Place Pipe.....	98
Figura 56 Gráfico del Método de Instalación más Usado para la Metodología Cured In Place Pipe.....	99
Figura 57 Gráfico del Método de Instalación más Usado para la Metodología Cured In Place Pipe.....	100
Figura 58 Comparación de Velocidades	104
Figura 59 Cuadro de Impacto Directo e Indirecto	110
Figura 60 Rango de Niveles de Significación	115

RESUMEN

En la presente tesis aborda las tecnologías de rehabilitación sin zanjas Pipe Bursting y Cured In Place Pipe de las cuales abordaremos su proceso constructivo y como este impacta en la sociedad y el medio ambiente. El objetivo principal de la presente tesis es la comparación entre las tecnologías Pipe Bursting y Cured In Place Pipe. Para ello se plantea una metodología con enfoque cualitativo, de alcance descriptivo y comparativo con un tipo de investigación básica ya que nos basaremos en las fuentes documentarias y aplicaciones teóricas. De acuerdo con el análisis de resultados obtenidos en la presente tesis, se concluye que al analizar los procesos constructivos de cada tecnología podemos determinar que la tecnología Cured In Place Pipe genera un menor impacto ambiental durante su rehabilitación ya que presenta un 5% de impactos modernamente significativos frente a 26% que presenta la tecnología Pipe Bursting, en cuanto a su proceso constructivo la tecnología CIPP presenta más ventajas que desventajas debido, en gran medida, a que la tecnología Pipe Bursting aun hace uso de máquinas pesadas para su construcción, por otro lado las propiedades hidráulicas luego de la aplicación de estas tecnologías mejoran ya que hay un aumento en la velocidad de entre 35% y 55% lo que mejora la velocidad inicial que se encontraba por debajo del mínimo, además permite un aumento en el caudal a futuro ya que el tirante disminuye entre 20% a 30%.

Palabras claves: Tecnologías sin zanja, rehabilitaciones, redes de alcantarillado, proceso constructivo.

ABSTRACT

In this thesis he addresses the Pipe Bursting and Cured In Place Pipe trenchless rehabilitation technologies, of which we will address their construction process and how it impacts society and the environment. The main objective of this thesis is the comparison between Pipe Bursting and Cured In Place Pipe technologies. For this, a methodology with a qualitative approach is proposed, with a descriptive and comparative scope with a type of basic research and that we will base ourselves on documentary sources and theoretical applications. According to the analysis of the results obtained in this thesis, it is concluded that by analyzing the construction processes of each technology we can determine that the Cured In Place Pipe technology generates a lower environmental impact during its rehabilitation since it presents 5% of modern impacts. compared to 26% that Pipe Bursting technology presents, in terms of its construction process, CIPP technology presents more advantages than disadvantages due, to a large extent, to the fact that Pipe Bursting technology still makes use of heavy machines for its construction, on the other On the other hand, the hydraulic properties after the application of these technologies improve since there is an increase in the speed of between 35% and 55%, which improves the initial speed that is still below the minimum, also allows an increase in the flow in the future since the tie decreases between 20% to 30%.

Keywords: Trenchless technologies, renovations, sewage networks, construction process.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación abordara las tecnologías sin zanja, en específico, las tecnologías Pipe Bursting y Cured In Place Pipe y analiza como estas impactan a la sociedad y al medio ambiente durante su proceso de construcción de la rehabilitación de las redes de alcantarillado, si bien estas tecnologías van ganando terreno en países desarrollados y subdesarrollados, aun no se encuentran consolidadas en el Perú.

La tecnología Pipe Bursting actualmente viene siendo utilizada en las obras de saneamiento por lo que nos permite tener un mejor conocimiento de ella, pero en cambio la tecnología Cured In Place Pipe no se ha desarrollado en el Perú por lo que tomaremos los conocimientos de otros países para describir su proceso constructivo y saber el impacto que tiene esta tecnología. Además, analizaremos que tan conveniente son ambas tecnologías para las rehabilitaciones de redes de alcantarillado. En la presente tesis encontraremos lo siguientes capítulos.

En el capítulo I: Se desarrolla el planteamiento y delimitación del problema, los objetivos de la tesis y las limitaciones y justificación del presente estudio.

En el capítulo II: Se abordan las investigaciones relacionadas con el tema de investigación, se desarrollará la estructura teórica que sustenta la tesis y se investigara sobre las tecnologías sin zanja, por último, se darán a conocer las hipótesis y nuestras predicciones sobre los resultados que obtendremos.

En el capítulo III: Se determina la población y el espacio muestral de la tesis, así como también la metodología de la investigación y se describirán las técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.

En el capítulo IV: Se darán los resultados que se obtuvo de la investigación, los cálculos teóricos y la información recopilada por las encuestas desarrolladas a especialistas.

En el capítulo V: por último, se darán las conclusiones y recomendaciones obtenidas de la investigación de la presente tesis.

CAPÍTULO I: Planteamiento y delimitación del problema

1.1. Descripción del problema

En la actualidad, debido al crecimiento de la población y el requerimiento sobre el mejor aprovechamiento de espacios en las ciudades, se ha generado un gran incremento en la construcción y modificación de espacios para albergar estructuras de vivienda por propiedad horizontal, o para cambiar el uso/ocupación de los espacios en la ciudad y sus alrededores, esto ha implicado una modificación y aumento en las necesidades y mejoramiento respecto a los servicios de agua potable y alcantarillado que existen en nuestra ciudad con el fin de optimizar dichos sistemas. (Barbosa Hortua, 2013).

Según INEI (2017), en el departamento de Lima, según el censo del 2007, registro una densidad poblacional de 236.6 Hab/Km² a una década de este censo en el 2017, que fue el último realizado en el Perú, se registró una densidad poblacional de 272,4 Hab/Km², según estas cifras hay aumento 35,8 Hab/Km² y que probablemente sea mayor en los próximos años, esto nos indica que en los próximos años debemos tomar las medidas necesarias para contar con un sistema de agua potable y alcantarillado adecuados que soporten una demanda mayor a futuro. En la presente tesis nos enfocaremos en las tecnologías utilizadas para el mejoramiento y rehabilitación de las redes de alcantarillado las cuales podrán soportar una mayor demanda de este servicio.

Según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2014), la mayoría de los sistemas de abastecimiento de agua potable en las localidades urbanas superan los 60 años de antigüedad, por lo que podemos estimar que el mismo tiempo de vida aproximadamente tienen nuestros sistemas de alcantarillado ya que dicho sistema es construido paralelamente al sistema de agua potable.

El problema en las redes de alcantarillado comienza a surgir con el deterioro de las tuberías y la necesidad que existe para su rehabilitación. En zonas urbanas, altamente densas, donde se desarrollan diversas actividades económicas, la posibilidad del cierre de avenidas o calles, aunque por un periodo corto de tiempo

implica un impacto productivo y económico elevado. En estas circunstancias, el método usual de colocación de tuberías nuevas de reposición no es factible debido a que solo se toma en cuenta la renovación de las tuberías utilizando métodos de reparaciones subterránea tradicionales bajo rupturas de zanjas (Arce Obregón, 2017).

Como menciona Arce Obregón, el tiempo de ejecución, a parte de su impacto negativo a la población, es un factor importante ante una emergencia como el aniego que se suscitó en el distrito de San Juan de Lurigancho donde se generó muchas pérdidas económicas, malestar en la población, daños materiales, estructurales y un peligro a la salubridad pública por la contaminación que genera las aguas servidas. El método de rehabilitación fue un factor determinante ya que si se hubiese optado por otro método constructivo no convencional el cual implicara un tiempo de ejecución y movimientos de tierras menores se hubiese evitado dicho aniego. Es por ello por lo que se buscan nuevas tecnologías que reduzcan el impacto económico, social y ambiental negativo que tiene el método convencional ante estas situaciones en las cuales se necesiten métodos de rehabilitación más eficientes y rápidos que respondan ante las emergencias que se pueden suscitar en las zonas urbanas o centros poblados.

Debido a la antigüedad de las redes de alcantarillado en Lima Metropolitana que están en funcionamiento, Sedapal, entidad encargada de la administración de las redes de alcantarillado, ha tomado medidas para el mejoramiento y rehabilitación de estos sistemas en los últimos años, es así que en el 2014 se aprueba el Proyecto Integral para Lima norte “Optimización de Sistemas de agua potable y alcantarillado, Sectorización, Rehabilitación de redes y actualización de catastro de Lima Norte (Etapa I, II, III)” (Sedapal, Nota de prensa N° 13-2014), en este proyecto se ha implementado en gran escala la Tecnología Pipe Bursting (Cracking) la cual es una de las alternativas que componen el conjunto de metodologías sin zanja. Las cuales reducen o eliminan la utilización de excavaciones que se realizan en el proceso constructivo y mitigan el impacto socio ambiental que producen.

Si bien es cierto que el método Pipe Bursting posee más beneficios que el método tradicional o convencional, existe una metodología poco conocida y aun no aplicada en el Perú, pero ya está implementada en otros países como España, EE. UU. y Colombia, este método se llama Cured In Place Pipe (CIPP) que permite una rápida rehabilitación de la tubería in situ mediante un revestimiento interno con una manga polimerizada. Estos dos métodos serán objeto de investigación y comparación ya que ambos nos ofrecen una solución más eficiente que el método tradicional bajo ciertas condiciones en las que se encuentra el sistema de alcantarillado. Cabe resaltar que en nuestro país no existe obras o proyectos donde se realicen rehabilitaciones con la tecnología Cured In Place Pipe.

Esta investigación permitirá conocer más sobre otras tecnologías sin zanja (Pipe Bursting y Cured In Place Pipe) y tener más alternativas a las que podemos recurrir cuando se presente una situación donde se requiera la rehabilitación de una red de alcantarillado de manera más eficiente y de poco impacto negativo.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Como realizar el análisis comparativo de los métodos constructivos sin zanja en rehabilitación de redes de alcantarillado, Santiago de Surco?

1.2.2. Problema Específico

- a. ¿Cómo describir los métodos constructivos sin zanja Pipe Bursting y Cured In Place Pipe para la rehabilitación de redes secundarias de alcantarillado?
- b. ¿Cómo evaluar los aspectos teóricos de las variables hidráulicas en la red de alcantarillado antes y después de la rehabilitación por los métodos Pipe Bursting y Cured In Place Pipe?
- c. ¿Cómo realizar una matriz cualitativa y cuantitativa de los aspectos económicos y socio ambiental de los métodos constructivos sin zanja Pipe Bursting y Cured In Place Pipe?

1.3. Importancia y justificación del estudio

La necesidad de renovar, reemplazar o reparar las redes de alcantarillado deterioradas viene ligado al crecimiento poblacional, la cual genera un aumento de la demanda de las redes de servicios públicos de alcantarillado en las ciudades, y al deterioro de las redes porque se ha excedido el tiempo de su vida útil, la cual ya se viene dándose en algunos distritos de la capital, es por ello por lo que se han surgido varios proyectos de rehabilitación de las redes. En algunos proyectos ya se han estado aplicando las tecnologías de rehabilitación como el método Pipe Bursting, que si bien es llamado tecnología sin zanja en el Perú, aun hace uso de las excavaciones pero en menor medida, ya que mitiga el cierre de calles y avenidas, la demolición de las estructuras como pavimentos y veredas y los daños de las áreas verdes de la ciudad en comparación del método tradicional, aunque aún siguen generando cierto malestar en la población durante su construcción, a esto se le suman los problemas burocráticos que las empresas deben realizar para la ejecución de las obras por lo que genera que el tiempo de ejecución se extienda mucho más y sea el ciudadano el más perjudicado.

La importancia de la presente tesis pretende dar a conocer la tecnología Cured In Place Pipe utilizada por otros países como España, Colombia, EE. UU. y otros en las rehabilitaciones de redes de alcantarillado que mitiga en gran medida el malestar en la población, el movimiento de tierras, alteración del relieve en el entorno de trabajo y otros impactos negativos ambientales, sociales y económicos para la población. Además, se mejora el comportamiento hidráulico de las redes, pudiendo sostener el aumento de la demanda poblacional a futuro.

Si bien la tecnología Pipe Bursting es una de las tecnologías sin zanja que está siendo aplicadas en nuestro país, pero aún desconocemos el potencial que tienen otras tecnologías como el CIPP que disminuye en un 100% el uso de excavaciones, lo que permite realizar rehabilitaciones de redes de alcantarillado en áreas de trabajo reducidas como en asentamientos humanos que en su mayoría presentan calles angostas y de pronunciada pendiente en donde los trabajos de excavación son complejos y riesgosos, además no generan impactos negativos en el ambiente ni en la sociedad ya que no se dañan o demuelen estructuras superficiales como el

pavimento y las veredas ni se restringen los accesos vehiculares y peatonales por mucho tiempo, el uso del CIPP permite mejorar las condiciones hidráulicas de las redes ya que luego de la rehabilitación dicha red podrá recolectar un mayor caudal que el inicial.

Haciendo una comparación entre las tecnologías Pipe Bursting y Cured In Place Pipe podremos observar las ventajas y desventajas que tienen estas en ciertas condiciones y poder hacer una buena toma de decisiones en futuros proyectos en los que se puedan aplicar. Si bien la tecnología Pipe Bursting ha dado buenos resultados en los últimos proyectos como en el de Lima Norte y otros, las empresas dedicadas al rubro de saneamiento en el Perú deben mirar hacia otros países y adoptar otras nuevas tecnologías que ayuden a mejorar la calidad de vida del ciudadano sin perjudicarlos a la vez en el proceso. Además de ello el estado tiene un papel importante ya que este debe de implementar las normas y fomentar el uso de nuevas tecnologías.

1.4. Limitaciones del estudio

El estudio abarca las redes secundarias de alcantarillado en zonas urbanas lo cual implica un diámetro de tuberías no mayores a catorce pulgadas y que no impliquen un aumento de diámetro.

En nuestro país el conocimiento y aplicación de las metodologías sin zanja es muy poca o casi nula, eso se ve en nuestros proyectos a nivel nacional donde se sigue utilizando el método tradicional como alternativa principal, por lo cual no existen normas establecidas en el Perú para las metodologías sin zanjas que nos permita establecer parámetros mínimos y máximos para su desarrollo por lo se recurren a normas e investigaciones internacionales que no están ajustadas a la realidad peruana, así como sus experiencias con estas metodologías.

Al tener poca información de estas metodologías sin zanja en su procedimiento de ejecución, existen pocas empresas capacitadas para dar un adecuado servicio en la rehabilitación y renovación de las redes de alcantarillado.

El no estar asociados a la Asociación Internacional de Tecnologías Sin Zanja (ISTT) no podremos obtener la información adecuada o las investigaciones más recientes sobre estas tecnologías, esto hace que la información no sea la más completa.

1.5. Objetivos de la Investigación

1.5.1. Objetivo general

Realizar el análisis comparativo de los métodos constructivos sin zanja en rehabilitación de redes de alcantarillado, Santiago de Surco.

1.5.2. Objetivos específicos

- a. Describir los métodos constructivos sin zanja Pipe Bursting y Cured In Place Pipe para la rehabilitación de redes secundarias de alcantarillado.
- b. Evaluar los aspectos teóricos de las variables hidráulicas en la red de alcantarillado antes y después de la rehabilitación por los métodos Pipe Bursting y Cured In Place Pipe.
- c. Elaborar una matriz cualitativa y cuantitativa de los aspectos económicos y socio ambiental de los métodos constructivos sin zanja Pipe Bursting y Cured In Place Pipe.

CAPÍTULO II: Marco Teórico

2.1. Marco Histórico

Debido a la búsqueda de nuevas tecnologías, en el año 1946, en la ciudad de California se implementa un nuevo método de perforaciones horizontal subterráneas con el fin de transportar petróleo y gas, esta tecnología con el paso de los años se fue adaptando a diferentes usos llegando así en los años 80 la tecnología llamada Pipe Bursting desarrollada en Europa, para rehabilitaciones de redes en la cual consiste en introducir una tubería nueva dentro de una tubería existente. Años posteriores, en 1971, la tecnología Cured in Place Pipe se presenta como una buena opción para las rehabilitaciones de redes el cual consiste en un revestimiento interno de la tubería dentro de la tubería ya existente (Mínguez Santiago, 2015).

Es así como, en el año 1985, debido a la implementación de estas tecnologías, en la ciudad de Londres tuvo lugar la conferencia de Ingenieros en salud pública titulada “Sin Excavar 85” en la cual se introduce el término de “Tecnología Sin Zanja” que engloba todos los métodos en los cuales no se requiera de excavaciones lineales, en esta conferencia surgió la idea y la necesidad de crear una organización que promoviera este tipo de tecnología.

En 1986 la Asociación Internacional de Tecnologías sin Zanja cuyas siglas en inglés son ISTT, esta Asociación generó el interés por la tecnología sin zanja en muchos países, hoy en día los integrantes lo conforman países como Estados Unidos, China, Inglaterra, Japón, Brasil y Colombia, entre otros como se puede apreciar en la figura 1 en la cual aparecen los 33 países miembros de la ISTT (Luna Escalante & Gonzales Mendoza, 2018).

Figura 1

Países Asociados a la ISTT



Fuente: Pagina Web ISTT

En nuestro país, en el año 1996, se desarrolló el primer proyecto con metodología sin zanja, en el distrito de Breña, la rehabilitación de redes de agua potable y alcantarillado fue ejecutada por el Consorcio Greeley & Hansen-Caem Ltda., en el cual se introdujo la metodología Pipe Bursting o comúnmente llamado en nuestro país como Cracking (Huaytalla Ramos, 1998).

Esta tecnología se fue implementando poco a poco en diversos proyectos de Lima Metropolitana, es así que en el 2010 se inició con la ejecución del Megaproyecto Lima Norte que contempla la ejecución de las obras de saneamiento en cuatro etapas, de las cuales la Etapa I ya ha sido concluida y la Etapa II se encuentra en ejecución, si bien el método Cracking reduce el área de rotura de veredas y pistas en un 80%, aun se sigue percibiendo el malestar en la población durante la ejecución de las obras de saneamiento ya que con este método se siguen cerrando calles y avenidas lo cual perjudica a los negocios aledaños durante las obras de rehabilitación.

2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1. Investigaciones Internacionales

Agencia de Protección del Medio Ambiente (2012), se publicó

El estudio titulado “*A Retrospective Evaluation of Cured In Place Pipe (CIPP) Used in Municipal Gravity Sewers*”, realizado en Estados Unidos, el cual tuvo como uno de sus objetivos comprobar la viabilidad de las rehabilitaciones CIPP en redes de alcantarillado, así como el monitoreo de la calidad en la instalación a largo plazo por lo que se realizaron una serie de pruebas de muestras de tuberías polimerizadas en situ (CIPP), con un tiempo de servicio de 25 años, de la ciudad de Denver y Columbus y se concluyó que la condición de las tuberías a lo largo del tiempo en servicio eran satisfactorias y además los ensayos mostraban resultados superiores, en la mayoría de las muestras, a los mínimos establecidos en la norma ASTM. Sin embargo, el estudio no abarca las ventajas o desventajas del proceso constructivo de la tecnología CIPP y como esto impacta a la población durante su construcción.

Mínguez Santiago (2015), en su tesis

Métodos de excavación sin zanjas, desarrollado en la Universidad Politécnica de Madrid para optar el grado de Magister de Ingeniero Civil, concluyeron que, las tecnologías sin zanja están demostrando ser una herramienta de gran valor económico y social, ya que los trabajos que implican la apertura y rotura en carreteras e infraestructuras ferroviarias ocasionan molestias que son imposibles de cuantificar en términos económicos y que se consideran socialmente perjudiciales. Si bien se indican las ventajas de las tecnologías sin zanja no desarrolla un análisis comparativo entre estas y no menciona las desventajas que pueden ocasionar estas tecnologías durante su proceso constructivo en la población.

Barbosa Hortua (2013), la tesis titulada

Estudio de la aplicación de tecnologías trenchless en Bogotá, describe las diversas tecnologías sin zanjas utilizada para las rehabilitaciones de redes

de alcantarillado, así como también los trabajos preliminares y muy importantes para la ejecución de las tecnologías. En este trabajo se abordan las tecnologías sin zanja, pero solo son descritas, pero no se hace una comparación de estas y no se aborda en toda su extensión los problemas socioambientales que estas tecnologías ocasionan durante su construcción.

Sánchez Valencia (2011), en su proyecto de grado

Tecnologías promisorias para renovación y rehabilitación de tuberías en sistemas de alcantarillado, esta investigación describe los diferentes tipos de tecnologías de rehabilitación sin zanja y los agrupa en tecnologías promisorias para renovación, rehabilitación y tratamientos físico y químicos para tuberías de alcantarillado, sus aspectos técnicos y experiencia que han tenido algunos países en su implementación mencionando las ventajas y desventajas de las dichas tecnologías. En este estudio no se abarcan los aspectos sociales y ambientales que las tecnologías implican durante su proceso constructivo.

Viana Vidal (2004), en la tesis

Técnicas de construcción fundamentadas en la tecnología sin zanja, desarrollada en Guatemala, abordan los beneficios económicos, sociales y ambientales de las diversas tecnologías sin zanja, así como también sus limitaciones, ventajas y desventajas, datos técnicos y los costos que estos implican, dichas técnicas son utilizadas para nuevas instalaciones, reemplazo o renovación de líneas o redes. Si bien la tesis explica cada una de las tecnologías sin zanja no realiza una matriz cualitativa y cuantitativa de los aspectos sociales, ambientales y económicos de las tecnologías sin zanja.

Formo J. (2010), en su tesis

Impacto de la utilización de nuevas tecnologías y materiales en los plazos y costos de construcción, analiza los materiales de construcción de las tecnologías sin zanja y evalúa los costos y plazos de la secuencia constructiva de un proyecto real en la Av. Cisterna, La Serena – Chile con

el método Pipe Bursting. Además, analiza los costos de la tecnología de conectores metálicos para evitar empalmes largos y el material de hormigón autocompactante para evitar el proceso de vibración. Dentro de la tesis se aborda una comparación de los métodos tradicionales y la tecnología Pipe Bursting, no se hace hincapié en los impactos sociales y ambientales que implican ambos métodos durante su proceso constructivo ni se realiza una matriz cualitativa y cualitativa de estos aspectos.

2.2.2. Investigaciones Nacionales

Esplana Matamoros (2018), en la tesis titulada

Deficiencia del Sistema de Alcantarillado del Proyecto Lima Norte II y ventajas del Sistema Pipe Bursting, desarrollado en la Universidad Peruana los Andes para optar el grado de Ingeniero Civil, concluyeron que las ventajas del sistema “Pipe Bursting” reducen sustancialmente la deficiencia del sistema de alcantarillado del Proyecto Lima Norte II. En el distrito de Comas-Lima. Ya que el empleo de este método generaría un proyecto de rehabilitación más rentable en costo, tiempo y en el aspecto socioambiental, sin embargo, las conclusiones indican las ventajas y desventajas de la metodología Pipe Bursting de manera general y no durante cada paso del proceso constructivo que estos métodos conllevan.

Luna E., Gonzales M. (2018), en la tesis

Descripción, análisis comparativo y evaluación de las tecnologías: sin zanja y convencional para la renovación del sistema de alcantarillado en el sector bajo de Miraflores – Distrito de Miraflores, da algunos conceptos y alcances de las tecnologías sin zanja y compara específicamente la tecnología Pipe Bursting con el método convencional a zanja abierta, elaborando un análisis de costo y rendimiento y los impactos socioeconómicos que implican. En esta tesis no se hace el uso de tablas o matrices comparativas de ambos métodos lo cual hubiera graficado mejor las comparaciones de ambas metodologías y si bien se hicieron encuestas a la población, estas también se debieron hacer a los ingenieros especialistas en el proyecto.

Pérez F., Ramos Ch. (2017), la tesis titulada

Métodos constructivos tradicional vs. Pipe Bursting en obra de agua potable y alcantarillado en zonas urbanas del distrito de Moquegua, 2015, analiza y compara los beneficios constructivos, los rendimientos de construcción, los costos mediante partidas de costos unitarios y los materiales utilizados en la tecnología sin zanja Pipe Bursting y el método convencional de los sistemas de agua potable y alcantarillado, así como también los impactos sociales y ambientales. Esta tesis, sin embargo, no se hace una comparación de las propiedades hidráulicas que pueden variar luego de las rehabilitaciones y que si son materia de estudio en la presente tesis

Arce J. (2017), la tesis titulada

Aplicación de la tecnología sin zanja para mejorar la productividad en la rehabilitación de redes de alcantarillado. Comas 2016, realizo el análisis comparativo económico de las tecnologías sin zanja Pipe Bursting y el método convencional analizando los procesos constructivos del proyecto Optimización de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado: Sectorización, Rehabilitación de Redes y Actualización de Catastro – Área de Influencia Planta Huachipa – Área de Drenaje Comas-Chillón-Lima. Si bien en esta tesis se concluye los beneficios de la tecnología sin zanja sobre los métodos convencionales no se hace una comparación integral y los agrupa en una matriz en donde se puedan ver claramente las diferencias que hay entre uno y otro método.

2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1. Redes de alcantarillado

Las redes de alcantarillado o los sistemas de alcantarillados tienen como función el retiro o la recolección de las aguas que ya han sido utilizadas en una población (aguas residuales) y también de aguas pluviales (Jiménez Terán), mientras que Daniel Arce indica que es consiste en una serie de tuberías y obras complementarias, necesarias para recibir y evacuar las aguas residuales de la población y la escorrentía superficial producida por la lluvia. Ambos conceptos

son muy similares por lo que podemos decir que el sistema de alcantarillado es una red de tuberías en la cual se recolectan aguas residuales y pluviales y que son transportadas hacia una planta de tratamiento o descargadas en vertientes, siempre y cuando estas no sean perjudiciales para el ecosistema.

2.3.2. Clasificación de las redes de alcantarillado

A continuación, se clasifican las redes de alcantarillado de acuerdo con su ubicación y construcción dentro de las zonas urbanas o rurales:

a. Alcantarillado convencional.

Está conformada por las conexiones de desagüe de las viviendas y que descargan a una red que recolecta todas esas aguas residuales. Estas redes recolectoras están generalmente ubicadas en medio de las calles y avenidas y funcionan comúnmente por gravedad.

b. Alcantarillados no convencionales.

Alcantarillado simplificado. Están conformadas por conexiones domiciliarias de desagüe y redes colectoras que están ubicadas cerca de las veredas y presentan diámetros de tuberías más reducidos y ubicadas a una menor profundidad. Este tipo de sistemas son utilizados en poblaciones de bajos recursos debido al menor presupuesto empleado para la construcción de este sistema (Organización Panamericana de la Salud, et al., 2005).

c. Alcantarillado Condominial. En este sistema se considera que cada manzana de la población corresponde a la proyección horizontal de un edificio e imaginar que la evacuación de las aguas residuales de manzana corresponde a la conexión domiciliar del edificio o condominio (CARE Internacional-Avina. Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades., 2012).

2.3.3. Parámetros hidráulicos de redes de alcantarillado.

Las redes de alcantarillado deben cumplir ciertos parámetros hidráulicos mínimos y máximos que permitan su adecuado funcionamiento, dichos parámetros se mencionan a continuación:

a. Velocidad.

El cálculo de la velocidad de las aguas residuales estará en función del coeficiente de Manning (n), radio hidráulico (R) y pendiente (S) de acuerdo como se muestra en la ecuación 1, utilizando la fórmula de Manning (Guías para el diseño de tecnologías de alcantarillado, 2005).

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

De acuerdo con la norma OS. 070 (R.N.E.) la lámina de agua debe ser siempre calculada admitiendo un régimen de flujo uniforme y permanente, siendo el valor máximo para el nivel del caudal final, igual o inferior a 75% del diámetro del colector.

Para mantener un flujo uniforme se recomienda tener un número de Froude por fuera del intervalo de 0.7 a 1.5 para la condición del flujo uniforme (epm, 2009).

Cuando la velocidad final es superior a la velocidad crítica, la mayor altura de lámina de agua admisible debe ser 50% del diámetro del colector, asegurando la ventilación del tramo (epm, 2009). La velocidad crítica es definida por la siguiente expresión en la ecuación (2) la cual se encuentra expresada en función de la gravedad (g) y el radio hidráulico (R).

$$V = 6 \cdot \sqrt{g \cdot R} \quad (2)$$

Para las aguas residuales, de acuerdo con la norma peruana OS. 070 (2015), se tienen que considerar que las velocidades máximas son de 5 m/s y según la guía para el diseño hidráulico de redes de alcantarillado (2009) la velocidad máxima es de 10 m/s para tuberías de materiales plásticos.

En Guías para el diseño de tecnologías de alcantarillado (2005) se indica que en la práctica se debe proyectar el alcantarillado con una pendiente que asegure

una velocidad mínima de 0.60 m/s, cuando el flujo de diseño se produce a sección llena (75% del diámetro de la tubería) o semillena (menor a 50% del diámetro de la tubería) como se muestra en la figura 2. En el primer caso, cuando el tirante sea menor al máximo (75% diámetro de la tubería), las velocidades serán menores de 0,60 m/s. En el segundo caso, cuando el tirante es menor a la mitad del diámetro de la tubería, la velocidad será menor de 0,60 m/s, mientras que, para tirantes mayores a la mitad del diámetro, la velocidad estará ligeramente superior de 0,60 m/s.

En la norma peruana se considera la velocidad mínima de diseño como 0.60 m/s (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2019).

b. Radio Hidráulico.

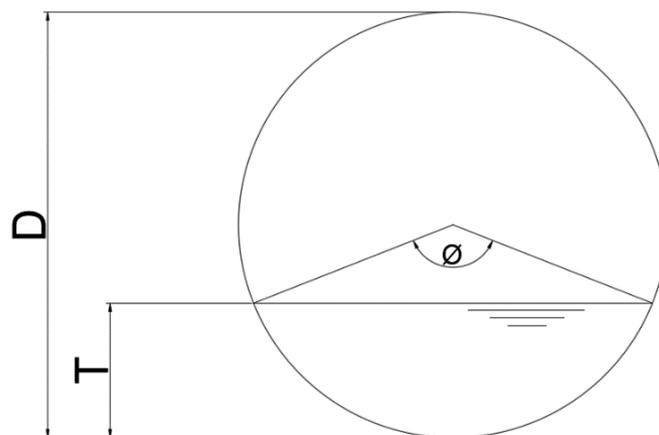
Es la relación que existe entre el área transversal y el perímetro mojado de un conducto hidráulico. De la figura 2 se deduce las ecuaciones (3) y (4) la cual está en función del radio (r) y el ángulo interno (\emptyset).

$$A = \frac{r^2}{2} (\emptyset - \sin \emptyset) \tag{3}$$

$$P = r \cdot \emptyset \tag{4}$$

Figura 2

Figura de una Tubería Semillena



Fuente: Creación Propia

De las ecuaciones (3) y (4), se deduce que el radio hidráulico se expresa de acuerdo con la ecuación (5).

$$R = \frac{r}{2 \cdot \emptyset} (\emptyset - \sin \emptyset) \quad (5)$$

De la ecuación (1) y (5), la fórmula de la velocidad quedaría expresada de acuerdo con la ecuación (6) la cual estará en función del diámetro (D), el Manning (n), la pendiente (S) y el ángulo interno (\emptyset).

$$V = \frac{0.397 \cdot D^{2/3}}{n} \cdot \left(1 - \frac{360 \sin \emptyset}{2\pi \emptyset}\right)^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (6)$$

c. Tensión tractiva.

Según la norma peruana la tensión tractiva se define como el esfuerzo tangencial unitario asociado al escurrimiento por gravedad en la tubería de alcantarillado, ejercido por el líquido sobre el material depositado. Este esfuerzo tangencial se expresa en función de la densidad del agua (ρ), la gravedad (g), el radio hidráulico (R) y la pendiente (S) según la ecuación 7 (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2019).

$$t = \rho \cdot g \cdot R \cdot S \quad (7)$$

La tensión tractiva tendrá un valor mínimo de 1,0 Pa.

En los tramos iniciales de los colectores (inicio de la red), en los cuales se presentan bajos caudales promedio tanto al inicio como al fin del periodo de diseño, se recomienda calcular la pendiente con una tensión tractiva de 1,0 Pa, y posteriormente, su verificación con caudales de aporte reales no deberá ser menor a 0,6 Pa. (Guías para el diseño de tecnologías de alcantarillado, 2005).

d. Caudal.

En hidráulica de Canales (2007), se define como el volumen de flujo que pasa en la unidad de tiempo por una sección determinada siendo este flujo constante por la ley de la conservación de la materia y se expresa en función de la velocidad (V) y el área (A) la cual se muestra en la ecuación 8.

$$Q = V \cdot A \quad (8)$$

De la ecuación (1) y (8), el caudal podrá quedar expresado según la ecuación 9.

$$Q = \frac{A}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Esta ecuación es denominada la fórmula de Manning y queda expresada en función del área, la pendiente, el radio hidráulico y el coeficiente de Manning.

La fórmula de Manning es aceptable para valores intermedios de la rugosidad relativa. Tampoco hay que olvidar que una expresión de este tipo no puede englobar la acción de la viscosidad. Es pues, de suponer que su poca exactitud disminuya con números de Reynolds bajos (Rocha Felices, 2007). Ya que como se indicó líneas arriba, el flujo que se debe mantener es uniforme para Reynolds bajos, por lo tanto, la ecuación puede ser utilizada para el cálculo del caudal en redes de alcantarillados.

Según la norma peruana se indica que el caudal mínimo que debe ser considerada para el cálculo debe ser de 1,5 l/s (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2019).

e. Diámetro de tuberías de alcantarillado.

La Guía para el diseño de tecnologías de alcantarillado (2005) se indica que los criterios de diseño de las redes convencionales especifican que el diámetro mínimo de las alcantarillas será 200 mm, tanto en habilitaciones de uso de

vivienda como de uso industrial. La experiencia en otros países, Latinoamérica y Estados Unidos muestra que las alcantarillas con diámetros de 150 mm (6") instaladas en avenidas, no presentan mayores problemas de mantenimiento que los causados por las alcantarillas convencionales. En Brasil para ramales de alcantarillado de zonas residenciales se usa diámetro mínimo de 100 mm, considerando una longitud máxima de 400 m. El diámetro de 100 mm es usualmente especificado para calles no pavimentadas de comunidades periurbanas.

Por tanto, el diámetro mínimo que se recomienda en el diseño de redes simplificadas es 150 mm, siendo limitado el uso de las tuberías de 100 mm para los casos donde se justifique técnicamente su requerimiento, esta recomendación también se indica en la norma peruana OS.070 de redes de aguas residuales (2019).

En nuestra experiencia, las redes de alcantarillado de lima tienen 200 mm de diámetro como mínimo para una mejor trabajabilidad en los mantenimientos que se hacen en las redes.

f. Pendiente de alcantarillado.

Para redes existentes, la pendiente de la red se puede calcular por la diferencia que existe entre cotas de fondo desde el buzón de inicio al buzón de descarga (ΔCF) sobre la longitud que existe entre ambos buzones:

$$S = \Delta CF/L \quad (10)$$

De no conseguirse condiciones de flujo favorables debido al pequeño caudal evacuado, en los tramos iniciales de cada colector (primeros 300 m) se deberá mantener una pendiente mínima del 0,8% (Organización Panamericana de la Salud, et al., 2005).

Según la norma boliviana indica que la pendiente mínima debe garantizar la condición de autolimpieza de la tubería, para la etapa inicial del proyecto, de

acuerdo con la relación que hay entre el caudal de aporte medio diario en la etapa inicial del proyecto (Q_p) y el caudal de la tubería para conducir el caudal de diseño futuro (Q_{II}), la cual deberá estar entre los valores de 0.10 y 0.15 según la ecuación 11 (Ministerio del Agua, 2007).

$$Q_p/Q_{II} = (0.10 - 0.15) \quad (11)$$

La norma boliviana NB688, 2007 recomienda utilizar el valor de $Q_p/Q_{II} = 0.15$ y haciendo una relación de caudales expresada en la ecuación 12.

$$\begin{aligned} \frac{Q_p}{Q_{II}} &= (\emptyset/360 - (\text{sen } \emptyset)/2\pi) \cdot (1 \\ &\quad - (360\text{sen } \emptyset)/(2\pi\emptyset))^{(2 / 3)} \\ &= 0.15 \end{aligned} \quad (12)$$

De la ecuación se obtiene como resultado el ángulo interior (\emptyset) igual a 123.10° y tomando en cuenta la tensión tractiva mínima (1.0 Pa), la densidad del agua (1000 kg/m^3), la gravedad (9.81 m/s^2) y considerando un diámetro (D) de 100 mm y reemplazándolo estos valores en la ecuación 13.

$$S = \frac{t_{min}}{\rho \cdot g \cdot \frac{D}{4} \left(1 - \frac{360 \text{ sen } \emptyset}{2\pi\emptyset}\right)} \quad (13)$$

Tenemos que la pendiente mínima es de 6.68 por mil, sin embargo, la pendiente debe estar en función de la topografía del terreno, pero no debe ser menor a la pendiente mínima que garantice la autolimpieza de la tubería y la velocidad mínima del flujo.

En cuanto a la pendiente máxima, esta debe calcularse de acuerdo con la velocidad máxima permisible (Organizacion Panamericana de la Salud, et al., 2005)

2.3.4. Metodología sin zanja

La metodología o tecnología sin zanja lleva dicho nombre debido a que estos métodos no utilizan o en algunos casos utilizan, pero en menor medida, la excavación o movimientos de tierras, dentro de las ventajas que esto conlleva es que se genera un menor impacto social y ambiental debido a la rapidez de la ejecución en su proceso constructivo, a la mitigación de cierres de calles y avenidas, al menor daño de las estructuras y medio ambiente del entorno donde se trabaja, entre otras.

Estas metodologías representan un conjunto de procedimientos cuya finalidad es construir, reemplazar o reparar todo tipo de tuberías para sistemas de agua potable, alcantarillados, acueductos, redes eléctricas de comunicaciones, redes de gas natural, entre otras (Minguez Santiago, 2015).

Para la presente tesis nos enfocaremos en los métodos sin zanja para la rehabilitación o renovación de redes secundarias de alcantarillado existentes, es decir, redes con un tiempo de vida útil superados o por superar, con diámetros menores o iguales a 350 mm y de profundidades no mayores a 4 m aproximadamente.

Si bien la tecnología sin zanja tiene varios métodos de acuerdo con su aplicación, equipos, maquinarias y materiales utilizados en su proceso constructivo, estos se dividen en dos grandes grupos de acuerdo con los registros de obras y trabajos realizados según los datos de la ICTS y la experiencia de empresas colombianas (Pinzon Abaunza, 2011). Dichos grupos se dividen de la siguiente manera:

- Tecnologías sin zanja para instalaciones nuevas
- Tecnología sin zanja para rehabilitaciones

En la presente tesis nos enfocaremos por la tecnología sin zanja para rehabilitaciones de sistemas de alcantarillado, en especial, dos de ellas.

Como se mencionó antes este grupo engloba un conjunto de métodos sin zanja, de las cuales destacan:

- Fragmentación de tubería (Pipe Bursting)
- Re entubado (Relining)
- Revestimiento deslizante continuo (Sliplining)
- Tubería Polimerizada in situ (Cured in place pipe – CIPP)
- Tubería previamente doblada (Compact pipe)

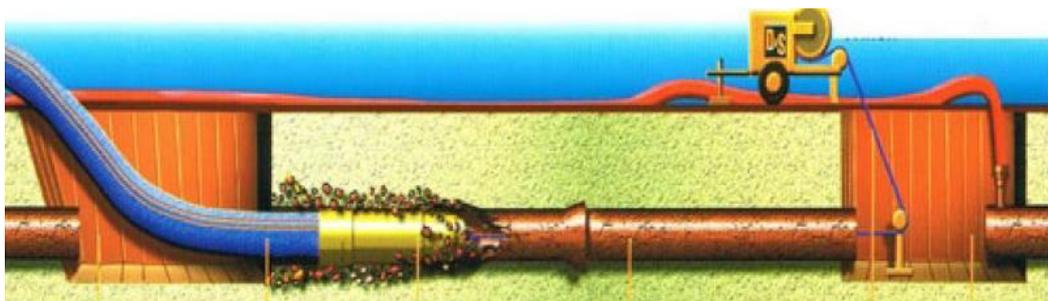
En la presente tesis abordaremos dos de las metodologías nombradas, estas son la metodología Pipe Bursting y Cured in Place Pipe, las cuales serán objeto de estudio y comparación, a continuación, describiremos cada una de ellas.

2.3.5. Método de rehabilitación Pipe Bursting

Es un método de reemplazo en línea de tuberías facturables mediante la aplicación de una fuerza en su interior. Un dispositivo de expansión se introduce en a la tubería defectuosa, rompiéndola y facilitando la introducción de la nueva tubería que viene detrás (Sánchez Valencia, 2011), como se muestra en la figura 3.

Figura 3

Colocación de una Tubería por Método de Pipe Bursting.



Fuente: (Minguez Santiago, 2015)

Existen diferentes tipos de dispositivos de expansión en el mercado, con diferentes formas y tamaños. Los fragmentos ocasionados se desplazan contra el terreno circundante y la cavidad se amplía, de forma que un nuevo tubo

pueda introducirse en ella. La tubería que viene atrás puede tener el mismo diámetro que la fragmentada o incluso mayor (Minguez Santiago, 2015)

Es un método sin zanja ecológico, la fractura de tuberías por tiro con barras, o “reventamiento” de las tuberías, (Pipe Bursting), consiste en la instalación de una tubería nueva en el espacio ocupado por el tubo antiguo, el cual se destruye previamente e incorpora al suelo circundante. Es una tecnología sin zanja (Trenchless) recomendada para la sustitución de líneas de agua potable, alcantarillado, gas en suelos sensibles, donde existen otras canalizaciones subterráneas o edificios cercanos. Este método se utiliza para reemplazar tuberías de asbesto cemento, fierro fundido y galvanizado, en diámetros superiores a 2 pulgadas (Pérez Fernandez & Ramos Chumbes, 2017, pág. 51).

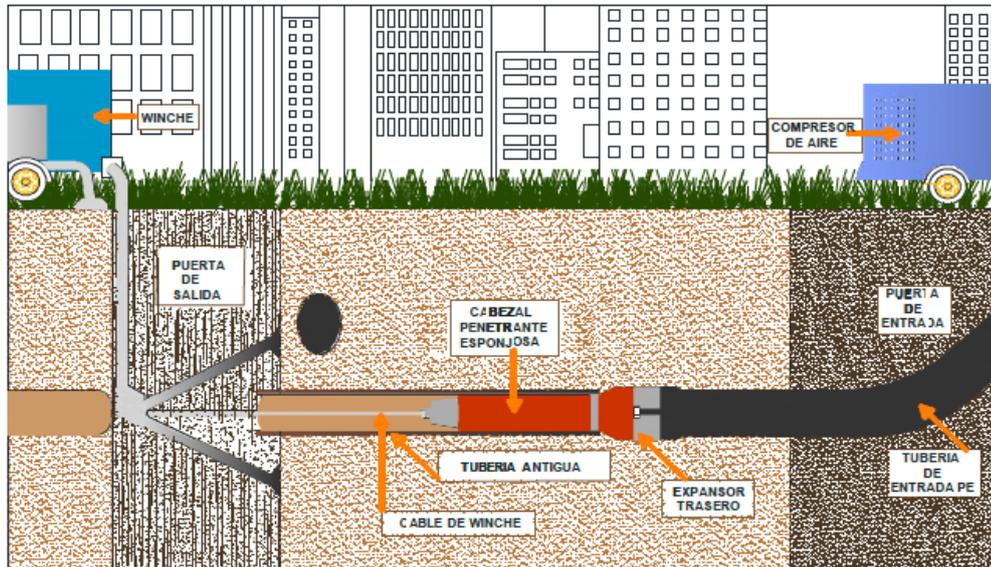
Esta tecnología, de acuerdo con el tipo de fractura de la tubería, se clasifica en:

a. Pipe Bursting Dinámico.

Para este método se utiliza un compresor neumático con un martillo de acción neumática, instalado en la parte delantera junto a un expansor y este a su vez junto a la tubería nueva, este conjunto se pone en marcha por la ventana de entrada mediante un cabrestante, winche o varillas de tensión constante la cual es jalado desde una de las ventana de salida, la acción del martillo hace que la tubería antigua se fragmente mientras que el expansor por su parte empuja los fragmentos circundantes para el ingreso de la nueva tubería dándose así la rehabilitación de la red de alcantarillado como se muestra en la figura 4 (Luna Escalante & Gonzales Mendoza, 2018).

Figura 4

Esquema de Renovación Pipe Bursting Dinámico



Fuente: (Pérez Fernandez & Ramos Chumbes, 2017)

El método dinámico usualmente es utilizado para rehabilitaciones de redes de alcantarillado debido a que comprenden tuberías de mayor diámetro y la acción neumática permite que la tubería nueva entre más fácilmente dentro de la tubería antigua y mantenga la pendiente existente de la red.

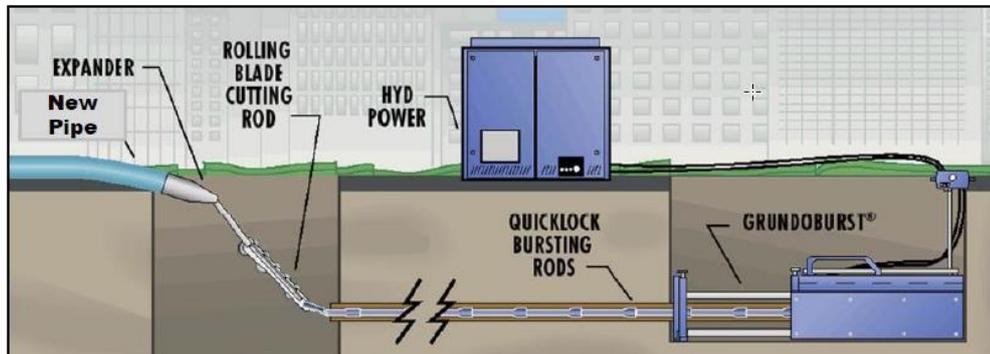
b. Pipe Bursting Estático

Este método a diferencia del dinámico no cuenta con un martillo neumático y que en su lugar es reemplazado por un patín cortador denominado “Rolling Blade cutting rod” el cual corta la antigua tubería. El procedimiento es muy similar al dinámico solo que el equipo debe instalarse dentro del pozo de salida (ventana de salida) y jalar la tubería, desde el pozo de ingreso (ventana de ingreso), unida con el patín cortador, como se aprecia en la figura 5 (Forno Martinic, 2010).

Este método es más adecuado para las rehabilitaciones de redes de agua potable pero también es utilizado para redes de alcantarillado.

Figura 5

Esquema de Renovación Pipe Bursting Estático



Fuente: (Forno Martinic, 2010)

Para este método, en vez de utilizar un winche con cable se utilizan varillas de acero que conectan ambos extremos de las ventanas de ingreso y salida dentro de la tubería existente, dichas varillas jalaran la tubería nueva dentro de la tubería antigua.

2.3.6. Método de Rehabilitaci3n Cured in Place Pipe

Tambi3n conocido como encamisado con manga reversible, este método es ideal para la rehabilitaci3n de canalizaciones de agua residuales y canalizaciones de aguas industriales. Puede ser utilizada tanto para tuberías principales como para secundarias. Y tanto en vertical como en horizontal. (Minguez Santiago, 2015)

El método de rehabilitaci3n con CIPP, tiene como objetivo formar una capa de revestimiento de carácter mono pieza, sin empalmes o costuras que afecten las condiciones de flujo a lo largo del ducto, mejorando tambi3n las condiciones de estanqueidad, e incluso a pesar de reducir de manera leve el diámetro interno, una vez curada resulta en una superficie interna muy lisa favoreciendo la capacidad de hidráulica del ducto. (Barbosa Hortua, 2013)

Figura 6

Esquema de Renovación por Cured in Place Pipe



Fuente: (Insituform, 2020)

La rehabilitación CIPP se realiza mediante una felpa o fieltro de tejido bidireccional de fibra de vidrio, o fibra similar, esta es impregnada íntima y homogéneamente con un conjunto de resinas previamente preparadas y mezcladas. La felpa impregnada es ubicada inmediatamente al interior de la tubería, mediante inversión o deslizamiento como se aprecia en la figura 6.

Existen diferentes métodos para inducir el curado, se realiza en conjunto por la reacción química de los componentes de la resina, estos son por los tipos de curado. El tiempo de curado promedio de la tubería CIPP, puede variar de cinco (5) a diez (10) horas. (Barbosa Hortua, 2013).

Existen diferentes métodos para inducir el curado de tubería polimerizada, los métodos utilizados para el curado dependerán de la reacción química de los componentes de la resina, estos serán descritos a continuación.

a. Tipo de curado por agua caliente.

Este curado es la más versátil para cualquier sección, diámetro y longitud, y está especialmente indicada para tuberías con problemas de infiltraciones (Insituform, 2020).

El curado por agua caliente, se utiliza una caldera con capacidad suficiente para calentar el volumen de agua empleado en la inversión del revestimiento. También debe poder distribuir el agua caliente a lo largo de todo el tramo revestido.

La temperatura del agua durante el proceso de curado, medida en la salida de la caldera, no puede ser inferior a 65 °C ni superior a 90 °C. Los sistemas de curado y post-curado deben mantenerse durante el tiempo recomendado por el fabricante de la resina utilizada. En este período, se debe mantener la temperatura dentro de los límites ya mencionados, así como la recirculación del agua. (SERVICIOS, 2020)

b. Tipo de curado por vapor de agua.

Este curado es el más adecuado para longitudes y diámetros medios los cuales son los mayormente están instalados en nuestro sistema de alcantarillado. El curado por vapor de agua, se utiliza una unidad de vapor la cual genera vapor de agua a una temperatura promedio de 80 °C, dando inicio al proceso de curado, el cual se prolonga por seis (6) horas, tiempo en el cual este vapor de agua reacciona la resina, endureciéndola (Insituform, 2020).

c. Tipo de curado por radiación con luz ultravioleta (Rayos UV).

Este curado es el más adecuado para diámetros y longitudes cortas, con tiempos de instalación y curado muy reducidos, porque el curado de la resina es directamente proporcional a la longitud de la manga. Además, se puede visualizar el proceso de curado. El curado de luz ultravioleta el proceso es más rápido, y necesita de un sistema de aire presurizado para darle la forma circular a la tubería debido que la manga inicialmente es plana, se debe llegar a una temperatura 82 °C para transformar la manga a estado sólido (Insituform, 2020).

Para este curado procede a utilizar el robot con luces ultravioletas que es aquel que recorrerá por el interior de la tubería con el fin de endurecer y darle un

aspecto sólido. Después es necesario taponear ambos lados de la manga, siendo por un lado donde se conectará la manguera donde se impulsará el aire presurizado que le dará la forma circular, para después mediante un equipo de control ir movilizándolo el robot con las luces UV (Ayala Ávila, 2019).

2.3.7. Proceso constructivo de la tecnología sin zanja

a. Trabajos preliminares.

Los trabajos preliminares que son parte del proceso constructivo de la rehabilitación de redes de alcantarillado sin zanja son aquellos que se realizan previamente para dar un diagnóstico del estado de las redes.

Pinzón, J. (2011) menciona que dentro de las políticas para la utilización de tecnologías sin zanja se recomienda realizar previamente un proceso de limpieza de la red, para este caso las redes de alcantarillados. Se pueden encontrar una variedad de equipos especiales para abordar este tipo de funciones como por ejemplo los equipos sofisticados de succión y alta presión (HIDROJET) como se muestra en la figura 7, lo cual garantiza la remoción de cualquier tipo de material, sedimento o grasa existente que puedan impedir posteriormente realizar la inspección televisiva con equipos robotizados.

Figura 7

Equipo de Lavado en Operación

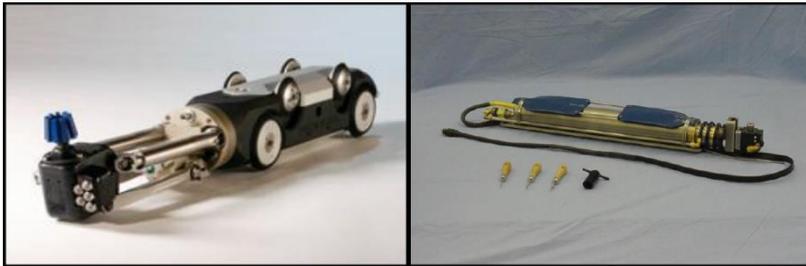


Fuente: (Barbosa Hortua, 2013)

De encontrarse dentro de la tubería a rehabilitar sedimentos fuertemente adheridos o elementos ajenos a la tubería se emplean una serie de equipos digitales robotizados como se aprecia en la figura 8, los cuales están equipados con cortadoras o sistemas neumáticos para la eliminación de las obstrucciones (Pinzon Abaunza, 2011).

Figura 8

Equipos Especializados en el Corte de Obstrucciones para Tuberías



Fuente: (Pinzon Abaunza, 2011)

Luego de la limpieza de las redes de alcantarillado se debe realizar una inspección televisiva con equipos CCTV, en la actualidad en el mercado hay gran variedad de equipos de inspección televisiva para distintos diámetros de tuberías como los equipos de Panatec que se muestran en la figura 9, los cuales ayudan al análisis preliminar del estado de las redes previo a su rehabilitación.

La inspección televisiva es uno de los parámetros importantes que se deben tener en cuenta ante la toma de decisión del método de rehabilitación a utilizar de las diferentes tecnologías sin zanja.

Figura 9

Cámara de Inspección Televisiva para Distintos Diámetros



Fuente: Pagina Web Panatec

b. Proceso constructivo de la tecnología Pipe Bursting

Señalización del área de trabajo. Se debe limitar el área de trabajo, no solo donde se desarrollará la actividad en sí, sino que también se deben delimitar las áreas donde se colocaron los materiales para la rehabilitación. Se deben ubicar los buzones de inspección del tramo a rehabilitar y cercar un perímetro en la ubicación de los buzones ya que es en ese lugar donde se realizarán las excavaciones de entra y salida de la nueva tubería.

Corte y Rotura de pavimento o superficie existente. Se debe realizar el corte del área de la ventana de ingreso y salida con dimensiones de 1.00 a 1.50 metros de ancho y 3.00 metros de largo y se procede a retirar el pavimento de las ventanas (Arce Obregón, 2017).

Excavación de ventanas. Luego del corte y rotura se hace la excavación de las ventanas hasta la profundidad en la que se encuentra la tubería como se aprecia en la figura 10. Las dimensiones de la ventana pueden variar dependiendo del diámetro de la tubería.

Figura 10

Corte, Rotura y Excavación de Ventana



Fuente: (Arce Obregón, 2017)

Instalación de Máquina Bursting. Esta máquina se instalará dentro de la ventana, normalmente ubicada en la ventana cerca al buzón aguas arriba, mediante una grúa se baja a la zanja para luego alinearla con la red, posteriormente se insertan barras de tiro que irán pasando dentro de la tubería desde la ventana aguas arriba hasta la ventana aguas abajo. La máquina está acompañada por una estación hidráulica en la superficie y es quien le da la energía para su funcionamiento. Finalizado el tendido de las barras se procede a colocar un plato de apoyo delante de la máquina, lo que servirá de anclaje para la máquina dentro de la ventana.

Termofusión de tuberías. La termofusión es un método de soldadura simple y rápida, para unir tubos de polipropileno, polietileno y sus accesorios. La superficie de las partes que se van a unir se calienta a temperatura de fusión y se unen por aplicación de presión, con acción mecánica o hidráulica, de acuerdo con el tamaño de la tubería y sin usar elementos adicionales de unión (Pérez Fernandez & Ramos Chumbes, 2017). Tal como se puede apreciar en la figura 11 donde se está utilizando el equipo de termofusión, la cual, mediante abrazaderas se ejerce presión entre las tuberías previamente calentadas.

Para alinear la tubería se debe hacer uso del refrentador simultáneamente de ambos extremos del tubo el cual se utiliza para poner lisos y planos los bordes

de los tubos, este procedimiento es obligatorio y se debe verificar antes de la termofusión, el proceso debe repetirse hasta que se logre que la tubería completamente plana (Arce Obregón, 2017).

Figura 11

Termofusión de Tubería HDPE



Fuente: (Luna Escalante & Gonzales Mendoza, 2018)

Rehabilitación de la tubería. La técnica trabaja rompiendo la tubería existente y colocando en el mismo tendido una tubería totalmente nueva. Los fragmentos derivados de la rotura de la tubería huésped son propulsados a las paredes circundantes de la tubería nueva, situación que brinda mejor acople y estabilidad de la nueva red. Técnicamente el proceso trabaja mediante un cabezal de acción neumática como se ve en la figura 12 que va unido tanto a la tubería que se va a instalar como a un cable en acero anclado a la máquina Bursting (Pinzon Abaunza, 2011).

Figura 12

Sistema Pipe Bursting Dinámico

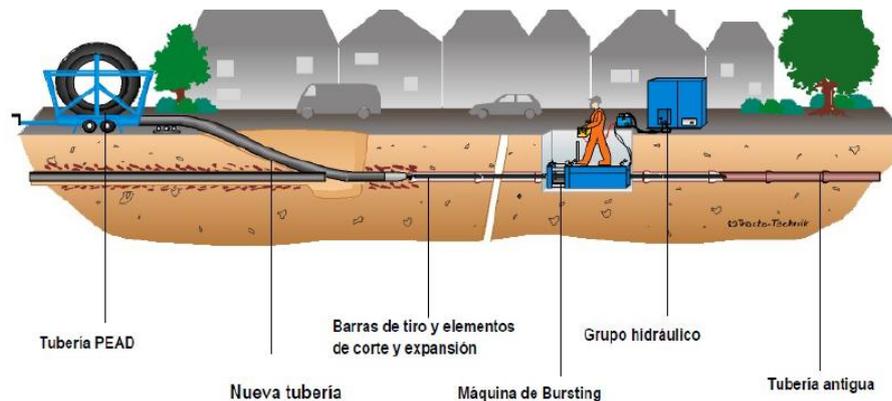


Fuente: (Pinzon Abaunza, 2011)

Gráficamente todo el proceso constructivo del método Pipe Bursting se puede apreciar en la figura 13 donde se encuentran todos los equipos y elementos que intervienen en la rehabilitación mediante la tecnología Pipe Bursting.

Figura 13

Proceso Constructivo Pipe Bursting



Fuente: (Minguez Santiago, 2015)

Relleno, compactación y reposición de pavimento o superficie existente. Luego de culminado los trabajos de rehabilitación se debe hacer el relleno y compactación de las ventanas de ingreso y salida hasta la subrasante de la vía,

posteriormente se repondrá los elementos estructurales destruidos necesarios para la rehabilitación.

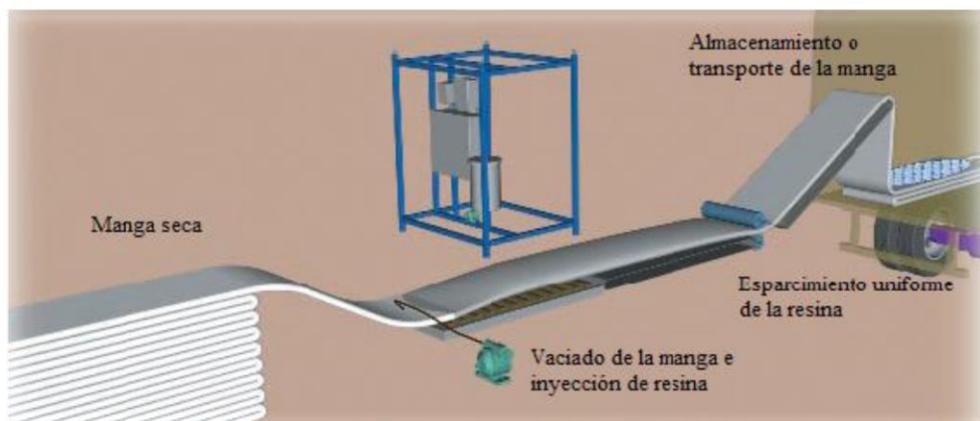
c. Proceso constructivo de la tecnología Cured In Place Pipe

Limpieza e Inspección por Circuito Cerrado de Televisión (CCTV). Se debe realizar la limpieza con especial cuidado en esta operación, de forma de evitar el empeoramiento de las condiciones estructurales preexistentes y en cuanto a la inspección interna de las tuberías, estas se debe realizar un técnico capacitado para localizar y reconocer las irregularidades estructurales, tales como grietas o agujeros, etc. La inspección debe ser meticulosa, a fin de recoger datos para calcular correctamente el grosor del revestimiento y/o sobre cualquier circunstancia que pueda impedir o dificultar la instalación correcta del revestimiento. (SERVICIOS, 2020)

Impregnación de resina. Para la preparación de la manga de revestimiento se requiere conocer de manera exacta la geometría de la tubería a ser renovada, en especial cuando se tienen formas poco comunes. Una vez que se ha configurado la manga, ésta pasa a ser saturada al vacío con la resina (Chávez Pullas, 2014), como se aprecia en la figura 14 donde la manga luego de ser inyectada la resina al vacío se envuelve y almacena para su transporte.

Figura 14

Implementación de Resina para CIPP



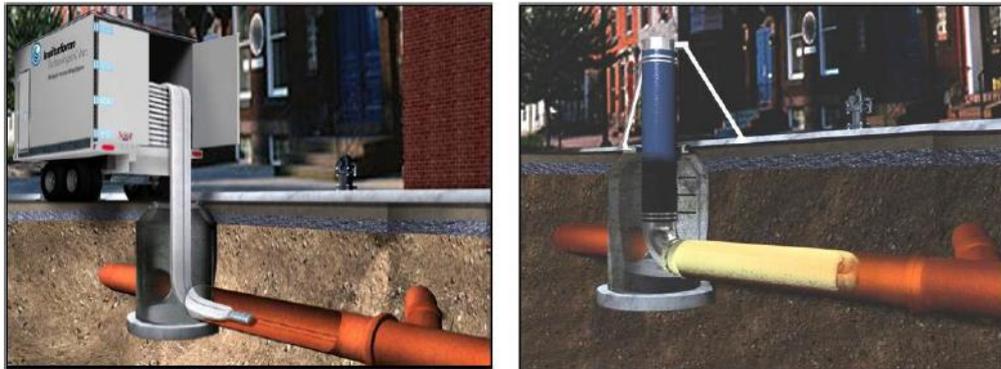
Fuente: (Chávez Pullas, 2014)

Instalación del revestimiento. Este método es de Inversión o Pull-In es un procedimiento de extracción e inflado. El revestimiento sin curar se coloca como se muestra en la Figura 15. Una capa exterior confina la resina durante la impregnación y la extracción (Erez Allouche, 2011).

Esta capa permanece entre el revestimiento CIPP curado y la tubería de acogida, lo que reduce la posibilidad de enclavamiento entre la resina y la tubería de acogida, pero confina completamente la resina, evitando así la posibilidad de que los laterales bloqueados y el lavado de la resina por las altas entradas de agua subterránea (Erez Allouche, 2011)

Figura 15

Instalación Liner Pull-In e Inversión



Fuente: (Erez Allouche, 2011)

Curado in situ. Una vez terminado el proceso de inversión, se dará inicio al curado del revestimiento. En el proceso de curado, se utiliza una caldera con capacidad suficiente para calentar el volumen de agua empleado en la inversión del revestimiento. También debe poder distribuir el agua caliente a lo largo de todo el tramo revestido (SERVICIOS, 2020).

Enfriamiento con agua fría. La tubería nueva debe ser enfriada con temperatura por debajo de 100 °F (38 °C) luego del curado con agua caliente y el caso del curado con vapor de agua debe ser enfriada a una temperatura por debajo de 113 °F (45 °C). El enfriamiento puede ser realizado por la introducción de agua fría dentro de la inversión de la tubería vertical al remplazar el agua drenada por un hueco pequeño hecho aguas abajo. Se debe

tener cuidado al tomar la liberación de la carga estática de modo que un vacío no se desarrolle tanto que puedan dañar la instalación. (EPM, 2017)

Acabados. El tubo formado por el revestimiento CIPP debe ser continuo entre las bocas de registro y estar libre de fallas visibles, tales como: materiales extraños, puntos con ausencia de resina, descascarado de las capas, etc. (SERVICIOS, 2020).

2.3.8. Material de tubería

a. Concreto simple normalizado (CSN).

En la mayoría de los casos las redes a rehabilitar son de material de concreto, debido a que este material fue el más usado para la construcción de sistemas de redes de alcantarillado antes de que se conocieran otros materiales con los que en la actualidad contamos. Se denomina concreto simple ya que no se usó ningún refuerzo en su construcción.

Este material de tubería tiene las siguientes dimensiones que se describen a continuación en la figura 16.

Figura 16

Dimensiones de Tuberías de CSN



Fuente: Grupo Traber

En cuanto al coeficiente de Manning para las tuberías de concreto se tienen los siguientes valores que se muestran en la tabla 1, la cual es mostrada en la tesis de grado de Solsol Robles, A. que muestra el coeficiente de rugosidad de las tuberías de concreto dependiendo del estado estructural que se encuentre.

Tabla 1

Valores Dados por Horton para ser Usados en la Formula de Manning

Superficie	Condiciones de las paredes			
	Perfectas	Buenas	Medianas	Malas
Tuberías de concreto	0.012	0.013	0.015	0.016

Fuente: (Solsol Robles, 2015, pág. 36)

b. Polietileno de alta densidad (PEAD).

Material utilizado en las rehabilitaciones de las redes de alcantarillado por el método Pipe Bursting se son las tuberías de polietileno, que entre sus distintas clases son aquellas clasificadas de alta densidad. Esta clase de tuberías presentan dimensiones comerciales, las cuales se muestran a continuación en la tabla 2 y proporcionadas por la empresa Pavco, quien fabrica y distribuye este material.

Tabla 2

Dimensiones de tuberías de PEAD

Espesor (mm) / Peso (Kg/m)								
DIÁMETRO EXTERNO (mm)			SDR 33 SN 2		SDR 26 SN 4		SDR 21 SN 8	
Mínimo	Máximo	Medio	e _{min}	Peso	e _{min}	Peso	e _{min}	Peso
110.0	110.0	110.50	--	--	4.2	1.45	5.3	1.81
160.0	161.5	160.75	4.9	2.49	6.2	3.12	7.7	3.84
200.0	201.8	200.90	6.2	3.93	7.7	4.84	9.6	5.98
250.0	252.3	251.15	7.7	6.10	9.6	7.55	11.9	9.26
315.0	317.9	316.45	9.7	9.68	12.1	11.98	15.0	14.71
355.0	358.2	356.60	10.9	12.26	13.6	15.18	16.9	18.68
400.0	403.6	401.80	12.3	15.59	15.3	19.24	19.1	23.78
450.0	454.1	452.05	13.8	19.68	17.2	24.34	21.5	30.12
500.0	504.5	502.25	15.3	24.24	19.1	30.03	23.9	37.20
630.0	633.8	631.90	19.3	38.53	24.1	47.74	30.0	58.85
800.0	808.1	804.05	24.5	62.11	30.6	76.97	38.1	94.90

Fuente: Pavco

Todo material tiene una característica importante que diferencia su superficie de otro material, esta característica es el coeficiente de rugosidad (n), la cual tomaremos como referencia los siguientes valores descritos en la tabla 3 proporcionada por la empresa ANDECE.

Tabla 3

Valores Recomendados del Coeficiente de Manning

Tuberías	"n" laboratorio	"n" diseño recomendada
Hormigón	0,009 – 0,011	Red alcantarillado: 0,011-0,012 Red A. residual: 0,012-0,013
HDPE	0.009 – 0,015	Red alcantarillado: 0,012-0,020
PVC	0.009 – 0,011	Red alcantarillado / Red A. residual: 0,011-0,013
Corrugada	0.012- 0,030	0,021 – 0,029

Fuente: (ANDECE)

“El coeficiente de Manning recomendado para tuberías que no soportan flujos a presión es de 0.009” (TIGRE, 2016).

c. Mangas para CIPP.

A continuación se describen dos tipos de materiales utilizados en esta tecnología.

Las mangas de fibra de vidrio. Utilizados para renovación de conducciones CIPP (Cure In Place Pipe) se suministran preimpregnadas habitualmente con resina de poliéster instaurado (UP) confinado entre varias capas protectoras y aislantes, confinando el disolvente (estireno) y evitando por tanto su migración al entorno y al fluente. El material dispone de altos valores de resistencia mecánica, presentando módulos de elasticidad próximos a los 20.000 MPa y tensiones de primera rotura entorno a los 300 MPa (PANATEC, s.f.).

Las mangas de fieltro. Está hecha en base de un tejido de poliéster, representa el material usado tradicionalmente en la rehabilitación de conducciones de redes de saneamiento. PANATEC ofrece diversas mangas de este material

adaptada a las diferentes necesidades de renovación. Mangas con recubrimiento de poliuretano (PU) o PVC para aplicaciones en las que es imprescindible gran flexibilidad en el paso de codos y adaptabilidad a cambios de diámetros (PANATEC, s.f.).

Las mangas son materiales que se adaptan a la tubería existente por lo que adoptan las dimensiones de estas, su variación en sus dimensiones reside en el espesor interno que es generado por la resina. Estas dimensiones se pueden apreciar en la tabla 4, mientras que otras investigaciones se indica que dependiendo de la profundidad “los espesores de revestimiento pueden variar desde los 3 mm en tuberías poco profundas de diámetro pequeño hasta más de 50 mm en tuberías profundas de gran diámetro” (United States Enviromental Protection Agency, 2011).

Tabla 4

Productos de revestimiento

Descripción	Flex Liner	Bendi Liner	Termo Liner	Thermo Liner plus	Soft Liner	PUR- Liner	OF-Liner
Diámetros	DN 100	DN 100	DN 150	DN 100	DN 100	DN 150	DN 150
	DN 200	DN 150	DN 300	DN 200	DN 250	DN 1200	DN 1000
Espesores	3 mm	2.5 mm	3 mm	3 mm	2 mm	4.5 mm	3 mm
			5 mm	3.5 mm	3.5 mm	21 mm	21 mm
Longitud	50 m		50 m	50 m	50 m	50 m	50 m
	100 m	42 m	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m

Nota: metros (m), milímetros (mm) y diámetro nominal (DN)

Fuente: (Avellanas)

En cuanto el coeficiente de rugosidad utilizado para esta tecnología:

Las mangas utilizadas en este método mejoran la capacidad hidráulica gracias a un coeficiente de rugosidad más reducido, la manga de rehabilitación Insituform posee un revestimiento interior de Polipropileno, que estará en contacto con el efluente circulante, el cual posee un coeficiente de Manning del 0,010 frente al 0,015 de las tuberías de hormigón (Insituform, 2020).

2.4. Definiciones de términos básicos

- a. **Rehabilitación:** Medidas que se toman o ejecutan para restaurar o mejorar el funcionamiento de un sistema de alcantarillado existente.

- b. **Alcantarillado o red de alcantarillado:** Sistema constituido por estructuras y colectores usados para la recolección y transporte de las aguas residuales, industriales y pluviales de una población desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que se vierten al medio natural o se tratan.

- c. **Red Secundaria:** Parte del alcantarillado constituida por las alcantarillas que desaguan directamente a los colectores primarios, estos comprenden tuberías de entre 200 mm hasta 350 mm de diámetro.

- d. **Tubo o tubería:** Conducto prefabricado, o construido en sitio, de concreto, concreto reforzado, plástico, poliuretano de alta densidad, asbesto-cemento, hierro fundido, gres vitrificado, PVC, plástico con refuerzo de fibra de vidrio, u otro material cuya tecnología y proceso de fabricación cumplan con las normas técnicas correspondientes. Por lo general su sección es circular.

- e. **Ventanas:** son excavaciones de áreas rectangulares que sirven de entrada y salida de la tubería nueva en el proceso constructivo del Pipe Bursting.

- f. **Resina:** Sustancia orgánica de consistencia pastosa y pegajosa, que se solidifica en contacto con el aire; es de origen vegetal o se obtiene artificialmente mediante reacciones de polimerización
- g. **Fragmentación:** Acción del Pipe Bursting que consisten romper o fracturar la tubería antigua durante la instalación de la nueva.

- h. **Tecnologías sin zanja:** Conjunto de métodos de rehabilitación de redes en los cuales no se hace el uso de excavaciones o movimiento de tierras masivas.

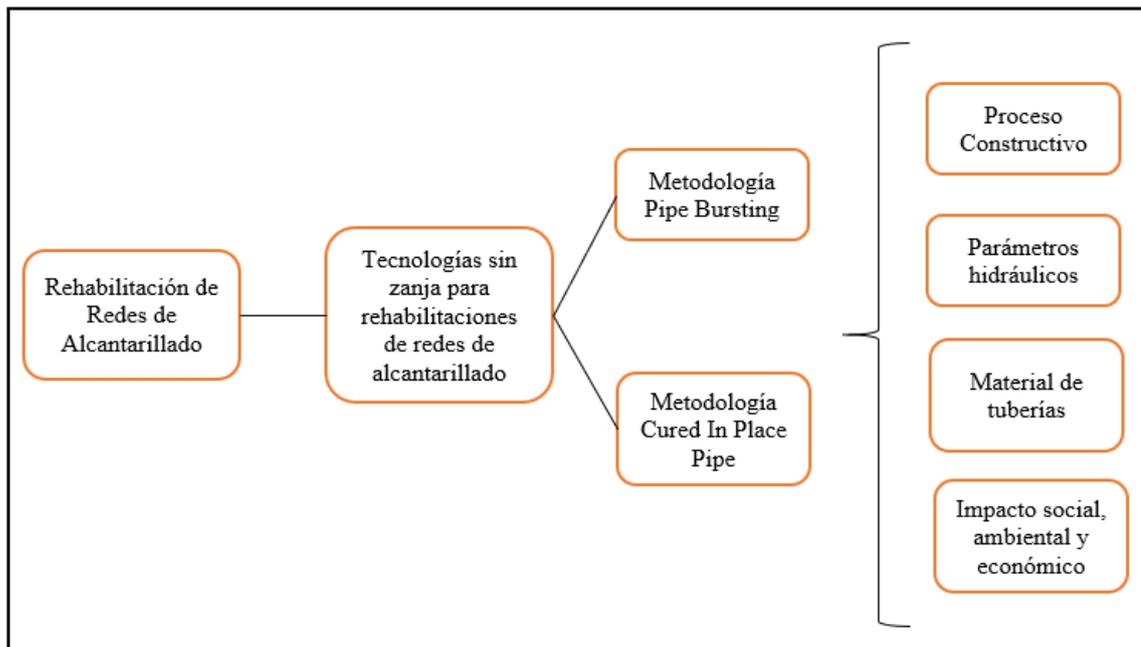
- i. **Tramo:** Red de alcantarillado que está comprendida entre los buzones aguas arriba hasta el buzón aguas abajo.

2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis

A continuación, se presenta gráficamente como se aprecia en la figura 17 los fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis.

Figura 17

Fundamentos Teóricos que Sustentan las Hipótesis



Fuente Elaboración Propia

2.6. Hipótesis

2.6.1. Hipótesis General

Al realizar la comparación de los métodos constructivos sin zanja en rehabilitaciones de redes de alcantarillado se determina que el método Pipe Bursting tiene un mayor impacto ambiental y social que el método Cured In Place.

2.6.2. Hipótesis Específicas

- Al describir los procesos constructivos Pipe Bursting y Cured in Place podemos conocer las ventajas y desventajas de ambos.
- No habrá cambios hidráulicos significativos en las redes de alcantarillado luego de la rehabilitación por los métodos Pipe Bursting y Cured In Place Pipe.

c. Al elaborar la matriz cuantitativa se podrá encontrar las diferencias y semejanzas entre los métodos constructivos de las tecnologías Pipe Bursting y Cured In Place Pipe.

2.7. Variables

2.7.1. Variable independiente

La variable independiente en nuestra investigación son las redes de alcantarillado ya que las redes serán analizadas para la aplicación de las tecnologías sin zanja en las que se estudiaran su proceso constructivo durante su ejecución y como estas se comportan luego de su rehabilitación.

2.7.2. Variable dependiente

Las tecnologías sin zanja serán nuestras variables dependientes ya que al aplicar una u otra en las redes de alcantarillado se medirá el impacto que están generan en su proceso constructivo y su comportamiento durante y después de la rehabilitación.

2.7.3. Operacionalización de variables

Se muestra la tabla de operacionalización de variables en la tabla 1

Capítulo III: Marco metodológico

3.1. Tipo y método de investigación

El tipo de investigación de la presente tesis es básica, ya que a través de diferentes fuentes sustentaremos nuestra investigación, con una metodología cualitativa de alcance descriptivo debido a que se describirán los métodos constructivos de dos tecnologías sin zanja (Pipe Bursting y Cured In Place Pipe) y se hará un análisis comparativo de estas, por otro lado, se evaluarán los aspectos teóricos de las propiedades hidráulicas de las redes de alcantarillado de ambas tecnologías.

La investigación desarrollada será no experimental debido a que en el área geográfica no se harán pruebas ni trabajos de rehabilitación de redes de alcantarillado con estos tipos de tecnologías sin zanja, además el método Cured In Place Pipe aún no ha sido aplicada en el Perú.

3.2. Población de estudio

De la base de datos utilizada en la presente tesis fue otorgada por la Gerencia del Servicio Sur – SEDAPAL, sede Surquillo.

Se obtuvo la población de estudio, las cuales son aquellas redes secundarias de alcantarillado que se encuentran dentro de la cuadrante delimitada por la avenida Los Próceres (lado este), los jirones Alcides Vigo (lado norte), Caballeros de la Ley y Lino Mendoza (lado este) y la calle Luis Dextre (lado sur) en la urbanización Honor y Lealtad en el distrito de Santiago de Surco como se muestra delimitado en la figura 18.

En el anexo 3 se muestra el plano de las redes secundarias de alcantarillado de toda la zona de estudio de la cual se tiene una población de estudio de 93 tramos en total.

Malo. La tubería se encuentra en mal estado cuando la tubería presenta daños estructurales graves por el tiempo de vida útil excedida de la red, se caracteriza por presentar forados, grietas, desgaste en las paredes internas de la tubería y roturas internas que alteran el comportamiento hidráulico de la red.

De los 93 tramos, existen 47 tramos clasificadas como tuberías de estado regular y malo las cuales serán la muestra de estudio en la presente tesis, la lista de tramos estudiados se muestra en la tabla 5, en la cual se muestran 41 tramos de red en estado regular y 6 tramos en mal estado.

Tabla 5

Ubicación de los Tramos de las Redes de Alcantarillado de la Muestra

N°	DIRECCIÓN	URBANIZACIÓN	ESTADO
1	CA VIGO H, ALCIDES 0 D7 29	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
2	JR VIGO HURTADO, ALCIDES 0 F1 41	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
3	JR VIGO HURTADO, ALCIDES 0 G1 02	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
4	JR LOS DETECTIVES 216	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
5	JR LOS DETECTIVES F1 37	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
6	CA MENDOZA BEDOYA, LINO 0 T1 05	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
7	PJ QUINTANILLA F2 11	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
8	FIGUEROA PEÑA F3 17	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
9	PS AQUIJE M, PERCY 0 F4 28	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
10	CA MENDOZA BEDOYA, LINO 0 T1 23	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
11	CA DETECTIVES, LOS 0 F1 27	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
12	CA TUMBA ORTEGA, MANUEL 0 F4 06	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
13	CA TUMBA ORTEGA, MANUEL 0 G2 54	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
14	PS AQUIJE M, PERCY 0 F3 15	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
15	CA PAREJA Q, VICTOR 0 G1 24	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
16	CA MENDOZA BEDOYA, LINO 0 V1 18	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
17	CA PAREJA Q, VICTOR 0 G1 31	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
18	CA DEXTRE ECHAIZ, LUIS 0 W 08	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
19	CA KETIN VIDAL, ANTONIO 0 E4 12	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
20	CA KETIN VIDAL, ANTONIO 0 E4 12	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
20	CA KETIN VIDAL, ANTONIO 0 E4 06	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
21	PS ZEVALLOS P, DANIEL 0 E4 22	HONOR Y LEALTAD	REGULAR

22	PS ZEVALLOS P, DANIEL 0 E4 17	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
23	CA KETIN VIDAL, ANTONIO 0 E3 23	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
24	CA KETIN VIDAL, ANTONIO 0 E3 23	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
24	CA PENZA V, JOSE 0 N 16	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
25	CA PENZA V, JOSE 0 T 42	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
26	CA GUIA GONZALES, N 0 U 29	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
27	JR PENZA VENTOCILLA, JOSE 0 D 21	A.H VIÑEDOS, LOS	MALO
28	CA TUMBA ORTEGA, MANUEL 0 G2 36	HONOR Y LEALTAD	MALO
29	PS MANYARI, FLORES PEDRO 0 M1 24	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
30	PS QUEVEDO C, JAIME 0 M 13	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
31	PS CHAVEZ AGUIRRE, JUAN 0 U 05	HONOR Y LEALTAD	MALO
32	PS SANZIO, RAFAEL 0 E 25	A.H VIÑEDOS, LOS	MALO
33	CA BOTTICELLI, SANDRO 0 E 14	A.H VIÑEDOS, LOS	REGULAR
34	CA BOTTICELLI, SANDRO 0 E 04	A.H VIÑEDOS, LOS	MALO
35	PR GUARDIA CIVIL 0 B 08	A.H VIÑEDOS, LOS	REGULAR
36	PS SANZIO, RAFAEL 0 E 30	A.H VIÑEDOS, LOS	MALO
37	PS SANZIO, RAFAEL 0 E 42	A.H VIÑEDOS, LOS	REGULAR
38	CA VIGO H, ALCIDES 0 G1 44	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
39	AV PROCERES, LOS 0 G1 40	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
40	PS ZEVALLOS P, DANIEL 0 H 05	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
41	PS ZEVALLOS P, DANIEL 0 H 05	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
42	PS BAZALAR MONTES, CESAR 0 K 22	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
43	CA TELLO ROJAS, FELIX 0 K 01	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
44	PS CHAVEZ AGUIRRE, JUAN 0 U 16	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
45	PS CABEZAS M, VICTOR 0 U1 07	HONOR Y LEALTAD	REGULAR
46	PS LOTTO, LORENZO 0 F 21	A.H VIÑEDOS, LOS	REGULAR
47	PS LOTTO, LORENZO 0 G 06	A.H VIÑEDOS, LOS	REGULAR

Fuente: Acciona Agua contratista de la Gerencia Sur de Sedapal.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la presente investigación nuestra recolección de datos del sistema de redes secundarias de alcantarillado se dará mediante:

Encuestas. Se realizarán encuestas de forma virtual mediante la página Google form y se enviarán por medios virtuales a los Ingenieros especialistas en materia

que nos proporcionen su apreciación y experiencia en los métodos sin zanja Pipe Bursting y Cured In Place Pipe.

Uso de archivos digitales de video. Mediante los videos de inspección televisiva se determinan ciertas propiedades hidráulicas de la red de alcantarillado, además de verificar el estado de deterioro de las tuberías.

Recopilación de documentos. Se hará una recopilación documentaria física y en su mayoría digital de temas afines a la investigación la cual será el sustento teórico de la presente tesis. Esto implica también la recopilación de datos de las redes de alcantarillado en el área de estudio en las entidades correspondientes.

Uso de software. Se utilizará el programa IBM SPSS Estatistics 25 es un software estadístico informático, este software nos ayudara en la investigación mediante análisis de los datos obtenidos de las metodologías sin zanja Pipe Bursting y Cured In Place Pipe. También se utilizará el programa AutoCad para la lectura de los planos de las redes de alcantarillado de la cuadrante limitada.

La valides de los instrumentos de medición se hará mediante las teorías y la información de la documentación recopiladas, las cuales han sido demostradas y aplicadas y que utilizaremos para nuestros fines. Utilizaremos

En cuanto a la confiabilidad de las encuestas se usará el Alfa de Cronbach descrita en la ecuación 14, el cual nos indicará el rango de confiabilidad que se encuentra las encuestas realizadas.

$$\alpha = \frac{K}{K - 1} \left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S_t^2} \right] \quad (14)$$

La interpretación de los valores obtenidos por el Alfa de Cronbach se muestra a continuación en la tabla 6.

Tabla 6

Interpretación del Coeficiente de Cronbach

Rango	Confiabilidad
0.9 a 0.95	Excelente
Mayor a 0.8	Bueno
Mayor a 0.7	Aceptable
Mayor a 0.6	Cuestionable
Mayor a 0.5	Pobre
Menos a 0.5	Inaceptable

Fuente: (Dolores Frías, 2020)

3.5. Descripción de procedimientos de análisis

Se realizarán las entrevistas con los ingenieros especialista del tema abarcado en la presente tesis, para ello se realizará una encuesta que ellos responderán por los medios digitales y de dichas encuestas se obtendrá una comparación entre las tecnologías sin zanja estudiadas de los aspectos sociales, económicos y ambientales.

De la recopilación de datos tesis, artículos, entrevistas, libros, etc. se dará sustento teórico a la tesis como también se determinará los procesos constructivos de las tecnologías sin zanja estudiadas en la presente tesis, además se recopilará información de los parámetros hidráulicos de las redes existentes en el área de estudio.

El uso del programa AutoCad se hará para la obtención de información topográfica y de distribución de las redes de alcantarillado en la población de estudio.

Para la valides de la encuesta realizada a los ingenieros especialistas se usará el Alfa de Cronbach, al interpretar los datos de las 63 preguntas realizadas en la encuesta sobre las tecnologías sin zanja Pipe Bursting y Cured In Place Pipe, el resultado del Alfa de Cronbach nos dio un valor de 0.972, este valor supera el

rango de 0.90 a 0.95 de la Tabla 6, la interpretación del resultado de la confiabilidad de la encuesta es Excelente como se puede apreciar en la Figura 19.

Figura 19

Valor de Alfa de Cronbach

Estadísticos de fiabilidad		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en los elementos tipificados	N de elementos
,972	,959	61

Fuente: IBM SPSS Statistics

Los videos de inspección televisiva se obtendrán de la entidad competente y con esta información digital se podrá determinar el tirante del caudal existente y se visualizara el estado del material existente además de determinar el material de las tuberías que se encuentran en la población de estudio. La obtención de estos datos más la información recopilada se podrá obtener los valores de los parámetros hidráulicos que rigen en la tubería existente y nos permitirá predecir el comportamiento hidráulico de la red luego de la rehabilitación con las tecnologías estudiadas.

Se procederá a utilizar el software IBM Statistics 25 para tener los datos estadísticos de las respuestas obtenidas en las encuestas realizadas por los especialistas, estos datos con ayuda del software nos ayudaran para poder sacar resultados estadísticos, también nos ayudara a comparar mediante un análisis estadístico de las propiedades hidráulicas que se han obtenido de los métodos sin zanja Pipe Bursting y Cured In Place Pipe.

Capítulo IV: Resultados y análisis de resultados de la investigación

4.1. Resultados

4.1.1. Proceso constructivo de la tecnología Pipe Bursting

Señalización del área de trabajo.

La zona de trabajo deberá estar debidamente señalizada utilizando los siguientes elementos de señalización:

- ✓ Cachaco o parantes
- ✓ Cintas de señalización
- ✓ Mallas de PVC
- ✓ Machones
- ✓ Letreros de señalización

Los cachacos, mallas y cintas serán utilizados para señalar zonas o áreas restringidas para los peatones y vehículos que transitan cerca. Se utilizan generalmente para cercar zanjas, veredas rotas, agregados puestos en obras, desmonte, etc. Los machones y letreros se utilizarán para indicar a los transeúntes y vehículos el cierre de calles, desvíos de avenidas, áreas peligrosas, etc.

En todo momento las zonas de trabajo deben estar señalizadas dándole siempre el espacio a los transeúntes y que estos puedan desplazarse con seguridad ya que los trabajos son realizados en áreas públicas.

Trazo y replanteo.

Los trazos se realizarán en donde habrá excavaciones como las ventanas de ingreso y salida de la tubería que comprende un área de aproximadamente ocho metros cuadrados por cada ventana y en las conexiones domiciliarias donde se hará el empalme de las acometidas a la red de alcantarillado rehabilitada. Generalmente el trazo se realiza sobre el pavimento o superficie de rodadura de la calle o avenida.

Corte. Luego del trazo se procede a cortar con la ayuda de una cortadora en las ventanas marcadas en el buzón aguas abajo y el buzón aguas arriba y el pavimento marcado donde se instalará la tubería de la conexión domiciliaria. Además, se cortarán las veredas siguiendo el trazo de las bruñas que delimitan cada paño y en donde se encuentra la caja de registro del predio dentro de este.

En algunos casos no existe ningún tipo de pavimento sobre la subrasante y solo se encuentra la superficie con terreno natural, para ese tipo de caso no se tiene que hacer ningún corte y solo se hace el corte en la vereda sí que esta también existiera.

Rotura. Luego del corte se procede con la rotura del pavimento y la vereda, para realizar dicha rotura se hace con los siguientes equipos:

- ✓ Martillo neumático (con compresora), utilizado normalmente en sobre pavimento mixto o solo de concreto.
- ✓ Martillo eléctrico (con grupo electrógeno), utilizado normalmente para veredas y pavimento de asfalto.

El desmonte que se genera será acumulado a un metro del aérea de trabajo de ser posible, ya que en ciertas zonas el espacio es muy estrecho por lo que el desmonte se coloca casi al borde de la zona de trabajo.

Excavación. Se procede a remover y extraer el suelo con retroexcavadora hasta la profundidad donde se encuentra la red colectora en las ventanas y se hace la misma acción en las conexiones domiciliarias teniendo presente las interferencias debajo de la superficie que existen como son las redes de agua, luz, gas y de comunicaciones las cuales pueden ser dañadas por la acción de la maquinaria. Es por ello por lo que las excavaciones se deben hacer con sumo cuidado y siempre con trabajadores capacitados tanto para manejar la maquinaria como para el trabajador que la guía. La excavación se debe realizar también en las conexiones domiciliarias de desagüe, como se aprecia en la

figura 20. El desmote generado deberá ser colocado a un metro de la zanja sobre el desmote generado por la rotura mientras que el material de relleno que se extrae debe ser colocado hacia el otro lado de la zanja ya que este volverá a ser utilizado cuando se tenga que tapar la zanja.

Figura 20

Excavacion de conexión domiciliaria de desagüe con miniexcavador



Fuente: Elaboración Propia

Termofusión.

Se realiza en paralelo, mientras se realiza el corte, la rotura y la excavación. La termofusión o también llamada soldadura se hace con el equipo de termofusión mediante los siguientes pasos:

Se coloca la tubería sobre la base alineadora de acción hidráulica y se ajustan las tuberías mediante mordazas, estas mordazas son regulables de acuerdo con el tamaño de tubería que se debe soldar. Mediante la acción hidráulica las tuberías se juntan y se alinean una de la otra evitando cualquier desfase en la pega.

Luego de su alineación se procede con el fresado de tubería. La cual pulirá ambos extremos para que la tubería quede con un acabado perpendicular, con la ayuda de la base alineadora se juntan las tuberías al plato fresador y se procede a pulir ambos extremos de la tubería. Cuando se culmina la acción se retira el material residual de las tuberías y se limpian ambos extremos evitando que quede algún residuo en estos, se hace uso del alcohol para la limpieza de la tubería ya que este no deja rastro cuando se seca a diferencia de que si se usara agua.

Se retira el plato fresador y a continuación se coloca el plato calefactor, el cual se colocará a manera de presentación para verificar que las tuberías estén correctamente alineadas y que los extremos de las tuberías queden totalmente perpendicular al plato, de no lograrse ello se vuelve a fresar la tubería hasta lograrse la perpendicularidad deseada. Cuando todo quede alineado y listo para la soldadura, se programa el equipo de termofusión, indicándole el material que se debe soldar, el diámetro de la tubería y el espesor de la tubería para que la maquina caliente el plato calefactor a una temperatura optima, se espera unos minutos hasta que la maquina alcance dicha temperatura, se procede a colocar el plato calefactor entre ambos extremos de la tubería y con la ayuda de la base alineadora se juntan las tuberías las cuales ejercen presión sobre el plato calefactor, el equipo avisara al operador que la tubería esta lista para soldarse, por lo cual se retira el plato calefactor y las tuberías se juntan hidráulicamente una con la otra ejerciéndose presión por unos minutos hasta que la tubería quede totalmente soldada.

Instalación del equipo Pipe Bursting.

El equipo de Pipe Bursting es trasladado con un camión grúa hasta las ventanas del buzón aguas arriba. Una vez ubicado al costado de la ventana se procede a bajar los equipos del Pipe Bursting con ayuda de la grúa.

Figura 21

Izaje de Equipo Pipe Bursting



Fuente: (Luna Escalante & Gonzales Mendoza, 2018)

El equipo de Pipe Bursting será izado y colocado dentro de la zanja como se aprecia en la figura 21, la cual deberá estar nivelada dentro de la zanja, la maquina se colocará frente a boca de la tubería y alineada con la red, la compresora se quedará en la superficie y se conectará mediante mangueras de alta presión al equipo de Pipe Bursting. Luego se colocará el plato de tope delante del equipo Pipe Bursting, el cual evitará que el equipo de hunda en la pared de la zanja.

Rehabilitación de la red de alcantarillado. En este caso describiéremos el proceso constructivo del método Pipe Bursting Estático, el cual tiene mucha similitud con el método dinámico con la única diferencia que en el topo se encuentra un sistema neumático el cual permitirá fragmentar (romper) la tubería. Se procederá a describir el proceso constructivo.

El equipo de Pipe Bursting introducirá las varillas mediante acción neumática las varillas dentro de la red. Para ello se colocará y anclarán las barras una después de la otra mientras se va introduciendo en la tubería hasta llegar a la ventana que se encuentra en el buzón aguas abajo.

Se instalará el topo o bala delante de la tubería ya soldada y se anclará a esta, luego se procede a mover la tubería con la ayuda de la retroexcavadora hacia el interior de la ventana, ubicada en el buzón aguas abajo, para conectar y anclar el topo con la varilla. La tubería podrá estar tendida desde la ventana hacia aguas abajo y sobre la superficie o apoyada sobre rodillos de apoyo para que la fricción no la dañe.

Se iniciará la rehabilitación de la red de alcantarillado con el equipo de Pipe Bursting jalando mediante las barras de acero el topo, el cual este a su vez jalará e introducirá la tubería HDPE dentro de la tubería existente como se aprecia en la figura 22. El topo fragmentará la tubería existente mientras se vaya desplazando por el interior de ella hasta salir por la ventana ubicada aguas arriba.

Luego de insertada la tubería dentro de la red existente, esta no queda exactamente pegada hacia el buzón por lo que se necesita soldar trozos de tuberías para llegar a la longitud exacta desde el buzón aguas arriba hacia el buzón aguas abajo, para ello se utiliza un equipo de termofusión pequeño para realizar las pegadas dentro de la zanja, este equipo de termofusión cuenta con el plato calefactor y un plato fresador. Se corta un pedazo de tubería HDPE igual a la longitud que se necesita para que la red empalme con el buzón aguas arriba y se corta otro pedazo de tubería HDPE para el empalme de la red con el buzón aguas abajo (en caso la tubería no haya quedado ya empalmada en el proceso de la fragmentación).

Figura 22

Rehabilitación de Redes de Alcantarillado Pipe



Fuente: Imagen Propia

Empalmada la red al buzón aguas abajo y aguas arriba se hace el anclaje de la tubería con el buzón con una mezcla de concreto de 175 cm²/kg. Se debe tener en cuenta que la tubería deberá quedar con la parte inferior al ras de la media caña sin generar peldaños que puedan generar estancamientos en la media caña y posteriores obstrucciones permitiendo así un flujo continuo de las aguas servidas.

Instalación de conexiones domiciliarias de desagüe. Luego de la rehabilitación de la red se procede a empalmar las acometidas con la red de alcantarillado para lo cual se realiza con los siguientes pasos:

- ✓ Se instala una abrazadera en el punto de la red donde va a descargar las aguas servidas del predio, se marca y perfora un agujero en la tubería HDPE y se instala la abrazadera.
- ✓ Luego se coloca un codo de PVC de 45° o 90° en la abrazadera con un anillo de jebe que impermeabiliza cualquier filtración desde el predio hasta la red.
- ✓ Luego de colocado el codo se instala una tubería de PVC del codo hasta la caja de registro del predio.
- ✓ Se hace la instalación de la caja de registro la cual está compuesta por una base, intermedias, un marco y una tapa.
- ✓ Se hace el anclaje de la tubería con la caja de registro con una mezcla de concreto de 175 cm²/kg.
- ✓ Por último, se resana la vereda con concreto de 175 cm²/kg.

Relleno y compactación. Instalada la tubería y las acometidas, se procede a tapar la zanja y para ello se utiliza confitillo como material de apoyo de tubería y relleno hasta la clave de la tubería, esto se hace ya que en caso haya una filtración el confitillo ayuda a que el agua filtre y el suelo no se asiente. Luego se rellena con material selecto un espesor de 30 cm sobre la clave de la tubería y se rellena con el mismo material extraído de la zanja por un espesor de 50 cm y se compacta el suelo y así cada 50 cm hasta llegar al nivel de la sub-base del pavimento.

Luego se compacta con material de afirmado un espesor de 10 a 15 cm hasta alcanzar el nivel inferior del pavimento. Esto se realiza tanto en las ventanas excavadas como en las conexiones empalmadas.

Reposición de pavimento. En caso la superficie de rodadura cuente con pavimento se hará la reposición de pavimento utilizando los siguientes equipos:

- ✓ Rodillo compactador
- ✓ Plancha compactadora

Eliminación de desmonte. El material excedente que se aprecia en la figura 23, se genera por las excavaciones y la rotura de las veredas pavimento y otros, deberán ser eliminados del área de trabajo y se deberá hacer la limpieza por los residuos generados

Figura 23

Desmosnte generado por excavaciones



Fuente: Elaboración Propia

4.1.2. Proceso constructivo de la tecnología Cured In Place Pipe Señalización del área de trabajo.

Se señalizará todos los puntos de accesos a los pozos y se realizará la apertura de los pozos en los tramos donde se realizará la rehabilitación.

Limpieza de redes de alcantarillado.

Este proceso constructivo de la Metodología CIPP inicia con una limpieza en la red o tramo al cual se realizará la rehabilitación, esta se ejecutará con el equipo hidrojet que debido a la alta presión de agua que ejerce, estos removerán sedimentos u obstrucciones en las paredes de la tubería. Esto evidenciaría los problemas que presenta la red de alcantarillado.

Inspección Televisa.

Luego de la limpieza de red, se realiza una inspección televisa a color con equipos de acuerdo con el diámetro de la tubería y debe de ser manejado por personal técnico capacitado, esta inspección será en todo el tramo de la tubería que se realizará la rehabilitación, los resultados nos mostraran el estado de la tubería y si presenta alguna obstrucción, grieta o filtración que pueda mermar las propiedades hidráulicas de la red. Los datos recolectados nos servirán para una mejor ejecución de la rehabilitación en el tramo de la red de alcantarilla.

Resina.

Ya realizando las actividades anteriores, se procederá a la mezcla del compuesto de resinas in situ de acuerdo con cantidad y proporción requerida, estas proporciones serán dependiendo del material de la tubería existente. Esta resina debe de estar a temperatura ambiente.

Los tipos de resina que se utilizan en el Cured In Place Pipe son epoxi, poliéster y viniléster, siendo el epoxi mayormente utilizado para este método. Hay que considerar que el tiempo de manipulación de la resina influye en el tiempo de curado, a mayor tiempo en la manipulación de la resina de igual manera será para el tiempo de curado de la resina.

El cálculo del nuevo diámetro o espesor de la tubería de alcantarillado se da por la cantidad de resina y la manga o liner que se utilizaran por los problemas estructurales de la tubería a rehabilitar, se debe de tener en cuenta la profundidad de la red, nivel freático y tipo de terreno.

Instalación. Existen dos maneras de instalar la manga en la tubería de alcantarillado existente, una es más eficaz que la otra debido al control y desperdicio de la resina en el proceso de cada una de ellas:

El primer método de instalación es mediante arrastre/empuje, la cara de la manga o liner necesitara de guías para que sea introducida al interior de la alcantarilla y en algunos casos es necesario un cabestrante, esto hace que la resina pueda que sea arrastrada en las paredes internas de la tubería. Este método no es el ideal ya que puede traer consecuencias al momento del curado debido a que se quedó resina en alguna parte de la tubería y puede producir defectos en la ovalidad de la tubería. Este método de instalación se aplica cuando no se puede realizar el método de inversión de la manga.

El segundo método de instalación es la inversión de la manga, este es el óptimo de los dos, debido a que no se desperdicia o se queda en algún lugar de la tubería del alcantarillado la resina. Luego debemos de generar un vacío dentro del liner para asegurar una correcta impregnación de la resina, para esto se debe conocer la geometría de la tubería para que el liner sea instalado de manera adecuada.

Saturación al vacío de la manga. Después de saturar a vacío la manga, se procederá a hacer el vaciado de la resina al interior del liner, esto se hará manualmente con mucho cuidado de derramar la resina. Anteriormente se saturo a vacío la manga porque cuando ingresa la resina esta se desplace completamente por toda la manga

Impregnación de resina en la manga. Ya con la resina vaciada en la manga, impregnaremos la resina mediante una mesa de impregnación, esta mesa tiene rodillos a presión calibrados con el grosor adecuado para que se introduzca una cantidad controlada de resina en la manga su función esparcir toda la resina de manera equitativa por toda el liner y dejándola lista para su posterior

introducción en el tambor inversor donde se usará ya para su instalación en la tubería.

Inserción de manga en red de alcantarillado. Ya con la manga en el tambor inversor, se procede a instalar la manga en la tubería a rehabilitar con el metro de Inversión o Pull-In que son procedimientos de extracción e inflado. Se colocará la boquilla del tambor junto a la red o se puede dar el caso que tenga una conexión que ayude a conectar el tambor a la red.

Esta se asegurará con una abrazadera y se comenzará con el revestimiento de la tubería que se quiere rehabilitar, esto debe ser con una presión constante para que la manga o liner pueda tener esa reacción de inflado en la tubería.

Curado. Ya luego de la instalación de la manga en la tubería seguiremos con el curado de la manga, como sabemos esta metodología se puede realizar mediante tres opciones:

- Curado por agua caliente es la más versátil para cualquier sección, diámetro y longitud, y está especialmente indicada para tuberías con problemas de infiltraciones. Para este tipo de curado se usa un calefactor de agua como el equipo Trelleborg HWB 90 el cual se aprecia en la figura 24 el cual vierte el agua caliente en el interior de la manga hasta saturar el interior de la manga.

Figura 24

Calefactor de Agua CIPP



Fuente: (Trelleborg, s.f.)

- El curado por medio de vapor de agua es el más adecuado para longitudes y diámetros medios los cuales son los mayormente instalados en nuestro sistema de alcantarillado. Para este tipo de curado se usa un equipo de generador de vapor como el equipo Trelleborg Steam Gen 200-800 el cual se aprecia en la figura 25, este equipo genera vapor y lo introduce dentro de la manga para su curado.

Figura 25

Generador de Vapor CIPP



Fuente: (Trelleborg, s.f.)

Curado por rayos ultravioleta UV. es el más adecuado para diámetros y longitudes cortas, con tiempos de instalación y curado muy reducidos, porque el curado de la resina es directamente proporcional a la longitud de la manga. Para este tipo de curados se usan equipos robotizados como se aprecia en la figura 26 que ingresan al interior de la tubería y mediante los rayos UV que emite el equipo la resina se ira curando, el equipo cuenta con ruedas que le permite la movilidad por todo interior de la tubería.

Figura 26

Equipo de Rayos UV



Fuente: (Insituform, 2020)

Con estas tres opciones hacen que la resina se endurezca en toda la manga haciendo que esta sea sólida y forme una capa que dentro de la tubería donde ha sido instalada. Todas estas formas de curado deben mantener una temperatura constante y alta para que se pueda formar la capa, también deben ser monitoreados por personal técnico e ingenieros capacitados en esta metodología ya que todas las opciones son computarizadas.

Enfriamiento del proceso de Curado. Después del curado de la se empieza con el enfriamiento de la tubería rehabilitada, esta debe tener de igual manera una temperatura constante pero menor a la del curado. Esta actividad también es monitoreada por el equipo de ingeniero y técnicos capacitados.

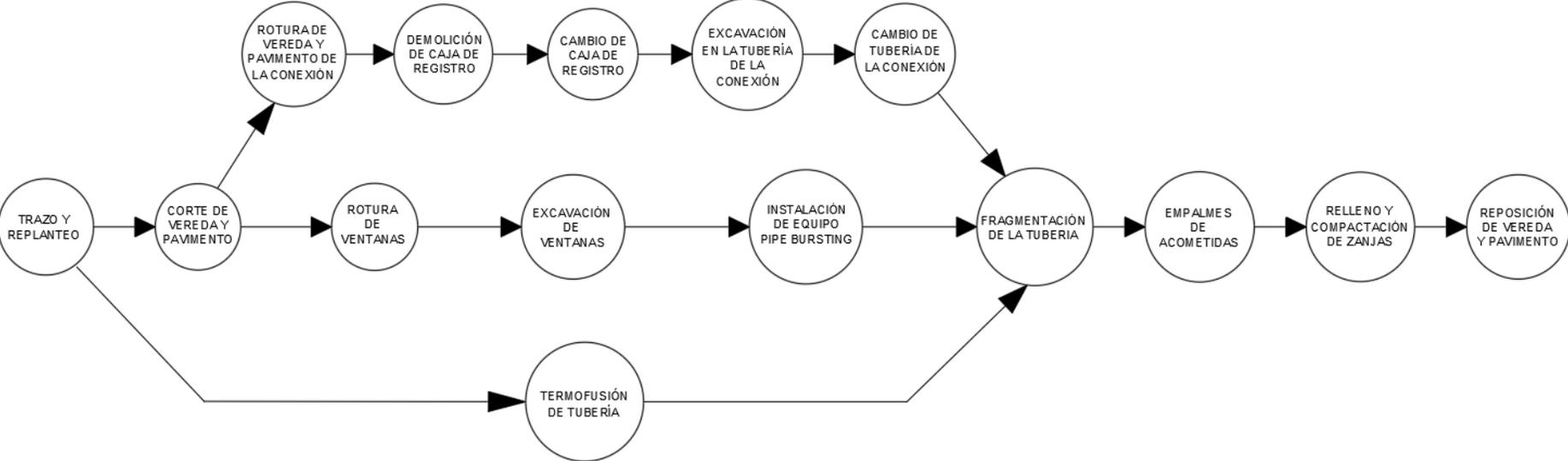
Después del enfriamiento de la tubería rehabilitada, se procederá a desinstalar los accesorios de los equipos que fueron empleados para la rehabilitación y se cortara las puntas del liner o manga para su apertura.

Inserción de robot fresador. Ya por último y para concluir con la rehabilitación por metodología CIPP, se colocará en el tramo rehabilitado un robot fresado que apertura la descarga de las conexiones domiciliarias de desagüe. Y se finalizara con una última inspección televisa, verificando como quedo la tubería.

Gráficamente se representan el proceso constructivo de las tecnologías Pipe Bursting y Cured In Place Pipe en la figura 27 y la figura 28 que describen las actividades que se desarrollan para la rehabilitación de una red de alcantarillado

Figura 27

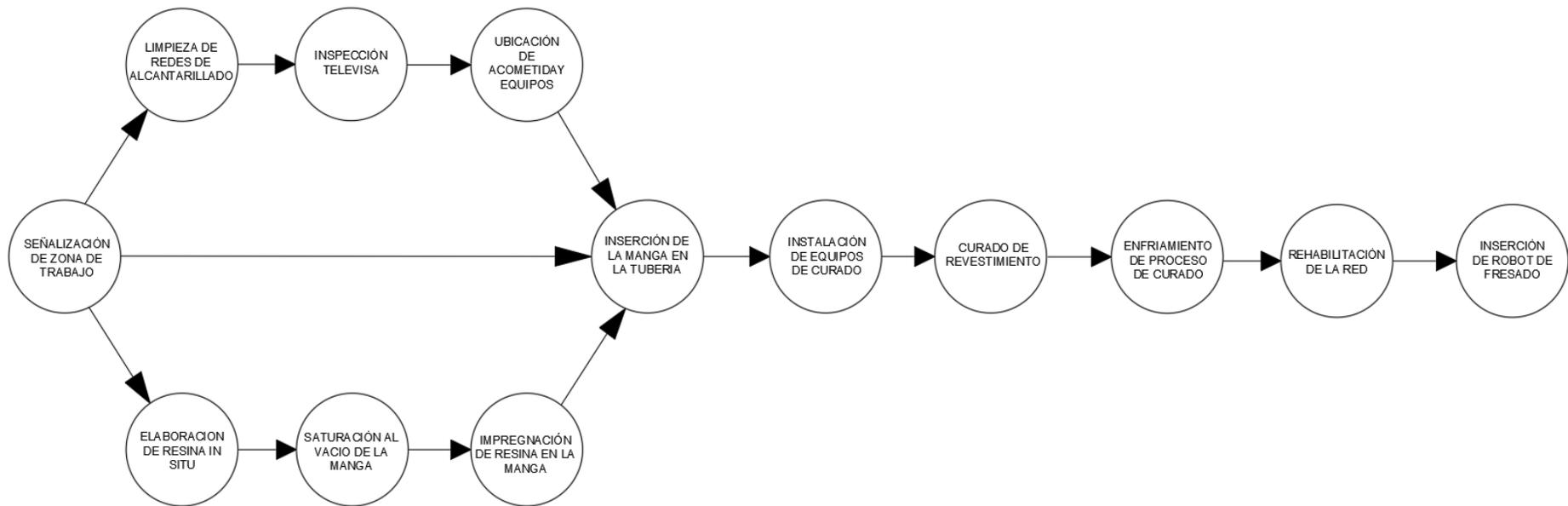
Diagrama del Proceso Constructivo de la Tecnología Pipe Bursting



Fuente: Elaboración Propia

Figura 28

Diagrama del Proceso Constructivo de la Tecnología Cured In Place Pipe



Fuente: Elaboración propia

Los diagramas nos permiten tener mayor noción visual de cuál es el proceso constructivo de ambas tecnologías.

4.1.3. Análisis Teórico de las variables hidráulicas de las tecnologías sin Zanja

Mediante los videos de inspección televisiva realizados por la empresa que nos brindó la información, se pudo extraer para el cálculo hidráulico, el tirante del flujo de las redes de nuestra población muestral.

Para calcular el tirante se hará una relación del tirante (y) y diámetro (D) como se muestra en la figura 29 sin escala y según observación de los testistas por el video de inspección televisiva.

Figura 29

Video de Inspección Televisiva en Red de Alcantarillado



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7 se muestra la relación y/D de cada tramo analizado según el video de inspección televisiva, este valor al ser multiplicado por el diámetro resulta en el tirante de las aguas residuales, este parámetro dará paso para el cálculo de las propiedades hidráulicas de la red.

Tabla 7**Cálculo del Tirante de los Tramos de Alcantarillado**

Nº	DIÁMETRO (mm)	y/D	TIRANTE (m)
1	200	0.093	0.019
2	200	0.176	0.035
3	200	0.122	0.024
4	200	0.094	0.019
5	200	0.158	0.032
6	200	0.140	0.028
7	200	0.089	0.018
8	200	0.146	0.029
9	200	0.104	0.021
10	200	0.172	0.034
11	200	0.120	0.024
12	200	0.170	0.034
13	200	0.137	0.027
14	200	0.138	0.028
15	200	0.199	0.040
16	200	0.137	0.027
17	200	0.186	0.037
18	200	0.163	0.033
19	200	0.090	0.018
20	200	0.100	0.020
20	200	0.130	0.026
21	200	0.130	0.026
22	200	0.050	0.010
23	200	0.080	0.016
24	200	0.090	0.018
24	200	0.238	0.048
25	200	0.143	0.029
26	200	0.130	0.026
27	200	0.250	0.050
28	200	0.240	0.048
29	200	0.294	0.059
30	200	0.269	0.054
31	200	0.250	0.050

32	200	0.150	0.030
33	200	0.220	0.044
34	200	0.230	0.046
35	200	0.230	0.046
36	200	0.250	0.050
37	200	0.150	0.030
38	250	0.340	0.085
39	315	0.280	0.088
40	200	0.060	0.012
41	200	0.070	0.014
42	200	0.190	0.038
43	200	0.110	0.022
44	200	0.300	0.060
45	200	0.180	0.036
46	200	0.200	0.040
47	200	0.150	0.030

Fuente: Elaboración propia

Con esta información y los parámetros de longitud, diámetro, material, estado, cotas de fondo de buzones inicial y final (buzón aguas arriba y buzón aguas abajo respectivamente) de las redes de alcantarillado que se muestran en la tabla 8 y luego se procederá a calcular los parámetros hidráulicos que caracterizan cada tramo de las redes de alcantarillado.

Tabla 8

Parámetros que Caracterizan los Tramos de las Redes de Alcantarillado

N°	LONGITUD (m)	DIÁMETRO (mm)	MATERIAL	ESTADO	COTA FONDO DE BUZONES (m)		TIRANTE (mm)
					INICIAL	FINAL	
1	106.20	200	CSN	REGULAR	67.67	66.71	18.532
2	43.60	200	CSN	REGULAR	67.43	67.19	35.187
3	67.00	200	CSN	REGULAR	66.95	66.35	24.394
4	65.00	200	CSN	REGULAR	66.35	65.03	18.718
5	94.00	200	CSN	REGULAR	66.95	66.22	31.550
6	57.20	200	CSN	REGULAR	65.70	65.11	28.000

7	97.60	200	CSN	REGULAR	66.22	64.97	17.753
8	79.40	200	CSN	REGULAR	65.43	64.97	29.141
9	54.00	200	CSN	REGULAR	65.05	64.52	20.832
10	55.00	200	CSN	REGULAR	64.49	63.77	34.336
11	80.40	200	PVC-CSN	REGULAR	65.43	64.52	23.984
12	53.60	200	CSN	REGULAR	64.10	63.55	34.000
13	54.00	200	CSN	REGULAR	64.10	63.98	27.408
14	54.00	200	CSN	REGULAR	65.05	64.47	27.625
15	49.00	200	CSN	REGULAR	64.97	64.47	39.749
16	63.00	200	CSN	REGULAR	63.96	63.28	27.383
17	42.00	200	CSN	REGULAR	64.10	63.98	37.195
18	108.70	200	CSN	REGULAR	63.28	59.96	32.574
19	40.00	200	CSN	REGULAR	66.71	66.22	18.000
20	43.00	200	CSN	REGULAR	66.22	65.43	20.000
20	43.00	200	CSN	REGULAR	65.53	64.70	26.000
21	45.00	200	CSN	REGULAR	66.02	64.99	26.000
22	45.50	200	CSN	REGULAR	67.25	66.02	10.000
23	50.00	200	CSN	REGULAR	67.33	67.10	16.000
24	42.00	200	CSN	REGULAR	67.10	66.33	18.000
24	55.80	200	CSN	REGULAR	63.04	62.10	47.609
25	41.40	200	CSN	REGULAR	65.42	63.46	28.689
26	30.40	200	CSN	REGULAR	61.66	61.33	26.000
27	77.80	200	CSN	MALO	62.10	61.78	50.000
28	45.00	200	CSN	MALO	63.55	63.19	48.000
29	70.00	200	CSN	REGULAR	63.97	63.21	58.826
30	29.00	200	CSN	REGULAR	64.37	63.97	53.703
31	63.50	200	CSN	MALO	62.82	62.16	50.000
32	63.40	200	CSN	MALO	61.59	61.10	30.000
33	69.00	200	CSN	REGULAR	60.18	59.56	44.000
34	46.00	200	CSN	MALO	59.56	58.59	46.000
35	61.80	200	CSN	REGULAR	62.49	61.95	46.000
36	68.20	200	CSN	MALO	61.12	60.61	50.000
37	68.50	200	CSN	REGULAR	60.61	58.86	30.000
38	70.50	250	CSN	REGULAR	65.02	64.34	85.000
39	60.20	315	CSN	REGULAR	64.34	63.44	88.200
40	40.20	200	CSN	REGULAR	64.99	64.12	12.000
41	39.80	200	CSN	REGULAR	64.12	63.52	14.000

42	40.10	200	CSN	REGULAR	65.55	64.86	38.000
43	44.10	200	CSN	REGULAR	65.81	65.55	22.000
44	64.20	200	CSN	REGULAR	63.72	61.46	60.000
45	64.20	200	CSN	REGULAR	63.88	63.23	36.000
46	73.00	200	CSN	REGULAR	61.20	60.68	40.000
47	74.00	200	CSN	REGULAR	60.68	58.99	30.000

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de las propiedades hidráulicas de la red existente se hace uso de las ecuaciones (1), (3), (5), (7) y (9) descritas en el marco teórico teniendo como resultado la tabla 9 donde se muestra el área (A), perímetro mojado (P), pendiente (S), radio hidráulico (R), caudal (Q), velocidad (V) y la tensión tractiva. En el caso del coeficiente de Manning (n) se tomará el valor 0.016 de la tabla 1 ya que las tuberías de concreto (CSN) se encuentran en malas condiciones. A continuación se muestran los datos obtenidos en la tabla 9.

Tabla 9

Parámetros Hidráulico de los Tramos Existentes

N°	P	A (m2)	P (m)	R (m)	n CSN (MALO)	Q (m3/s)	V (m/s)	TENSIÓN TRACTIVA
1	0.90%	0.0015	0.1237	0.0118	0.016	0.00045	0.3082	1.0571
2	0.55%	0.0037	0.1731	0.0215	0.016	0.00133	0.3584	1.1710
3	0.90%	0.0022	0.1427	0.0153	0.016	0.00080	0.3649	1.3583
4	2.03%	0.0015	0.1244	0.0119	0.016	0.00069	0.4650	2.3976
5	0.78%	0.0032	0.1634	0.0195	0.016	0.00127	0.3984	1.4956
6	1.03%	0.0027	0.1534	0.0174	0.016	0.00114	0.4267	1.7793
7	1.28%	0.0014	0.1210	0.0113	0.016	0.00049	0.3570	1.4376
8	0.58%	0.0028	0.1567	0.0181	0.016	0.00093	0.3278	1.0370
9	0.98%	0.0017	0.1314	0.0132	0.016	0.00060	0.3459	1.2828
10	1.31%	0.0036	0.1709	0.0210	0.016	0.00196	0.5446	2.7237
11	1.13%	0.0021	0.1414	0.0151	0.016	0.00087	0.4059	1.6897
12	1.03%	0.0035	0.1700	0.0208	0.016	0.00170	0.4793	2.1159
13	0.22%	0.0026	0.1517	0.0171	0.016	0.00051	0.1954	0.3758
14	1.07%	0.0026	0.1523	0.0172	0.016	0.00113	0.4318	1.8297
15	1.02%	0.0044	0.1848	0.0240	0.016	0.00233	0.5251	2.4224

16	1.08%	0.0026	0.1516	0.0171	0.016	0.00111	0.4305	1.8238
17	0.29%	0.0040	0.1784	0.0226	0.016	0.00108	0.2670	0.6391
18	3.05%	0.0033	0.1662	0.0200	0.016	0.00268	0.8057	6.0567
19	1.22%	0.0014	0.1219	0.0115	0.016	0.00049	0.3522	1.3933
20	1.84%	0.0016	0.1287	0.0127	0.016	0.00075	0.4612	2.3103
20	1.93%	0.0024	0.1475	0.0163	0.016	0.00134	0.5574	3.1078
21	2.29%	0.0024	0.1475	0.0163	0.016	0.00146	0.6070	3.6852
22	2.70%	0.0006	0.0902	0.0065	0.016	0.00021	0.3583	1.7420
23	0.46%	0.0012	0.1147	0.0103	0.016	0.00024	0.2002	0.4674
24	1.83%	0.0014	0.1219	0.0115	0.016	0.00060	0.4309	2.0852
24	1.68%	0.0057	0.2039	0.0281	0.016	0.00430	0.7500	4.6874
25	4.73%	0.0028	0.1554	0.0178	0.016	0.00257	0.9279	8.3527
26	1.09%	0.0024	0.1475	0.0163	0.016	0.00100	0.4180	1.7478
27	0.41%	0.0061	0.2094	0.0293	0.016	0.00234	0.3812	1.1939
28	0.80%	0.0058	0.2048	0.0283	0.016	0.00301	0.5193	2.2418
29	1.09%	0.0077	0.2293	0.0336	0.016	0.00523	0.6786	3.6147
30	1.38%	0.0068	0.2179	0.0312	0.016	0.00494	0.7269	4.2551
31	1.04%	0.0061	0.2094	0.0293	0.016	0.00372	0.6059	3.0170
32	0.77%	0.0030	0.1591	0.0186	0.016	0.00114	0.3854	1.4210
33	0.90%	0.0051	0.1953	0.0262	0.016	0.00268	0.5232	2.3340
34	2.11%	0.0055	0.2001	0.0273	0.016	0.00449	0.8225	5.6947
35	0.87%	0.0055	0.2001	0.0273	0.016	0.00289	0.5295	2.3597
36	0.75%	0.0061	0.2094	0.0293	0.016	0.00316	0.5140	2.1706
37	2.55%	0.0030	0.1591	0.0186	0.016	0.00207	0.7007	4.6973
38	0.96%	0.0147	0.3113	0.0473	0.016	0.01181	0.8026	4.5141
39	1.50%	0.0179	0.3513	0.0508	0.016	0.01874	1.0489	7.5246
40	2.16%	0.0008	0.0990	0.0078	0.016	0.00028	0.3608	1.6654
41	1.51%	0.0010	0.1071	0.0090	0.016	0.00032	0.3327	1.3469
42	1.72%	0.0042	0.1804	0.0230	0.016	0.00276	0.6638	3.9235
43	0.59%	0.0019	0.1352	0.0139	0.016	0.00052	0.2775	0.8114
44	3.52%	0.0079	0.2319	0.0342	0.016	0.00979	1.2352	11.9127
45	1.01%	0.0038	0.1753	0.0219	0.016	0.00190	0.4929	2.1989
46	0.71%	0.0045	0.1855	0.0241	0.016	0.00197	0.4403	1.7005
47	2.28%	0.0030	0.1591	0.0186	0.016	0.00196	0.6625	4.1991

Fuente: Elaboración propia

De manera similar se hará el cálculo de los parámetros hidráulicos si se realiza una rehabilitación de las redes con la tecnología Pipe Bursting teniendo en cuenta que cuando se utiliza este tipo de rehabilitación las topográfica de las redes de alcantarillado son invariables, es decir, no cambia la pendiente del tramo, además, el caudal de aporte a la red en el plazo inmediato tampoco varía por lo que estos dos parámetros se mantendrán constante.

En cuanto a ciertos a los valores del diámetro de la tubería, esta si variara ya que la tubería a utilizar para la rehabilitación es de PEAD y según la tabla 2, para tuberías de 200 mm tiene un diámetro interno de 184.60 mm, para tuberías de 250 mm se tiene un diámetro interno de 230.80 mm y para tuberías de 315 mm tiene un diámetro interno de 290.80 mm.

Con respecto al Manning a utilizar se tomará de la tabla 3 el dato de 0.009 para tuberías PEAD nuevas. De esta manera obtendremos los parámetros hidráulicos luego de la rehabilitación con la tecnología Pipe Bursting como se muestran en la tabla 10.

Tabla 10

Parámetros Hidráulicos de los Tramos Rehabilitados por el Pipe Bursting

N°	D-PEAD	A (m2)	P (m)	R (m)	V (m/s)	TENSIÓN TRACTIVA
1	184.60	0.0010	0.1045	0.0093	0.4657	0.8281
2	184.60	0.0025	0.1456	0.0169	0.5426	0.9201
3	184.60	0.0014	0.1204	0.0120	0.5516	1.0651
4	184.60	0.0010	0.1051	0.0094	0.7028	1.8796
5	184.60	0.0021	0.1375	0.0153	0.6028	1.1741
6	184.60	0.0018	0.1293	0.0137	0.6454	1.3963
7	184.60	0.0009	0.1023	0.0089	0.5394	1.1262
8	184.60	0.0019	0.1320	0.0142	0.4958	0.8139
9	184.60	0.0011	0.1110	0.0103	0.5225	1.0045
10	184.60	0.0024	0.1437	0.0165	0.8245	2.1401
11	184.60	0.0014	0.1194	0.0118	0.6138	1.3255
12	184.60	0.0023	0.1430	0.0164	0.7254	1.6620

13	184.60	0.0017	0.1278	0.0134	0.2956	0.2948
14	184.60	0.0017	0.1284	0.0135	0.6530	1.4357
15	184.60	0.0029	0.1552	0.0189	0.7954	1.9054
16	184.60	0.0017	0.1278	0.0134	0.6510	1.4307
17	184.60	0.0027	0.1498	0.0178	0.4043	0.5024
18	184.60	0.0022	0.1398	0.0157	1.2193	4.7568
19	184.60	0.0009	0.1030	0.0090	0.5319	1.0906
20	184.60	0.0011	0.1087	0.0100	0.6971	1.8110
20	184.60	0.0016	0.1244	0.0128	0.8429	2.4377
21	184.60	0.0016	0.1244	0.0128	0.9179	2.8907
22	184.60	0.0004	0.0764	0.0051	0.5409	1.3634
23	184.60	0.0008	0.0970	0.0080	0.3023	0.3658
24	184.60	0.0009	0.1030	0.0090	0.6511	1.6337
24	184.60	0.0038	0.1706	0.0221	1.1373	3.6929
25	184.60	0.0018	0.1309	0.0140	1.4035	6.5549
26	184.60	0.0016	0.1244	0.0128	0.6322	1.3712
27	184.60	0.0040	0.1751	0.0231	0.5782	0.9411
28	184.60	0.0038	0.1714	0.0223	0.7875	1.7663
29	184.60	0.0051	0.1910	0.0266	1.0309	2.8556
30	184.60	0.0045	0.1819	0.0246	1.1034	3.3571
31	184.60	0.0040	0.1751	0.0231	0.9192	2.3781
32	184.60	0.0020	0.1353	0.0148	0.5900	1.1356
33	184.60	0.0034	0.1633	0.0206	0.7912	1.8311
34	184.60	0.0034	0.1643	0.0208	1.2200	4.3400
35	184.60	0.0034	0.1643	0.0208	0.7854	1.7984
36	184.60	0.0040	0.1751	0.0231	0.7797	1.7110
37	184.60	0.0020	0.1340	0.0146	1.0599	3.6869
38	230.80	0.0097	0.2582	0.0374	1.2213	3.5748
39	290.80	0.0118	0.2931	0.0401	1.5928	5.9405
40	184.60	0.0005	0.0838	0.0061	0.5445	1.3024
41	184.60	0.0006	0.0906	0.0071	0.5022	1.0538
42	184.60	0.0027	0.1515	0.0181	1.0052	3.0848
43	184.60	0.0012	0.1142	0.0109	0.4195	0.6362
44	184.60	0.0052	0.1931	0.0270	1.8771	9.4143
45	184.60	0.0025	0.1473	0.0172	0.7462	1.7279
46	184.60	0.0030	0.1559	0.0190	0.6679	1.3403
47	184.60	0.0020	0.1340	0.0146	1.0021	3.2958

Nota: D-PEAD se refiere al diámetro de la tubería de polietileno.

Fuente: Elaboración propia.

Si la rehabilitación de las redes de alcantarillado se hace con la tecnología CIPP se mantiene el mismo criterio de la pendiente y el caudal como datos constantes mientras que el diámetro interno de la tubería luego de la rehabilitación quedaría reducida en 7 mm del diámetro de la tubería existente, este dato es tomado de la tabla 4 en donde se consideran espesores de 3.5 mm para tuberías de 100 mm a 250 mm de diámetro. En cuanto a coeficiente de Manning, este parámetro será tomado de la información brindada por la empresa Institutform que da un valor de 0.010.

Teniendo estas consideraciones previas se hace el cálculo de los parámetros hidráulicos que caracterizaran las redes rehabilitadas con la tecnología CIPP y se muestra a continuación en la tabla 11.

Tabla 11

Parámetros Hidráulicos de los Tramos Rehabilitados por el CIPP

N°	D-Manga	A (m ²)	P (m)	R (m)	V (m/s)	TENSIÓN TRACTIVA
1	193.00	0.0010	0.1090	0.0096	0.4300	0.8605
2	193.00	0.0027	0.1517	0.0176	0.5011	0.9562
3	193.00	0.0016	0.1254	0.0125	0.5093	1.1068
4	193.00	0.0011	0.1095	0.0097	0.6486	1.9517
5	193.00	0.0023	0.1433	0.0159	0.5567	1.2204
6	193.00	0.0019	0.1347	0.0142	0.5959	1.4510
7	193.00	0.0010	0.1066	0.0092	0.4981	1.1705
8	193.00	0.0020	0.1375	0.0148	0.4578	0.8459
9	193.00	0.0012	0.1157	0.0108	0.4826	1.0446
10	193.00	0.0026	0.1497	0.0172	0.7613	2.2238
11	193.00	0.0015	0.1244	0.0123	0.5667	1.3772
12	193.00	0.0025	0.1490	0.0170	0.6700	1.7276
13	193.00	0.0019	0.1332	0.0139	0.2729	0.3064
14	193.00	0.0019	0.1338	0.0140	0.6030	1.4919

15	193.00	0.0032	0.1617	0.0196	0.7344	1.9800
16	193.00	0.0019	0.1332	0.0139	0.6011	1.4870
17	193.00	0.0029	0.1561	0.0185	0.3734	0.5221
18	193.00	0.0024	0.1457	0.0164	1.1260	4.9439
19	193.00	0.0010	0.1073	0.0094	0.4913	1.1339
20	193.00	0.0012	0.1133	0.0103	0.6434	1.8809
20	193.00	0.0017	0.1297	0.0133	0.7784	2.5337
21	193.00	0.0017	0.1297	0.0133	0.8476	3.0044
22	193.00	0.0004	0.0796	0.0053	0.4988	1.4138
23	193.00	0.0008	0.1011	0.0084	0.2793	0.3806
24	193.00	0.0010	0.1074	0.0094	0.6011	1.6975
24	193.00	0.0041	0.1778	0.0230	1.0503	3.8386
25	193.00	0.0020	0.1364	0.0145	1.2958	6.8108
26	193.00	0.0017	0.1297	0.0133	0.5837	1.4249
27	193.00	0.0044	0.1825	0.0240	0.5340	0.9781
28	193.00	0.0041	0.1785	0.0232	0.7272	1.8358
29	193.00	0.0055	0.1990	0.0276	0.9521	2.9686
30	193.00	0.0048	0.1895	0.0256	1.0190	3.4894
31	193.00	0.0044	0.1825	0.0240	0.8489	2.4717
32	193.00	0.0021	0.1396	0.0152	0.5383	1.1591
33	193.00	0.0037	0.1705	0.0215	0.7323	1.9096
34	193.00	0.0039	0.1746	0.0223	1.1516	4.6612
35	193.00	0.0039	0.1746	0.0223	0.7413	1.9315
36	193.00	0.0043	0.1819	0.0239	0.7176	1.7695
37	193.00	0.0021	0.1396	0.0152	0.9787	3.8315
38	242.00	0.0106	0.2703	0.0392	1.1325	3.7387
39	340.00	0.0129	0.3150	0.0409	1.4525	6.0591
40	193.00	0.0006	0.0873	0.0063	0.5028	1.3536
41	193.00	0.0007	0.0945	0.0073	0.4639	1.0958
42	193.00	0.0030	0.1579	0.0188	0.9283	3.2063
43	193.00	0.0013	0.1190	0.0113	0.3872	0.6609
44	193.00	0.0056	0.2011	0.0281	1.7336	9.7863
45	193.00	0.0028	0.1535	0.0179	0.6891	1.7962
46	193.00	0.0032	0.1617	0.0196	0.6138	1.3827
47	193.00	0.0021	0.1396	0.0152	0.9253	3.4251

Nota: D-Manga se refiere al diámetro de la tubería polimerizada in situ.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Análisis de los datos de la encuesta a Especialistas

Se realizó la encuesta a 10 especialistas en tecnologías sin zanja que en su mayoría son ingenieros civiles. En esta encuesta se consultarán por las tecnologías sin zanjas estudiadas en la presente tesis que son la tecnología Pipe Bursting y Cured In Place Pipe.

Las preguntas estarán enfocadas en los aspectos económicos, ambientales y sociales que se dan durante la rehabilitación de las tecnologías sin zanjas estudiadas, así como también se darán preguntas comparando las tecnologías sin zanja con el método tradicional de rehabilitación.

Preguntas realizadas en la encuesta

1. ¿Conoce el término “Tecnología Sin Zanja en rehabilitaciones de redes de alcantarillado?”

La tabla 12 muestra que todos los encuestados conocen el término de la tecnología sin zanja por lo que están familiarizados con dichas tecnologías

Tabla 12

Número de Especialistas que Conocen el Término "Tecnología Sin Zanja"

¿Conoce el termino?	Nº	%
Si	10	100
No	0	0
Total	10	100

Fuente: Elaboración propia

2. ¿Cuánto conoce usted sobre el proceso constructivo de las tecnologías sin Zanja?

De las tecnologías consultadas se aprecia en la tabla 13 que los 10 especialistas encuestados conocen y dominan la tecnología Pipe Bursting y

en cuanto a la tecnología Cured In Place Pipe más de la mitad conoce poco la tecnología.

Tabla 13

Conocimiento de los Especialistas de las Tecnologías Sin Zanja

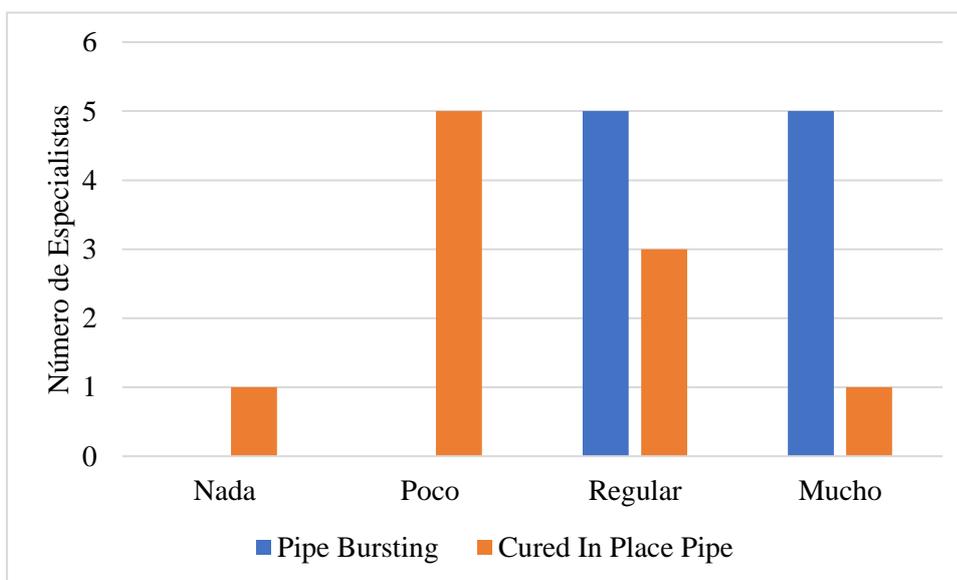
Tecnologías Sin Zanja	Muy Poco	Poco	Regular	Mucho
Pipe Bursting	0	0	5	5
Cured In Place Pipe	1	5	3	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 30.

Figura 30

Gráfico del Conocimiento que Tienen los Especialistas sobre las Tecnologías Sin Zanjas



Fuente: Elaboración Propia

3. En comparación al proceso constructivo de rehabilitación convencional y las tecnologías sin zanja, responda lo siguiente:

3.1. ¿En cuánto se reduce los niveles de ruido?

Los niveles de ruido que se reduce según las respuestas de los especialistas mostrados en la tabla 14, la mayoría indican que se reduce en 40% con la tecnología Pipe Bursting y se reduce en 60% con la tecnología CIPP.

Tabla 14

Reducción de Niveles de Ruido Comparando el Proceso Constructivo del Método Convencional y los Métodos Sin Zanja

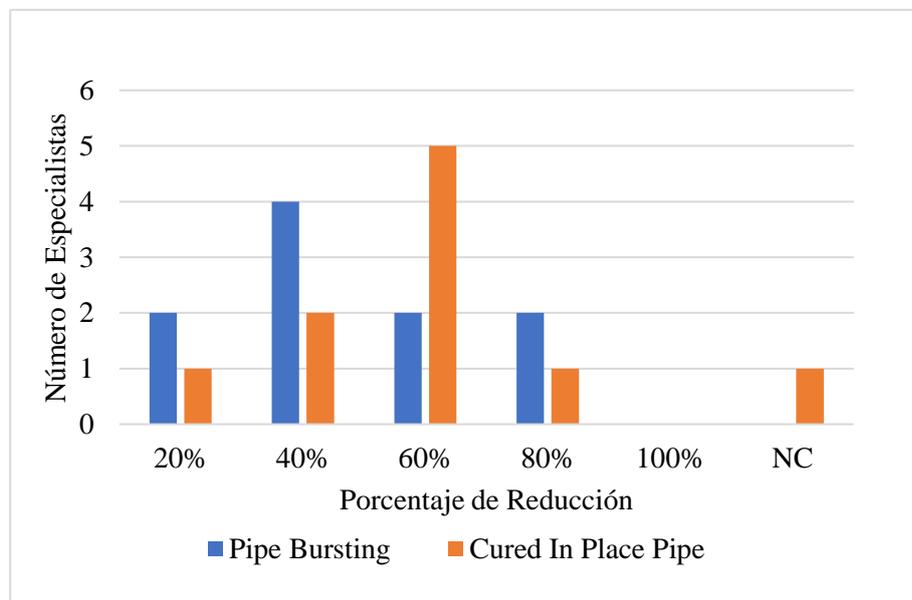
Tecnologías Sin Zanja	20%	40%	60%	80%	100%	NC
Pipe Bursting	2	4	2	2	0	0
Cured In Place Pipe	1	2	5	1	0	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 31.

Figura 31

Gráfico de Reducción de Niveles de Ruido en Comparación al Método Tradicional y los Métodos Sin Zanja



Fuente: Elaboración Propia

3.2. ¿En cuánto se reduce el uso de maquinarias pesadas?

La mayoría de los encuestados respondieron, según la tabla 15, que se reduce en un 80% el uso de maquinarias con la tecnología Pipe Bursting y en cuanto a la tecnología CIPP indicaron que se reduce entre 80% y 100%.

Tabla 15

Reducción del Uso de Maquinaria Comparando el Proceso Constructivo del Método Convencional y los Métodos Sin Zanja

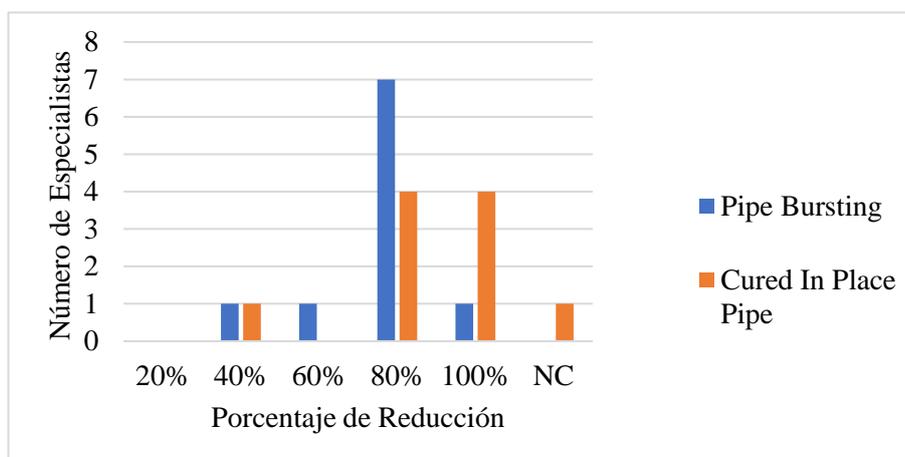
Tecnologías Sin Zanja	20%	40%	60%	80%	100%	NC
Pipe Bursting	0	1	1	7	1	0
Cured In Place Pipe	0	1	0	4	4	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 32.

Figura 32

Gráfico de Reducción de Uso de Maquinarias en Comparación al Método Tradicional y los Métodos Sin Zanja



Fuente: Elaboración Propia

3.3. ¿En cuánto se reduce el movimiento de tierras o modificación del relieve?

La mayoría de los encuestados indica, según se muestra en la tabla 16, que el movimiento se reduce en un 80 % con el Pipe Bursting y con el CIPP se reduce entre 80% y 100%.

Tabla 16

Reducción de Movimientos de Tierras o Relieve Comparando el Proceso Constructivo del Método Convencional y los Métodos Sin Zanja

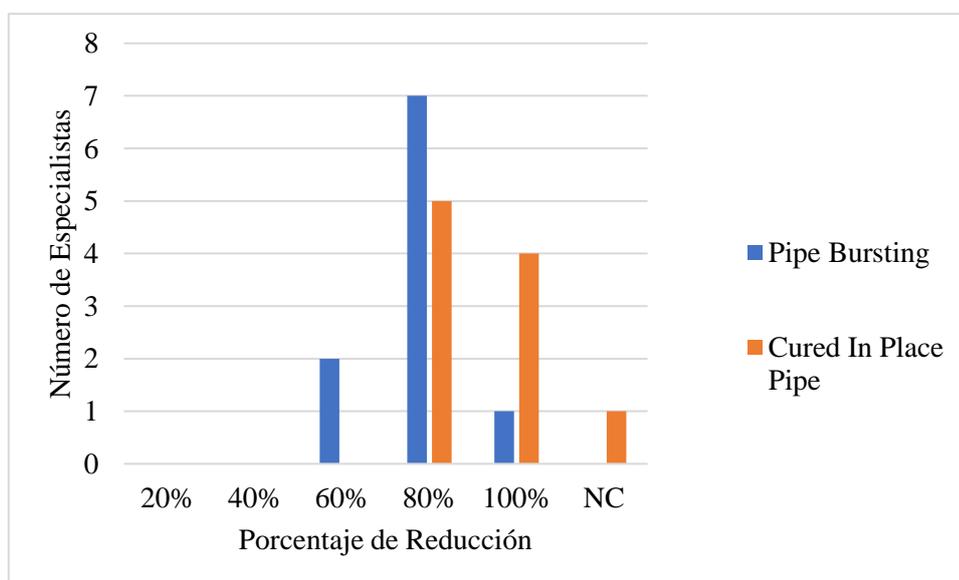
Tecnologías Sin Zanja	20%	40%	60%	80%	100%	NC
Pipe Bursting	0	0	2	7	1	0
Cured In Place Pipe	0	0	0	5	4	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 33.

Figura 33

Gráfico de Reducción de Movimientos de Tierra o Relieve en Comparación al Método Tradicional y los Métodos Sin Zanja



Fuente: Elaboración Propia

3.4. ¿En cuánto se reduce la contaminación ambiental

La mayoría de los encuestados indica, según se muestra en la tabla 17, que la contaminación ambiental se reduce en un 80 % con el Pipe Bursting y con el CIPP se reduce en 80%.

Tabla 17

Reducción de Contaminación Ambiental Comparando el Proceso Constructivo del Método Convencional y los Métodos Sin Zanja

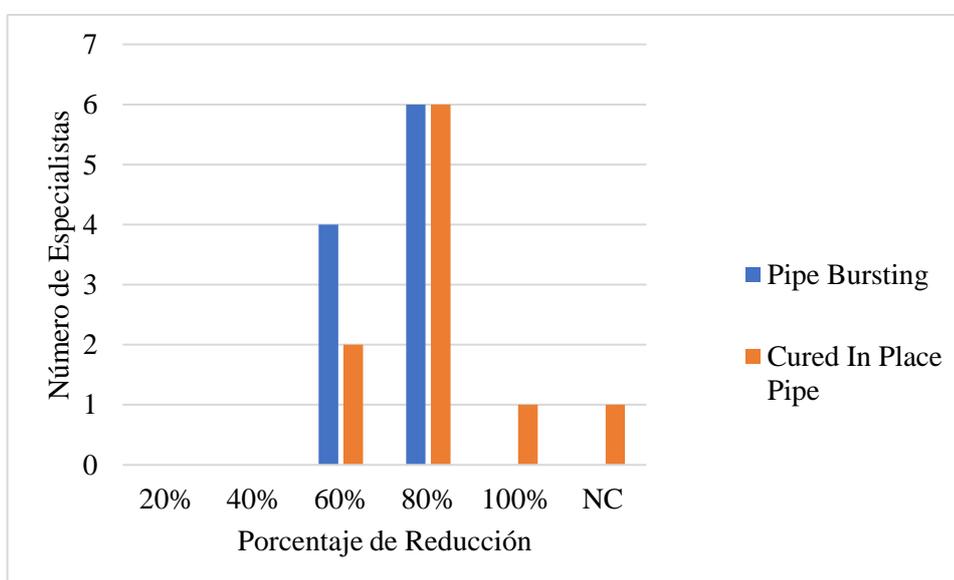
Tecnologías Sin Zanja	20%	40%	60%	80%	100%	NC
Pipe Bursting	0	0	4	6	0	0
Cured In Place Pipe	0	0	2	6	1	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 34.

Figura 34

Reducción de Contaminación Ambiental Comparando el Proceso Constructivo del Método Convencional y los Métodos Sin Zanja



Fuente: Elaboración Propia

3.5. ¿En cuánto se reduce el impacto de la vegetación urbanística?

La mayoría de los encuestados indica, según se muestra en la tabla 18, que la vegetación urbanística se reduce en un 80 % con el Pipe Bursting y con el CIPP se reduce en 100%.

Tabla 18

Reducción de Contaminación Ambiental Comparando el Proceso Constructivo del Método Convencional y los Métodos Sin Zanja

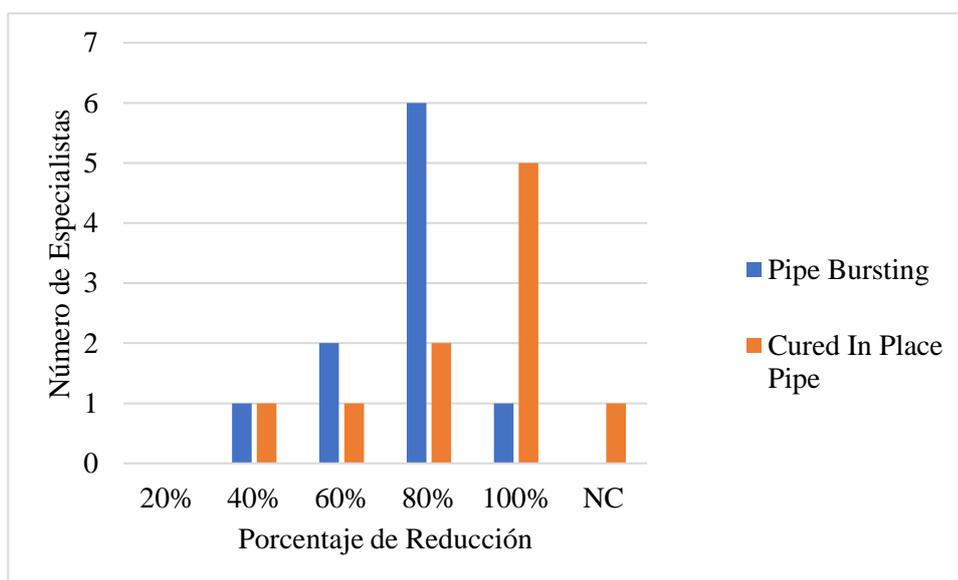
Tecnologías Sin Zanja	20%	40%	60%	80%	100%	NC
Pipe Bursting	0	1	2	6	1	0
Cured In Place Pipe	0	1	1	2	5	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 35.

Figura 35

Gráfico de Reducción de Impacto de la Vegetación Urbanística en Comparación al Método Tradicional y los Métodos Sin Zanja



Fuente: Elaboración Propia

3.6. ¿En cuánto se reduce costos según los métodos?

La mayoría de los encuestados indica, según se muestra en la tabla 19, que el costo se reduce en un 40 % con el Pipe Bursting y con el CIPP se reduce en 60%.

Tabla 19

Reducción de Contaminación Ambiental Comparando el Proceso Constructivo del Método Convencional y los Métodos Sin Zanja

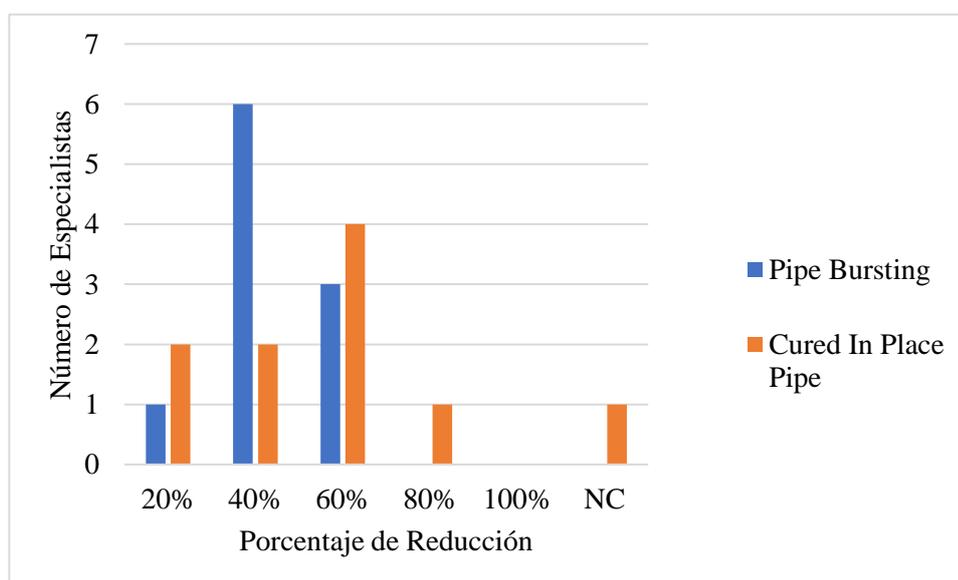
Tecnologías Sin Zanja	20%	40%	60%	80%	100%	NC
Pipe Bursting	1	6	3	0	0	0
Cured In Place Pipe	2	2	4	1	0	1

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 36.

Figura 36

Gráfico de Reducción de Costos en Comparación al Método Tradicional y los Métodos Sin Zanja



Fuente: Elaboración Propia

3.7. ¿En cuánto se reduce los tiempos de ejecución según los métodos?

La mayoría de los encuestados indica, según se muestra en la tabla 20, que el tiempo de ejecución se reduce en un 80% con el Pipe Bursting y CIPP.

Tabla 20

Reducción de Contaminación Ambiental Comparando el Proceso Constructivo del Método Convencional y los Métodos Sin Zanja

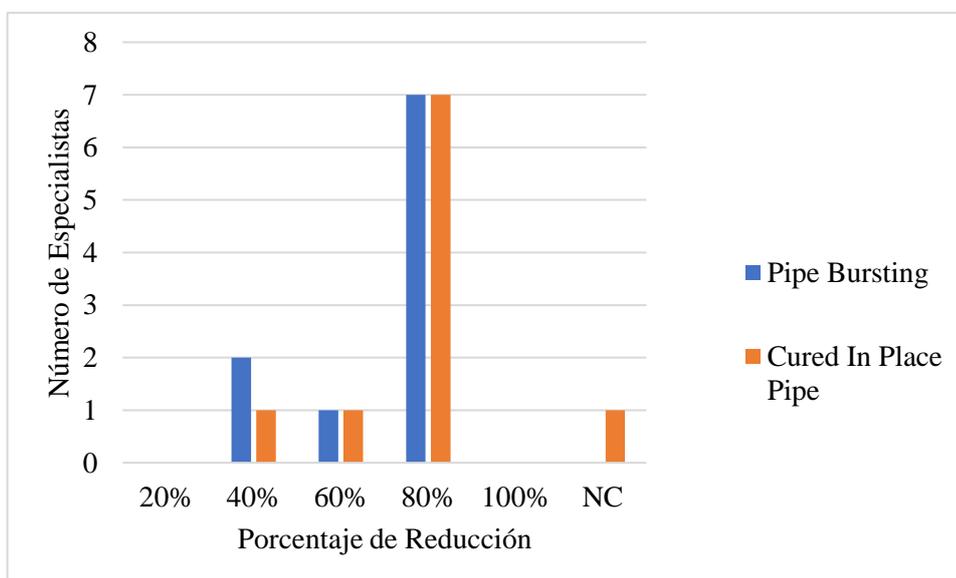
Tecnologías Sin Zanja	20%	40%	60%	80%	100%	NC
Pipe Bursting	0	2	1	7	0	0
Cured In Place Pipe	0	1	1	7	0	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 37.

Figura 37

Gráfico de Reducción de Costos en Comparación al Método Tradicional y los Métodos Sin Zanja



Fuente: Elaboración Propia

4. Con respecto a las Tecnologías Sin Zanja, respuesta lo siguiente

4.1 ¿Cuál es el nivel de molestias en la población durante los trabajos que se generan según su criterio?

La mayoría de los encuestados indica, según se muestra en la tabla 21, que el nivel de molestias en la población es bajo con el Pipe Bursting y con el CIPP.

Tabla 21

Nivel de Molestias en la población durante los trabajos

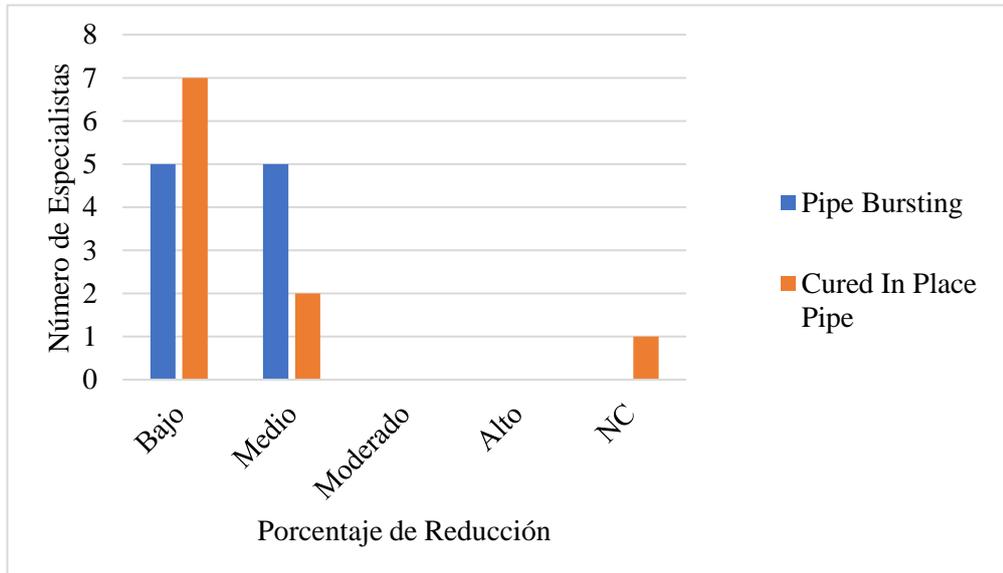
Nivel de Molestias Durante Trabajos					
Tecnologías Sin Zanja	Bajo	Medio	Moderado	Alto	NC
Pipe Bursting	5	5	0	0	0
Cured In Place Pipe	7	2	0	0	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 38.

Figura 38

Gráfico de Nivel de Molestias de la Población Durante los Trabajos



Fuente: Elaboración Propia

4.2 ¿Por cuánto tiempo se restringen los accesos vehiculares durante todo el tiempo de trabajo?

La mayoría de los encuestados indica, según se muestra en la tabla 22, que los accesos vehiculares se restringen 6 horas con el Pipe Bursting y con el CIPP.

Tabla 22

Tiempo que se Restringen los Accesos Vehiculares durante el tiempo de Trabajo

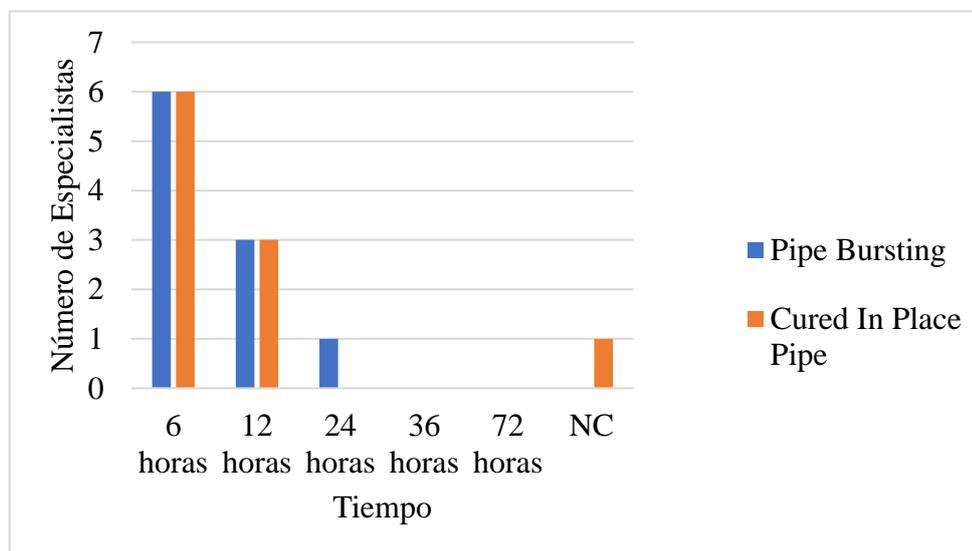
Tecnologías Sin Zanja	6 h	12 h	24 h	36 h	72 h	NC
Pipe Bursting	6	3	1	0	0	0
Cured In Place Pipe	6	3	0	0	0	1

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 39.

Figura 39

Gráfico de Tiempo que se Restringe el Acceso Vehicular Durante los Trabajos de Métodos Sin Zanja



Fuente: Elaboración Propia

4.3 ¿Por cuánto se restringen los accesos peatonales durante todo el tiempo de trabajo?

La mayoría de los encuestados indica, según se muestra en la tabla 23, que los accesos peatonales se restringen en 6 horas (h) con ambos métodos.

Tabla 23

Tiempo que se Restringen los Accesos Peatonal durante el tiempo de Trabajo

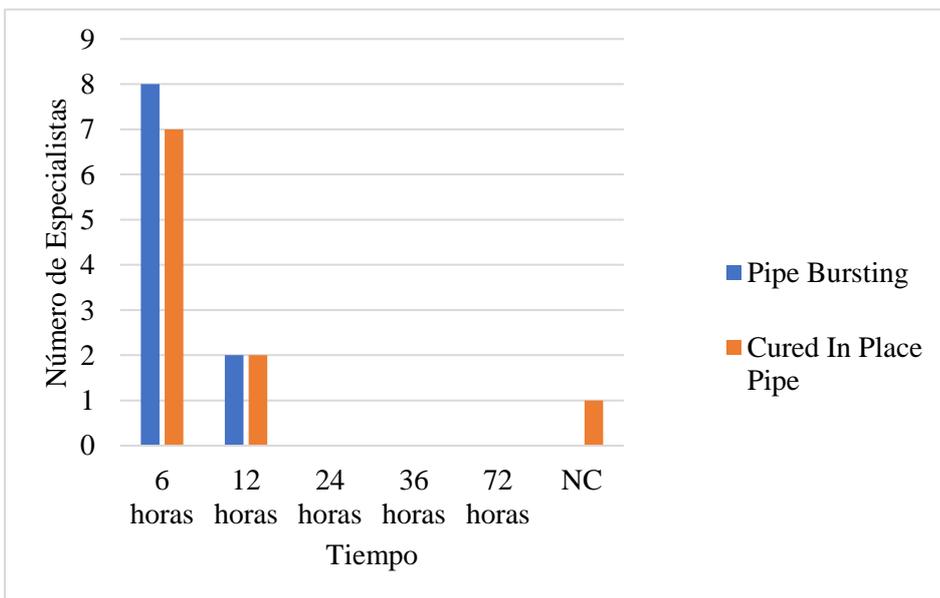
Tecnologías Sin Zanja	6 h	12 h	24 h	36 h	72 h	NC
Pipe Bursting	8	2	0	0	0	0
Cured In Place Pipe	7	2	0	0	0	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 40.

Figura 40

Gráfico de Tiempo que se Restringe el Acceso Peatonal Durante los Trabajos de Métodos Sin Zanja



Fuente: Elaboración Propia

4.4 ¿En qué zonas comerciales, en qué nivel se afectan los negocios durante todo el tiempo de trabajo?

La mayoría de los encuestados indica, según se muestra en la tabla 24, que el nivel que se afectan los negocios es de nivel medio con la tecnología Pipe Bursting y bajo con el CIPP.

Tabla 24

Nivel en que Afectan los negocios durante el tiempo de Trabajo

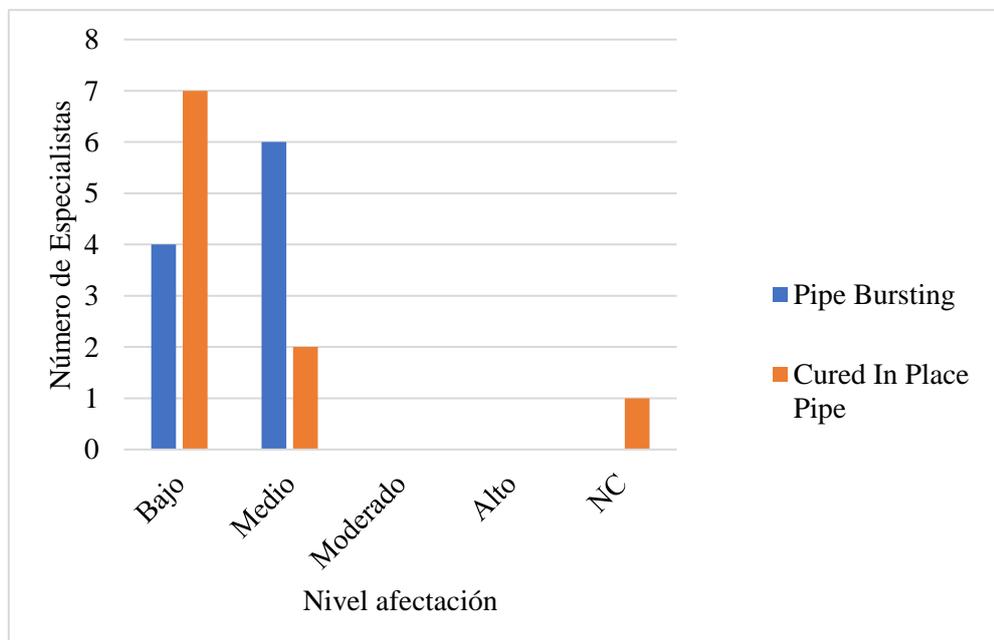
Tecnologías Sin Zanja	Bajo	Medio	Moderado	Alto	NC
Pipe Bursting	4	6	0	0	0
Cured In Place Pipe	7	2	0	0	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 41.

Figura 41

Gráfico de Nivel en que Afecta a Negocios Durante los Trabajos de Métodos Sin Zanja



Fuente: Elaboración Propia

4.5 ¿Cuál es el costo en soles de la rehabilitación de un metro de red de alcantarillado?

La mayoría de los encuestados indica, según se muestra en la tabla 25, que el costo por metro lineal de rehabilitación con el Pipe Bursting y el CIPP oscila entre 100 a 150 soles.

Tabla 25

Costo de la Rehabilitación de un Metro de Red Alcantarillado por los Métodos Sin Zanja

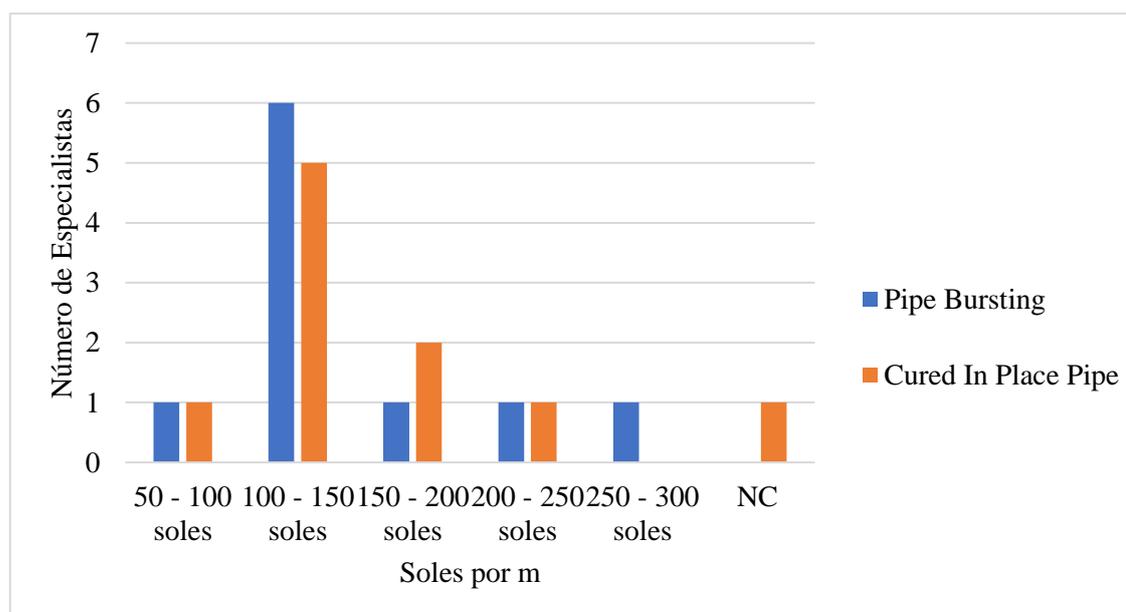
Tecnologías Sin Zanja	50 - 100 soles	100 - 150 soles	150 - 200 soles	200 - 250 soles	250 - 300 soles	NC
Pipe Bursting	1	6	1	1	1	0
Cured In Place Pipe	1	5	2	1	0	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 42.

Figura 42

Gráfico de Costo de Rehabilitación por Metro de Red de Alcantarillado de los Trabajos de Métodos Sin Zanja



Fuente: Elaboración Propia

4.6 ¿Cuál es el tiempo de ejecución para la rehabilitación de un tramo de red de alcantarillado?

La mayoría de los encuestados indica, según se muestra en la tabla 26, que el tiempo de ejecución para la rehabilitación de un tramo con el Pipe Bursting y el CIPP es de 6 h.

Tabla 26

Tiempo de Ejecución para la Rehabilitación de Red Alcantarillado por los Métodos Sin Zanja

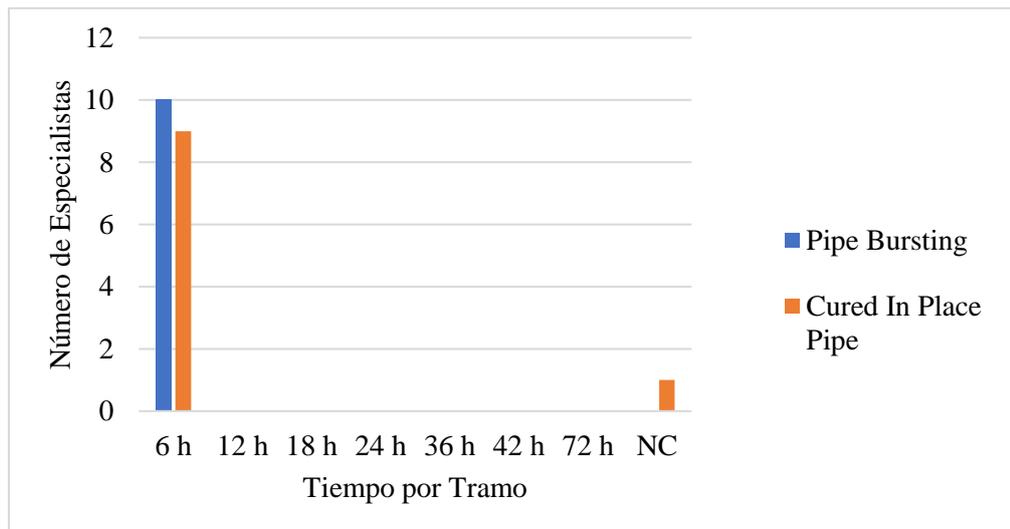
Tecnologías Sin Zanja	6 h	12 h	18 h	24 h	36 h	42 h	72 h	NC
Pipe Bursting	10	0	0	0	0	0	0	0
Cured In Place Pipe	9	0	0	0	0	0	0	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 43.

Figura 43

Gráfico de Tiempo de Ejecución para la Rehabilitación de un tramo de Red de Alcantarillado de los Trabajos de Métodos Sin Zanja



Fuente: Elaboración Propia

4.7 ¿Cuál es el nivel de pérdidas económicas de los negocios colindantes durante los trabajos de rehabilitación?

La mayoría de los encuestados indica, según se muestra en la tabla 27, que el nivel de pérdidas económicas de los negocios colindantes con el Pipe Bursting y el CIPP es bajo.

Tabla 27

Nivel de Pérdidas Económicas de los Negocios Colindantes durante los trabajos de Rehabilitación

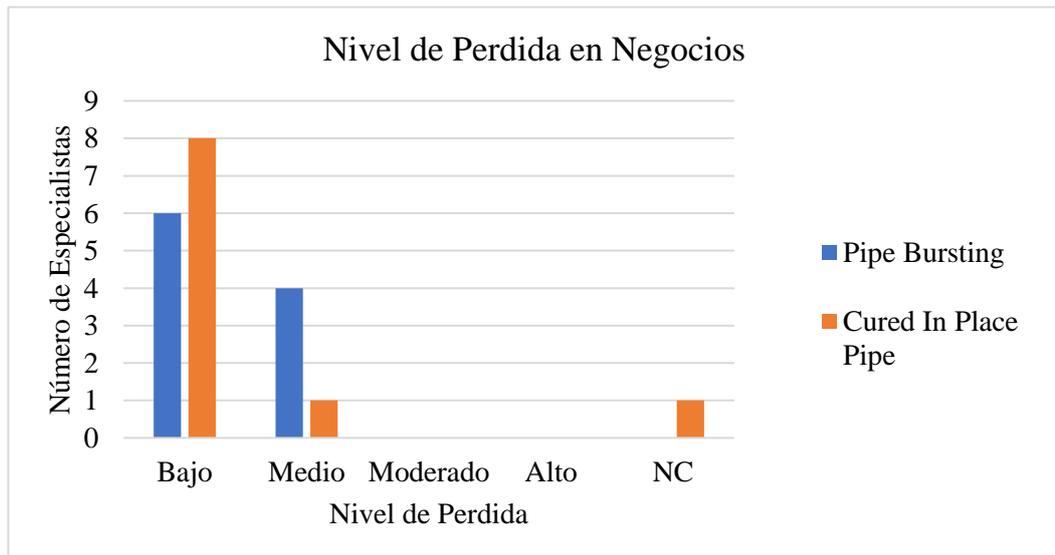
Tecnologías Sin Zanja	Bajo	Medio	Moderado	Alto	NC
Pipe Bursting	6	4	0	0	0
Cured In Place Pipe	8	1	0	0	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 44.

Figura 44

Gráfico de Nivel de Pérdidas Económicas de Negocios aledaños por Trabajos de Métodos Sin Zanja



Fuente: Elaboración Propia

4.8 ¿Cuáles es el nivel de las afectaciones de las áreas verdes en la zona de trabajo durante la rehabilitación?

La mayoría de los encuestados indica, según se muestra en la tabla 28, que el nivel de las afectaciones de las áreas verdes con la tecnología Pipe Bursting y CIPP es bajo.

Tabla 28

Nivel de Afectaciones en Áreas Verdes Durante los Trabajos por los Métodos Sin Zanja

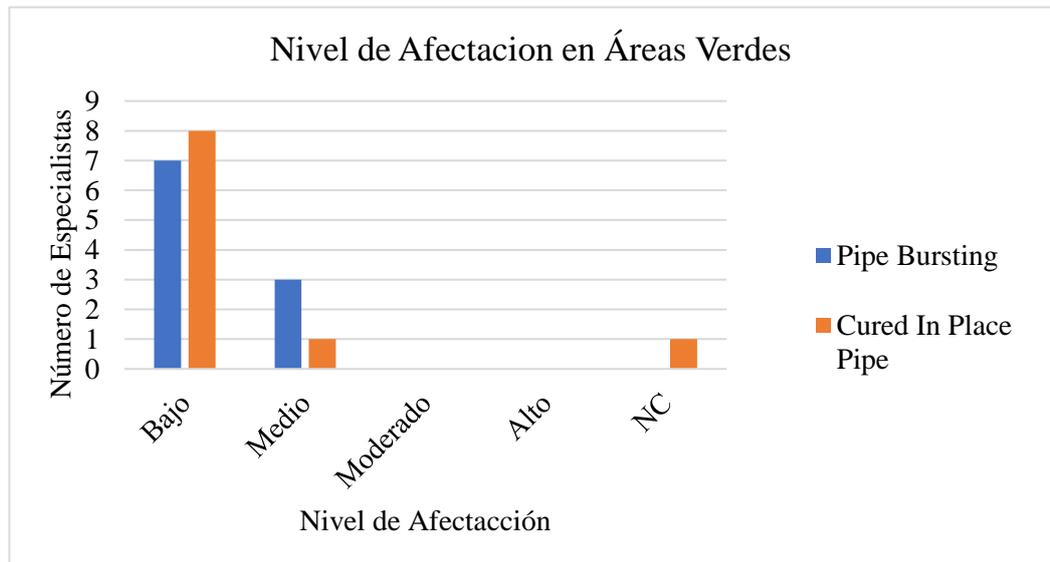
Tecnologías Sin Zanja	Bajo	Medio	Moderado	Alto	NC
Pipe Bursting	7	3	0	0	0
Cured In Place Pipe	8	1	0	0	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 45.

Figura 45

Gráfico de Nivel de Afectación en Áreas Verdes Durante los Trabajos de Métodos Sin Zanja



Fuente: Elaboración Propia

4.9 ¿Cuál es el nivel de ruido que genera a la población cercana durante la rehabilitación?

La mayoría de los encuestados indica, según se muestra en la tabla 29, que el nivel de ruido con la tecnología Pipe Bursting y CIPP está entre los 60 y 80 decibeles (db).

Tabla 29

Nivel de Ruido que Genera a la Población Durante los Trabajos por los Métodos Sin Zanja

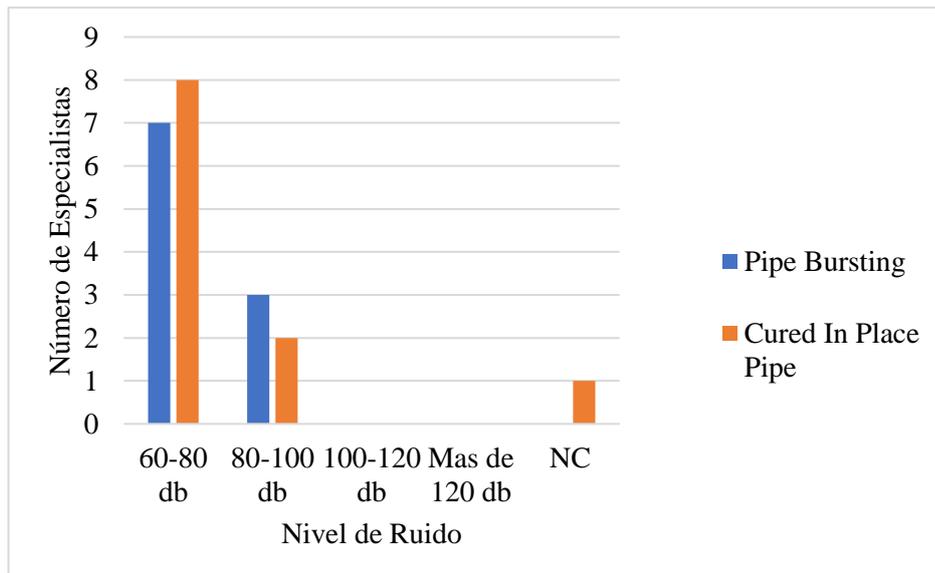
Tecnologías Sin Zanja	60-80 db	80-100 db	100-120 db	Mas de 120 db	NC
Pipe Bursting	7	3	0	0	0
Cured In Place Pipe	8	2	0	0	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 46.

Figura 46

Gráfico de Nivel de Ruido que Generan a la Población Durante los Trabajos de Métodos Sin Zanja



Fuente: Elaboración Propia

4.10 Cuáles son los niveles de humo y gases que se generan con el uso de:

Pipe Bursting, la mayoría de los encuestados respondió que el nivel de humo y gases es bajo durante su proceso constructivo como se muestra en la tabla 30.

Tabla 30

Nivel de Humo y Gases que Generan las Maquinarias y Equipos Durante la Metodología Pipe Bursting

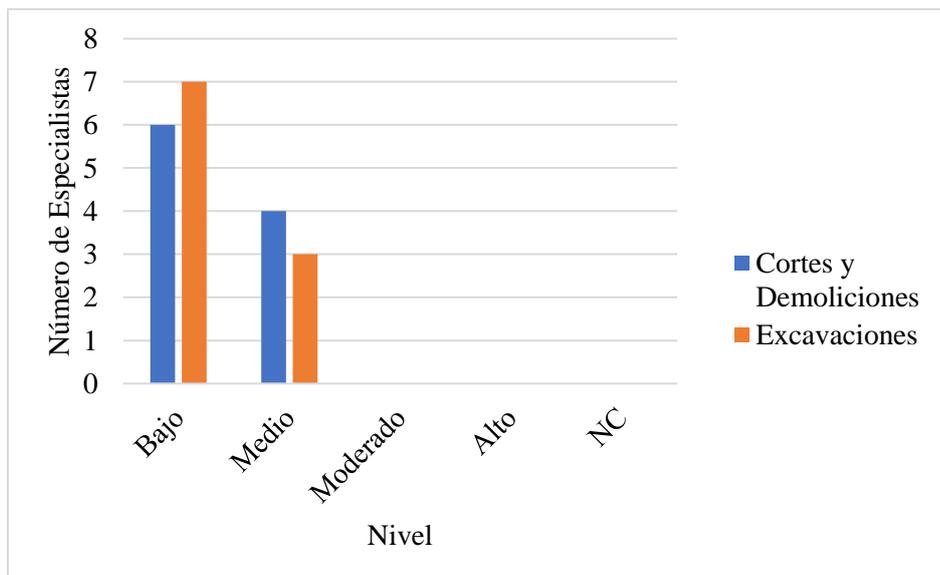
Niveles	Bajo	Medio	Moderado	Alto	NC
Maquinarias	8	2	0	0	0
Equipos	8	2	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 47.

Figura 47

Gráfico de Nivel de Humo y Gases que Generan las Máquinas y Equipos Durante los Trabajos de la Metodología Pipe Bursting



Fuente: Elaboración Propia

Cured In Place Pipe, la mayoría de los encuestados concuerda que el nivel de humo y gases es bajo durante su proceso constructivo como se muestra en la tabla 31.

Tabla 31

Nivel de Humo y Gases que Generan las Maquinarias y Equipos Durante la Metodología Cured In Place Pipe

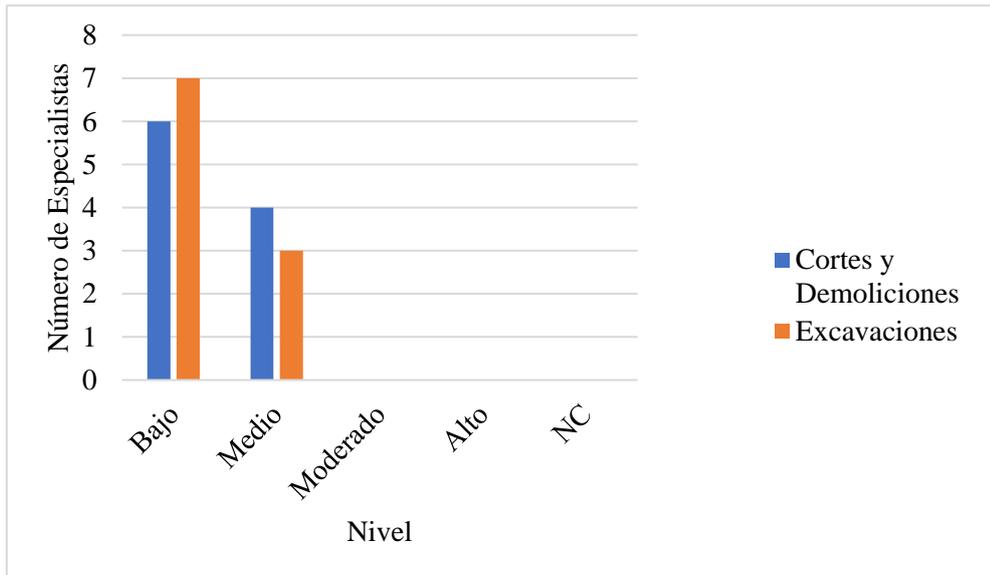
Niveles	Bajo	Medio	Moderado	Alto	NC
Maquinarias	7	2	0	0	1
Equipos	7	2	0	0	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 48.

Figura 48

Gráfico de Nivel de Humo y Gases que Generan las Máquinas y Equipos Durante los Trabajos de la Metodología Cured In Place Pipe



Fuente: Elaboración Propia

4.11 Cuáles son los niveles de polvo que generan durante:

Pipe Bursting, en resumen, todos los encuestados indicaron que el nivel de polvo generado por las actividades que se realizan durante la rehabilitación es bajo.

Tabla 32

Nivel de Polvo que se Generan en las Diferentes Actividades Durante la Metodología Pipe Bursting

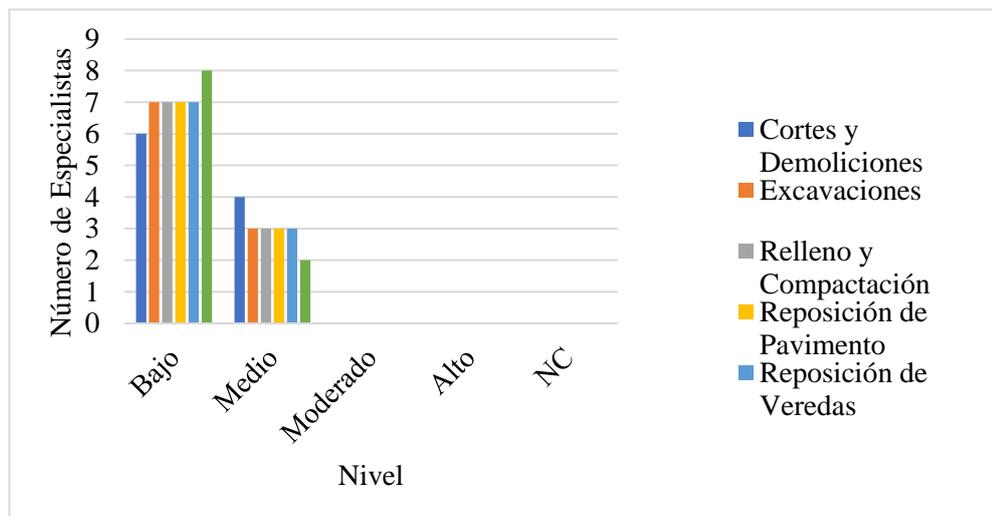
Nivel de Polvo por Método Pipe Bursting					
Actividades	Bajo	Medio	Moderado	Alto	NC
Cortes y Demoliciones	6	4	0	0	0
Excavaciones	7	3	0	0	0
Relleno y Compactación	7	3	0	0	0
Reposición de Pavimento	7	3	0	0	0
Reposición de Veredas	7	3	0	0	0
Instalación de PEAD	8	2	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 49.

Figura 49

Gráfico de Nivel de Polvo que Generan las Actividades Durante los Trabajos de la Metodología Pipe Bursting.



Fuente: Elaboración Propia

Cured In Place Pipe, en resumen, todos los encuestados indicaron que el nivel de polvo generado por las actividades que se realizan durante la rehabilitación es bajo.

Tabla 33

Nivel de Polvo que se Generan en las Diferentes Actividades Durante la Metodología Cured In Place Pipe

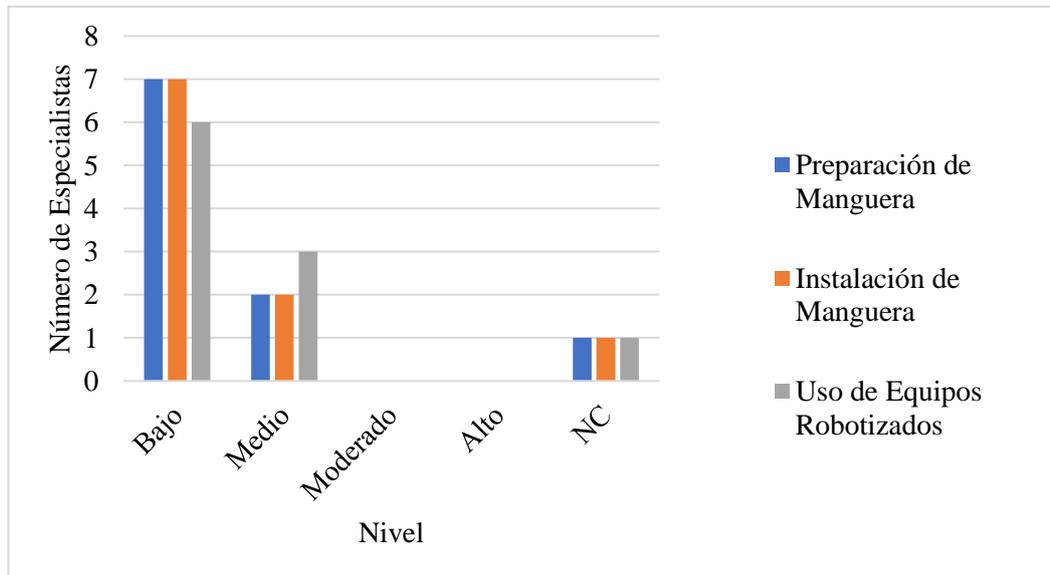
Nivel de Polvo por Método Cured In Place Pipe					
Actividades	Bajo	Medio	Moderado	Alto	NC
Preparación de Manguera	7	2	0	0	1
Instalación de Manguera	7	2	0	0	1
Uso de Equipos Robotizados	6	3	0	0	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 50.

Figura 50

Gráfico de Nivel de Polvo que Generan las Actividades Durante los Trabajos de la Metodología Cured In Place Pipe



Fuente: Elaboración Propia

4.12 Cuál es los niveles de vibraciones que generan el uso de maquinaria y equipos:

Pipe Bursting, los niveles de vibración generados durante la rehabilitación están entre medio y bajo según los encuestados.

Tabla 34

Nivel de Vibraciones que se Generan por las Maquinarias y Equipos Durante la Metodología Pipe Bursting

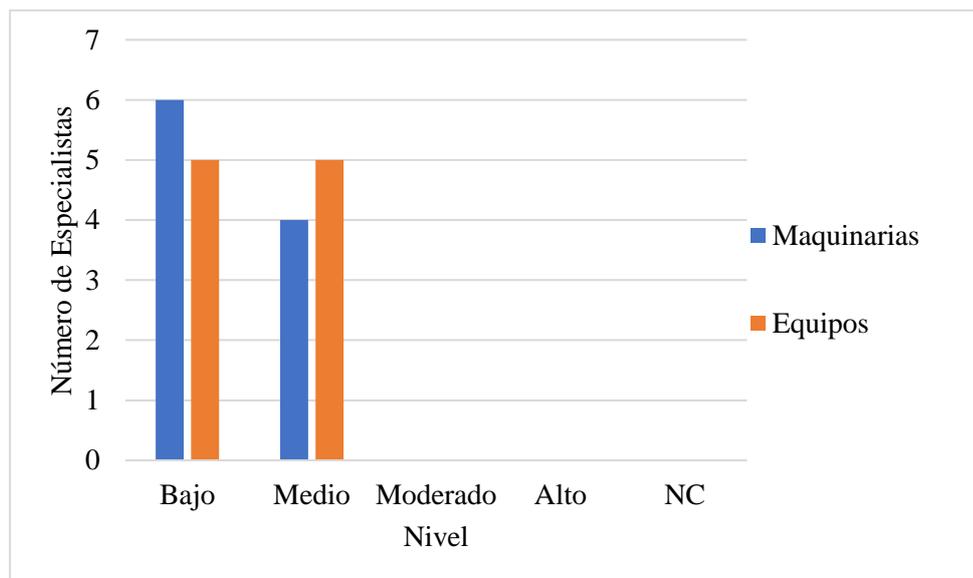
Nivel de Vibraciones por Método Pipe Bursting					
	Bajo	Medio	Moderado	Alto	NC
Maquinarias	6	4	0	0	0
Equipos	5	5	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 51.

Figura 51

Gráfico de Nivel de Vibraciones que Generan las Maquinarias y Equipos Durante los Trabajos de la Metodología Pipe Bursting



Fuente: Elaboración Propia

Cured In Place Pipe, los niveles de vibración generados durante la rehabilitación son bajos según los encuestados.

Tabla 35

Nivel de Vibraciones que se Generan por las Maquinarias y Equipos Durante la Metodología Cured In Place Pipe

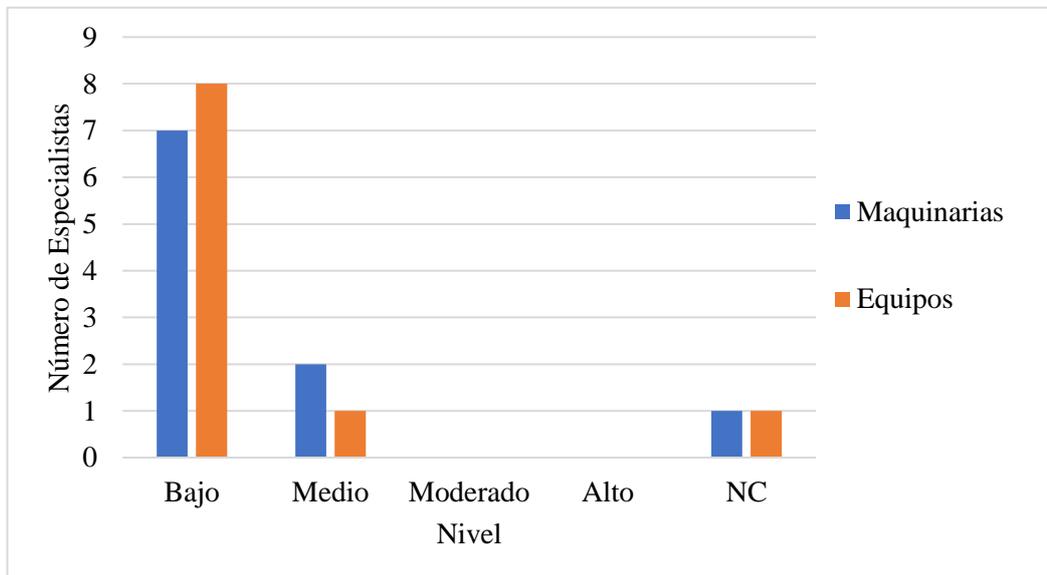
Nivel de Vibraciones por Método Cured In Place Pipe					
	Bajo	Medio	Moderado	Alto	NC
Maquinarias	7	2	0	0	1
Equipos	8	1	0	0	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 52.

Figura 52

Gráfico de Nivel de Vibraciones que Generan las Maquinarias y Equipos Durante los Trabajos de la Metodología Cured In Place Pipe



Fuente: Elaboración Propia

5. ¿Cuáles de los métodos del Pipe Bursting es el más adecuado para la rehabilitación de las redes de alcantarillado?

Como se aprecia en la tabla 35, el 70 % de los encuestados indica que el método dinámico de rehabilitación es el más adecuado para rehabilitación de redes de alcantarillado.

Tabla 36

Método más Adecuado del Pipe Bursting para la Rehabilitación de las Redes de Alcantarillado

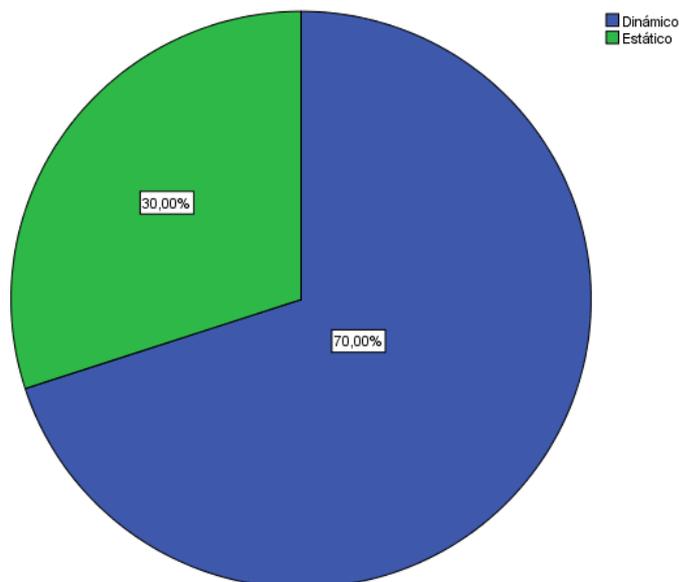
Método	Nº	%
Estático	3	30
Dinámico	7	70
Total	10	100

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 53.

Figura 53

Gráfico Circular del Método más Adecuado para la Metodología Pipe Bursting



Fuente: Elaboración Propia

6. ¿Cuáles de los métodos de curado CIPP es el más adecuado para la rehabilitación de redes de alcantarillado?

En la tabla 37 se muestra que la mayoría de los encuestados indica que el método de curado por rayos UV es el más adecuado, esta respuesta representa el 40% del total de encuestados.

Tabla 37

Tipo de Curado más Adecuado del Cured In Place Pipe para la Rehabilitación de las Redes de Alcantarillado

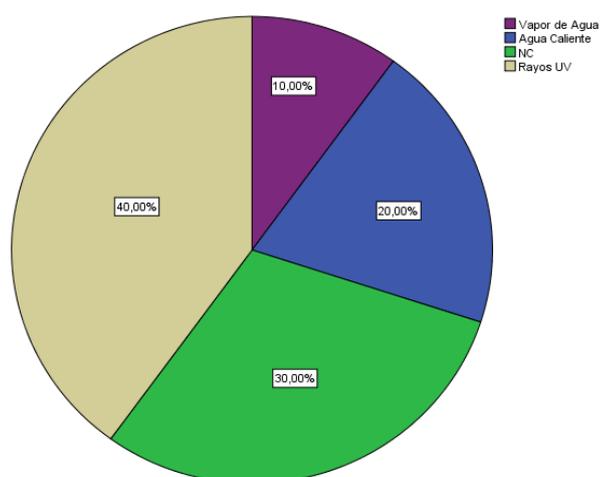
Tipos de Curado	N°	%
Vapor de Agua	1	10
Agua Caliente	2	20
Rayos UV	4	40
NC	3	30
Total	10	100

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 54.

Figura 54

Gráfico Circular del Tipo de Curado más Adecuado para la Metodología Cured In Place Pipe



Fuente: Elaboración Propia

7. ¿Cuál de los métodos de instalación usados en el CIPP es el más adecuado en rehabilitación de las Redes de Alcantarillado?

La instalación por inversión con la tecnología CIPP es el más adecuado según los encuestados según la tabla 38.

Tabla 38

Método de Instalación más Usado del Cured In Place Pipe para la Rehabilitación de las Redes de Alcantarillado

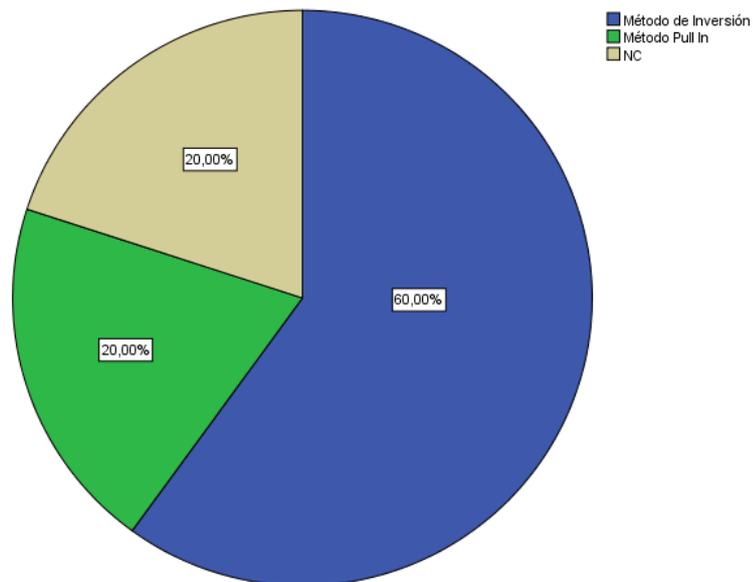
Método	N°	%
Inversión	6	60
Pull In	2	20
NC	2	20
Total	10	100

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 55.

Figura 55

Gráfico Circular del Método de Instalación más Usado para la Metodología Cured In Place Pipe



Fuente: Elaboración Propia

8. ¿Cuál cree que sea el nivel del impacto negativo del Pipe Bursting de los siguientes aspectos? (Califique de 1 al 5, siendo el más bajo y 5 el más alto)
- En la tabla 39 se puede apreciar que para los especialistas hay un menor Impacto en todos los aspectos para la Metodología Pipe Bursting

Tabla 39

Nivel de Impacto Negativo de los Impactos Durante la Metodología Pipe Bursting

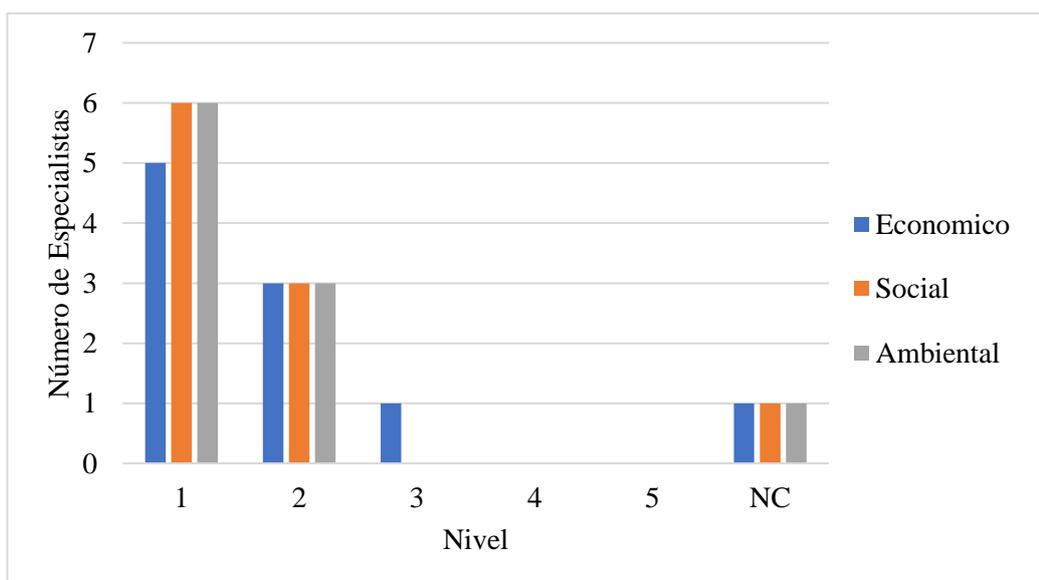
Aspecto	1	2	3	4	5	NC
Económico	6	2	2	0	0	0
Social	8	2	0	0	0	0
Ambiental	8	2	0	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 56.

Figura 56

Gráfico del Método de Instalación más Usado para la Metodología Cured In Place Pipe



Fuente: Elaboración Propia

9. ¿Cuál cree que sea el nivel del impacto del CIPP de los siguientes aspectos? (Califique del 1 al 5, siendo 1 más bajo y el 5 el más alto)

En la tabla 40 se puede apreciar que para los especialistas hay un menor Impacto en todos los aspectos para la Metodología Cured In Place Pipe.

Tabla 40

Nivel de Impacto Negativo de los Impactos Durante la Metodología Cured In Place Pipe

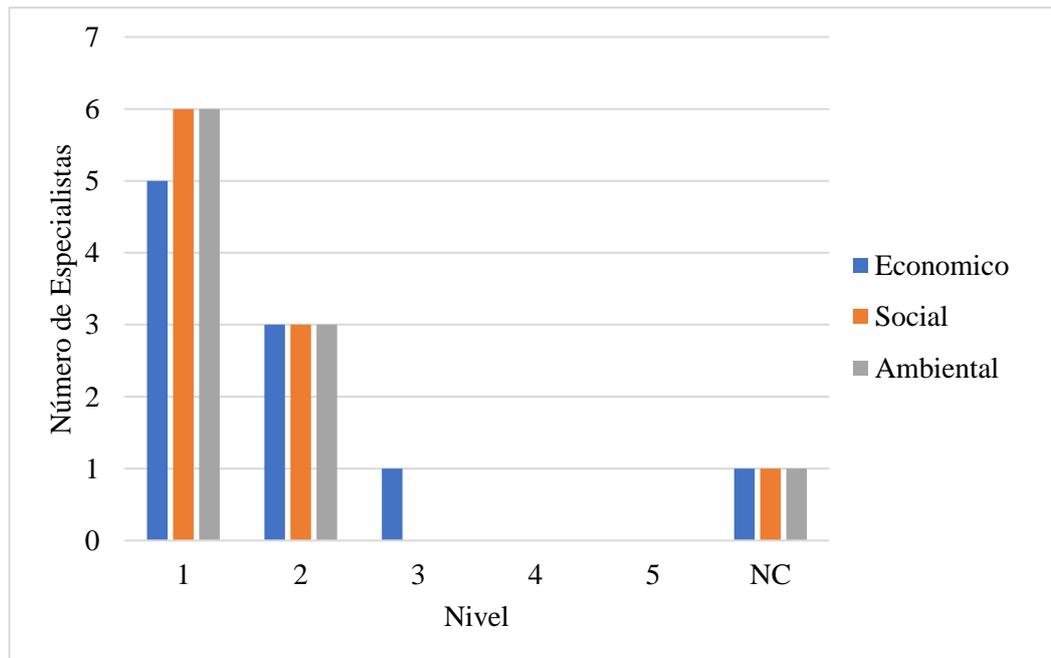
Aspecto	1	2	3	4	5	NC
Económico	5	3	1	0	0	1
Social	6	3	0	0	0	1
Ambiental	6	3	0	0	0	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la pregunta se muestran gráficamente en la figura 57.

Figura 57

Gráfico del Método de Instalación más Usado para la Metodología Cured In Place Pipe



Fuente: Elaboración Propia

4.2. Análisis de resultados

Analizando el proceso constructivo podemos identificar las ventajas y desventajas que existe de ambas tecnologías.

Ventajas de la tecnología Pipe Bursting

- Menor tiempo de ejecución respecto de los métodos tradicionales de rehabilitación. Tomándose una jornada laboral el tiempo de la rehabilitación y hasta dos días el cambio de las conexiones domiciliarias de desagüe que empalman a la red.
- El costo para su ejecución es menor en comparación a los métodos convencionales ya que intervienen menor trabajadores y menor cantidad de maquinaria y la rehabilitación se hace en menos tiempo.
- Mejora las características hidráulicas de la red de alcantarillado a pesar de la disminución de su diámetro interno de la tubería. El uso de esta tecnología permite el aumento del diámetro si así el proyecto lo demandase.
- Se reduce en un 80% el uso de excavaciones con respecto a los métodos convencionales de excavación.
- Técnica aplicada en el Perú.

Desventajas de la tecnología Pipe Bursting

- Aun se hace necesaria el uso de excavaciones en las ventanas y conexiones lo que genera un impacto negativo en los usuarios, negocios y medio ambiente aledaños, aunque con un tiempo de impacto más corto.
- La fragmentación de la tubería existente podría generar problemas o inconvenientes en los servicios adyacentes a la red de alcantarillado.

Ventajas de la tecnología CIPP

- El promedio del tiempo de instalación dura un día aproximadamente o una jornada laboral y en comparación con los métodos tradicionales el tiempo disminuye en un 75 %.
- La tecnología no implica ocupar grandes áreas o zonas de trabajo, por lo que no interfiere con la vida diaria del ciudadano y los negocios aledaños.

- En comparación al método tradicional se reduce en un 100% el uso de excavaciones.
- La tecnología más conveniente si se quiere la preservación del medio ambiente en la zona de estudio.
- Los equipos robotizados dan una ventaja en tiempo para la rehabilitación total de un tramo de red de alcantarillado.

Desventajas de la tecnología CIPP

- Por la cantidad de equipo robotizados y especializados que se utilizan para su rehabilitación el costo puede ser mayor en comparación a los métodos convencionales.
- Técnica poco conocida y aun no aplicada en el Perú.
- Requiere de trabajadores con un perfil profesional superior a los utilizados en las rehabilitaciones convencionales.

Analizando de las propiedades hidráulicas de las redes de alcantarillado se obtiene lo siguiente:

Se da un incremento teórico de la velocidad luego de las rehabilitaciones de las redes de alcantarillado, esto en gran medida por el nuevo material de la tubería. Este aumento de velocidad se puede apreciar a continuación en la tabla 41, además se muestra la verificación al cumplimiento de la norma peruana que establece una velocidad mínima de 0.6 m/s, la cual se cumple inicialmente en 14 tramos y se cumple en 34 tramos luego de la rehabilitación con la tecnología Pipe Bursting, pero solo se cumple en 29 tramos luego de la rehabilitación con CIPP.

Tabla 41

Tabla Comparativa de Velocidades

N	V-CSN	VALIDAR	V-PEAD	VALIDAR	V-MANGA	VALIDAR
°	(m/s)		(m/s)		(m/s)	
1	0.3082	NO CUMPLE	0.4657	NO CUMPLE	0.4300	NO CUMPLE
2	0.3584	NO CUMPLE	0.5426	NO CUMPLE	0.5011	NO CUMPLE
3	0.3649	NO CUMPLE	0.5516	NO CUMPLE	0.5093	NO CUMPLE

4	0.4650	NO CUMPLE	0.7028	SI CUMPLE	0.6486	SI CUMPLE
5	0.3984	NO CUMPLE	0.6028	SI CUMPLE	0.5567	NO CUMPLE
6	0.4267	NO CUMPLE	0.6454	SI CUMPLE	0.5959	NO CUMPLE
7	0.3570	NO CUMPLE	0.5394	NO CUMPLE	0.4981	NO CUMPLE
8	0.3278	NO CUMPLE	0.4958	NO CUMPLE	0.4578	NO CUMPLE
9	0.3459	NO CUMPLE	0.5225	NO CUMPLE	0.4826	NO CUMPLE
10	0.5446	NO CUMPLE	0.8245	SI CUMPLE	0.7613	SI CUMPLE
11	0.4059	NO CUMPLE	0.6138	SI CUMPLE	0.5667	NO CUMPLE
12	0.4793	NO CUMPLE	0.7254	SI CUMPLE	0.6700	SI CUMPLE
13	0.1954	NO CUMPLE	0.2956	NO CUMPLE	0.2729	NO CUMPLE
14	0.4318	NO CUMPLE	0.6530	SI CUMPLE	0.6030	SI CUMPLE
15	0.5251	NO CUMPLE	0.7954	SI CUMPLE	0.7344	SI CUMPLE
16	0.4305	NO CUMPLE	0.6510	SI CUMPLE	0.6011	SI CUMPLE
17	0.2670	NO CUMPLE	0.4043	NO CUMPLE	0.3734	NO CUMPLE
18	0.8057	SI CUMPLE	1.2193	SI CUMPLE	1.1260	SI CUMPLE
19	0.3522	NO CUMPLE	0.5319	NO CUMPLE	0.4913	NO CUMPLE
20	0.4612	NO CUMPLE	0.6971	SI CUMPLE	0.6434	SI CUMPLE
20	0.5574	NO CUMPLE	0.8429	SI CUMPLE	0.7784	SI CUMPLE
21	0.6070	SI CUMPLE	0.9179	SI CUMPLE	0.8476	SI CUMPLE
22	0.3583	NO CUMPLE	0.5409	NO CUMPLE	0.4988	NO CUMPLE
23	0.2002	NO CUMPLE	0.3023	NO CUMPLE	0.2793	NO CUMPLE
24	0.4309	NO CUMPLE	0.6511	SI CUMPLE	0.6011	SI CUMPLE
24	0.7500	SI CUMPLE	1.1373	SI CUMPLE	1.0503	SI CUMPLE
25	0.9279	SI CUMPLE	1.4035	SI CUMPLE	1.2958	SI CUMPLE
26	0.4180	NO CUMPLE	0.6322	SI CUMPLE	0.5837	NO CUMPLE
27	0.3812	NO CUMPLE	0.5782	SI CUMPLE	0.5340	NO CUMPLE
28	0.5193	NO CUMPLE	0.7875	SI CUMPLE	0.7272	SI CUMPLE
29	0.6786	SI CUMPLE	1.0309	SI CUMPLE	0.9521	SI CUMPLE
30	0.7269	SI CUMPLE	1.1034	SI CUMPLE	1.0190	SI CUMPLE
31	0.6059	SI CUMPLE	0.9192	SI CUMPLE	0.8489	SI CUMPLE
32	0.3854	NO CUMPLE	0.5900	NO CUMPLE	0.5383	NO CUMPLE
33	0.5232	NO CUMPLE	0.7912	SI CUMPLE	0.7323	SI CUMPLE
34	0.8225	SI CUMPLE	1.2200	SI CUMPLE	1.1516	SI CUMPLE
35	0.5295	NO CUMPLE	0.7854	SI CUMPLE	0.7413	SI CUMPLE
36	0.5140	NO CUMPLE	0.7797	SI CUMPLE	0.7176	SI CUMPLE
37	0.7007	SI CUMPLE	1.0599	SI CUMPLE	0.9787	SI CUMPLE
38	0.8026	SI CUMPLE	1.2213	SI CUMPLE	1.1325	SI CUMPLE

39	1.0489	SI CUMPLE	1.5928	SI CUMPLE	1.4525	SI CUMPLE
40	0.3608	NO CUMPLE	0.5445	NO CUMPLE	0.5028	NO CUMPLE
41	0.3327	NO CUMPLE	0.5022	NO CUMPLE	0.4639	NO CUMPLE
42	0.6638	SI CUMPLE	1.0052	SI CUMPLE	0.9283	SI CUMPLE
43	0.2775	NO CUMPLE	0.4195	NO CUMPLE	0.3872	NO CUMPLE
44	1.2352	SI CUMPLE	1.8771	SI CUMPLE	1.7336	SI CUMPLE
45	0.4929	NO CUMPLE	0.7462	SI CUMPLE	0.6891	SI CUMPLE
46	0.4403	NO CUMPLE	0.6679	SI CUMPLE	0.6138	SI CUMPLE
47	0.6625	SI CUMPLE	1.0021	SI CUMPLE	0.9253	SI CUMPLE

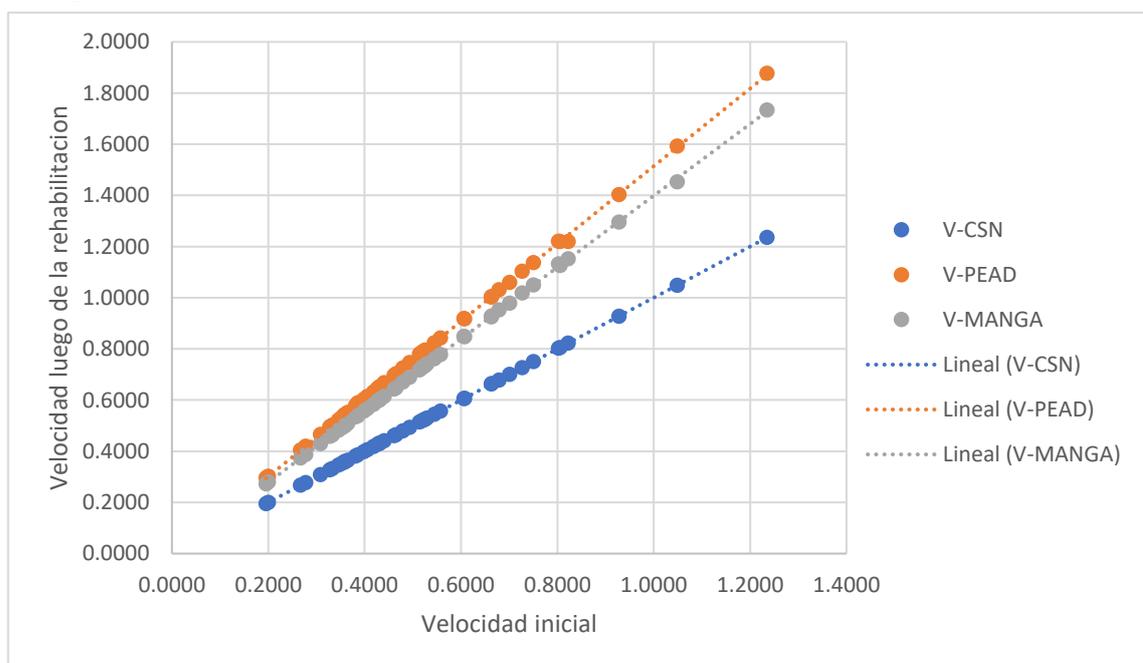
Nota: V-CSN, hace referencia a la velocidad del flujo en la tubería de concreto; V-PEAD, hace referencia a la velocidad del flujo con el material de tubería nuevo usado en el Pipe Bursting y V-Manga, hace referencia a la velocidad del flujo con el material nuevo usado con el CIPP

Fuente: Elaboración Propia

Se puede apreciar gráficamente en la figura 58, como la velocidad de ambas tecnologías aumenta en comparación a la velocidad inicial.

Figura 58

Comparación de Velocidades



Fuente: Elaboración propia

Caso contrario ocurre con la tensión tractiva que disminuye luego de la rehabilitación de las redes de alcantarillado, según la norma que establece un mínimo de 1 Pa. se aprecia en la tabla 42 que inicialmente 4 tramos de las redes de alcantarillado no cumplían con la norma y que luego de las rehabilitaciones por la tecnología Pipe Bursting y CIPP aumentarían en 2 los números de tramos que no cumplirían.

Tabla 42

Tabla Comparativa de Tensiones Tractivas

N°	TENSIÓN TRACTIVA		TENSIÓN TRACTIVA PIPE BURSTING		TENSIÓN TRACTIVA CIPP	
	INICIAL	VALIDAR		VALIDAR		VALIDAR
1	1.0571	SI CUMPLE	0.8281	NO CUMPLE	0.8605	NO CUMPLE
2	1.1710	SI CUMPLE	0.9201	SI CUMPLE	0.9562	SI CUMPLE
3	1.3583	SI CUMPLE	1.0651	SI CUMPLE	1.1068	SI CUMPLE
4	2.3976	SI CUMPLE	1.8796	SI CUMPLE	1.9517	SI CUMPLE
5	1.4956	SI CUMPLE	1.1741	SI CUMPLE	1.2204	SI CUMPLE
6	1.7793	SI CUMPLE	1.3963	SI CUMPLE	1.4510	SI CUMPLE
7	1.4376	SI CUMPLE	1.1262	SI CUMPLE	1.1705	SI CUMPLE
8	1.0370	SI CUMPLE	0.8139	NO CUMPLE	0.8459	NO CUMPLE
9	1.2828	SI CUMPLE	1.0045	SI CUMPLE	1.0446	SI CUMPLE
10	2.7237	SI CUMPLE	2.1401	SI CUMPLE	2.2238	SI CUMPLE
11	1.6897	SI CUMPLE	1.3255	SI CUMPLE	1.3772	SI CUMPLE
12	2.1159	SI CUMPLE	1.6620	SI CUMPLE	1.7276	SI CUMPLE
13	0.3758	NO CUMPLE	0.2948	NO CUMPLE	0.3064	NO CUMPLE
14	1.8297	SI CUMPLE	1.4357	SI CUMPLE	1.4919	SI CUMPLE
15	2.4224	SI CUMPLE	1.9054	SI CUMPLE	1.9800	SI CUMPLE
16	1.8238	SI CUMPLE	1.4307	SI CUMPLE	1.4870	SI CUMPLE
17	0.6391	NO CUMPLE	0.5024	NO CUMPLE	0.5221	NO CUMPLE
18	6.0567	SI CUMPLE	4.7568	SI CUMPLE	4.9439	SI CUMPLE
19	1.3933	SI CUMPLE	1.0906	SI CUMPLE	1.1339	SI CUMPLE
20	2.3103	SI CUMPLE	1.8110	SI CUMPLE	1.8809	SI CUMPLE
20	3.1078	SI CUMPLE	2.4377	SI CUMPLE	2.5337	SI CUMPLE
21	3.6852	SI CUMPLE	2.8907	SI CUMPLE	3.0044	SI CUMPLE
22	1.7420	SI CUMPLE	1.3634	SI CUMPLE	1.4138	SI CUMPLE

23	0.4674	NO CUMPLE	0.3658	NO CUMPLE	0.3806	NO CUMPLE
24	2.0852	SI CUMPLE	1.6337	SI CUMPLE	1.6975	SI CUMPLE
24	4.6874	SI CUMPLE	3.6929	SI CUMPLE	3.8386	SI CUMPLE
25	8.3527	SI CUMPLE	6.5549	SI CUMPLE	6.8108	SI CUMPLE
26	1.7478	SI CUMPLE	1.3712	SI CUMPLE	1.4249	SI CUMPLE
27	1.1939	SI CUMPLE	0.9411	SI CUMPLE	0.9781	SI CUMPLE
28	2.2418	SI CUMPLE	1.7663	SI CUMPLE	1.8358	SI CUMPLE
29	3.6147	SI CUMPLE	2.8556	SI CUMPLE	2.9686	SI CUMPLE
30	4.2551	SI CUMPLE	3.3571	SI CUMPLE	3.4894	SI CUMPLE
31	3.0170	SI CUMPLE	2.3781	SI CUMPLE	2.4717	SI CUMPLE
32	1.4210	SI CUMPLE	1.1356	SI CUMPLE	1.1591	SI CUMPLE
33	2.3340	SI CUMPLE	1.8311	SI CUMPLE	1.9096	SI CUMPLE
34	5.6947	SI CUMPLE	4.3400	SI CUMPLE	4.6612	SI CUMPLE
35	2.3597	SI CUMPLE	1.7984	SI CUMPLE	1.9315	SI CUMPLE
36	2.1706	SI CUMPLE	1.7110	SI CUMPLE	1.7695	SI CUMPLE
37	4.6973	SI CUMPLE	3.6869	SI CUMPLE	3.8315	SI CUMPLE
38	4.5141	SI CUMPLE	3.5748	SI CUMPLE	3.7387	SI CUMPLE
39	7.5246	SI CUMPLE	5.9405	SI CUMPLE	6.0591	SI CUMPLE
40	1.6654	SI CUMPLE	1.3024	SI CUMPLE	1.3536	SI CUMPLE
41	1.3469	SI CUMPLE	1.0538	SI CUMPLE	1.0958	SI CUMPLE
42	3.9235	SI CUMPLE	3.0848	SI CUMPLE	3.2063	SI CUMPLE
43	0.8114	NO CUMPLE	0.6362	NO CUMPLE	0.6609	NO CUMPLE
44	11.9127	SI CUMPLE	9.4143	SI CUMPLE	9.7863	SI CUMPLE
45	2.1989	SI CUMPLE	1.7279	SI CUMPLE	1.7962	SI CUMPLE
46	1.7005	SI CUMPLE	1.3403	SI CUMPLE	1.3827	SI CUMPLE
47	4.1991	SI CUMPLE	3.2958	SI CUMPLE	3.4251	SI CUMPLE

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los tirantes hallados luego de las rehabilitaciones por Pipe Bursting y CIPP se observa una disminución promedio respecto al tirante inicial de 23.56% y 24.11% para la tecnología Pipe Bursting y Cured In Place Pipe respectivamente, esto se puede apreciar en la tabla 43, lo que podemos interpretar que, al disminuir el diámetro, el tirante no aumenta, sino que disminuye.

Tabla 43

Tabla Comparativa de Tirantes del Flujo

N°	TIRANTE INICIAL	TIRANTE PIPE BURSTING	DISMINUCIÓN (%)	TIRANTE CIPP	DISMINUCIÓN (%)
1	0.019	0.0144	0.2224	0.0143	0.2274
2	0.035	0.0272	0.2261	0.0271	0.2311
3	0.024	0.0189	0.2240	0.0188	0.2290
4	0.019	0.0146	0.2215	0.0145	0.2272
5	0.032	0.0244	0.2253	0.0243	0.2301
6	0.028	0.0217	0.2245	0.0216	0.2295
7	0.018	0.0138	0.2227	0.0137	0.2276
8	0.029	0.0226	0.2248	0.0224	0.2297
9	0.021	0.0162	0.2235	0.0161	0.2279
10	0.034	0.0266	0.2257	0.0264	0.2307
11	0.024	0.0186	0.2234	0.0185	0.2284
12	0.034	0.0263	0.2257	0.0262	0.2304
13	0.027	0.0213	0.2245	0.0211	0.2296
14	0.028	0.0214	0.2245	0.0213	0.2295
15	0.040	0.0307	0.2268	0.0305	0.2320
16	0.027	0.0212	0.2246	0.0211	0.2294
17	0.037	0.0288	0.2265	0.0286	0.2316
18	0.033	0.0252	0.2252	0.0251	0.2302
19	0.018	0.0140	0.2234	0.0139	0.2279
20	0.020	0.0156	0.2224	0.0154	0.2277
20	0.026	0.0202	0.2239	0.0201	0.2288
21	0.026	0.0202	0.2239	0.0201	0.2288
22	0.010	0.0078	0.2209	0.0077	0.2270
23	0.016	0.0124	0.2232	0.0124	0.2272
24	0.018	0.0140	0.2226	0.0139	0.2277
24	0.048	0.0367	0.2289	0.0365	0.2340
25	0.029	0.0222	0.2246	0.0221	0.2297
26	0.026	0.0202	0.2237	0.0201	0.2288
27	0.050	0.0385	0.2297	0.0383	0.2348
28	0.048	0.0370	0.2290	0.0368	0.2341
29	0.059	0.0452	0.2320	0.0449	0.2371
30	0.054	0.0413	0.2307	0.0410	0.2358

31	0.050	0.0385	0.2297	0.0383	0.2348
32	0.030	0.0237	0.2099	0.0231	0.2301
33	0.044	0.0338	0.2309	0.0337	0.2330
34	0.046	0.0342	0.2562	0.0353	0.2337
35	0.046	0.0342	0.2562	0.0353	0.2337
36	0.050	0.0385	0.2297	0.0380	0.2391
37	0.030	0.0231	0.2290	0.0231	0.2301
38	0.085	0.0520	0.3882	0.0518	0.3901
39	0.088	0.0430	0.5121	0.0369	0.5820
40	0.012	0.0093	0.2225	0.0093	0.2270
41	0.014	0.0109	0.2213	0.0108	0.2258
42	0.038	0.0294	0.2265	0.0292	0.2315
43	0.022	0.0171	0.2230	0.0170	0.2282
44	0.060	0.0461	0.2323	0.0458	0.2374
45	0.036	0.0279	0.2263	0.0277	0.2311
46	0.040	0.0310	0.2252	0.0305	0.2365
47	0.030	0.0232	0.2251	0.0231	0.2301

Fuente: Elaboración propia

El análisis realizado nos permite realizar la siguiente matriz comparativa de ambas tecnologías con respecto a sus propiedades hidráulicas, las cuales serán mostradas en la tabla 44, a continuación.

Tabla 44

Cuadro Comparativo de las Propiedades Hidráulicas de las Tecnologías Pipe Bursting y Cured In Place Pipe

Variables hidráulicas	Tecnologías			
	Pipe Bursting		CIPP	
	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Velocidad	Aumento de la velocidad en un 51.26% lo que mejora la velocidad inicial que se encontraba	Hay la posibilidad de que sobrepase el límite de velocidad impuesto en la norma de 5 m/s	Aumento de la velocidad en un 39.72 % lo que mejora la velocidad inicial que se encontraba debajo del	Hay la posibilidad de que sobrepase el límite de velocidad impuesto en la norma de 5 m/s

	debajo del mínimo de 0.6 m/s		mínimo de 0.6 m/s	
Tensión tractiva	Se mantiene el valor de la tensión tractiva dentro del valor mínimo según norma de 1 Pa	Disminuye en algunos casos y el valor no se encuentran dentro del mínimo	Se mantiene el valor de la tensión tractiva dentro del valor mínimo según norma de 1 Pa	Disminuye en algunos casos y el valor no se encuentran dentro del mínimo
Tirante	Disminuye en un 23.56% de la inicial por lo que permite un aumento del caudal en un aumento de población a futuro	Impacta en el valor de la tensión tractiva ya que genera una disminución de su valor	Disminuye en un 24.11% de la inicial por lo que permite un aumento del caudal en un aumento de población a futuro	Impacta en el valor de la tensión tractiva ya que genera una disminución de su valor
Tubería	Su coeficiente de Manning permite al disminuir el diámetro el tirante no aumente	Disminuye el diámetro	Su coeficiente de Manning permite al disminuir el diámetro el tirante no aumente	Disminuye el diámetro

Fuente: Elaboración propia

Analizando de las encuestas realizadas a los especialistas se obtiene lo siguiente:

De las preguntas realizadas a los especialistas se desarrollará la matriz cualitativa y cuantitativa que nos indicará el impacto del proceso constructivo con las tecnologías Pipe Bursting y Curen In Place Pipe. Para cumplir con el objetivo de esta matriz se toma como referencia el criterio metodológico de la consultora ambiental Domus, quien ha elaborado una serie de pasos para la calificación del impacto que generan las actividades de un proyecto.

El primer paso será valorar el impacto que tienen las actividades con el medio ambiente o la sociedad, esta valoración será de carácter cualitativo y se calificará según se muestra en la figura 59.

Figura 59

Cuadro de Impacto Directo e Indirecto

ITEM	DESCRIPCIÓN	SIGNO
D	Impacto negativo directo	-1
I	Impacto negativo indirecto	-1
D	Impacto positivo directo	+1
I	Impacto positivo indirecto	+1

Fuente: Domus, Consultora Ambiental

Luego se procede a identificar los impactos potenciales del proceso constructivo de cada tecnología sin zanja. Las cuales se muestra en la tabla 45.

Tabla 45

Tabla de Identificación de Impactos Potenciales

SISTEMA AMBIENTAL	COMPONENTE AMBIENTAL	FACTOR AMBIENTAL
FÍSICO	ATMOSFERA	RUIDO
		VIBRACIÓN
		HUMOS Y GASES
		POLVO
	SUELO	MODIFICACIÓN DEL RELIEVE
		CONTAMINACIÓN
BIÓTICOS	FLORA	COBERTURA VEGETAL
SOCIOECONÓMICO	SOCIAL	MOLESTIAS
		SALUD E HIGIENE
		BIENESTAR DE LA POBLACIÓN
		ACCESIBILIDAD PEATONAL
		TRANSITO
	ECONOMÍA	ZONA COMERCIAL

Fuente: Elaboración Propia

Generando se así la matriz cualitativa que se muestra en la tabla 46 y 47.

Tabla 46 Matriz Cualitativa de Identificación de Impactos Directos e Indirectos del Proceso Constructivo de la Tecnología Pipe Bursting.

IMPACTOS AMBIENTALES			PROCESO CONSTRUCTIVO (PIPE BURSTING)		SEÑALIZACIÓN DE ZONA DE TRABAJO	CORTE Y ROTURA DE PAVIMENTO DE VENTANAS Y CONEXIONES DOMICILIARIAS	CORTE Y ROTURA DE VEREDAS	EXCAVACIÓN DE VENTANAS Y CONEXIONES DOMICILIARIAS	SOLDADURA DE TUBERÍAS	INSTALACIÓN DE EQUIPO DE FRAGMENTACIÓN	REHABILITACIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO	INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE CONEXIONES DOMICILIARIAS	INSTALACIÓN DE CAJAS DE REGISTROS	RELLENO Y COMPACTACIÓN DE ZANJAS	REPOSICIÓN DE PAVIMENTO	REPOSICIÓN DE VEREDAS
			FÍSICO	ATMOSFERA	RUIDO		D	D	D			D				
VIBRACIÓN		D			D	D					I			D	D	
HUMOS Y GASES						D								D		
POLVO		D			D	D			D	I	D	D	D	D		D
SUELO	MODIFICACIÓN DEL RELIEVE			D	D	D								D		
	CONTAMINACIÓN		D	D	D						I	I				
BIÓTICOS	FLORA	COBERTURA VEGETAL		D	D	D										
SOCIO ECONÓMICO	SOCIAL	MOLESTIAS		D	D	D	D	D				D	D	D	I	
		SALUD E HIGIENE		D	D	D						D	D			
		BIENESTAR DE LA POBLACIÓN		D	D	D	D							I	D	D
		ACCESIBILIDAD PEATONAL	I	D	D	D				I				I	I	D
	TRANSITO	I	D		D	I	I	D	D	D	D	D	I	D		
ECONOMÍA	ZONA COMERCIAL		I	D	D			I	I	I	I	I	I	D	D	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47 Matriz Cualitativa de Identificación de Impactos Directos e Indirectos del Proceso Constructivo de la Tecnología Cured In Place Pipe.

CURED IN PLACE PIPE (CIPP)			SEÑALIZACIÓN DE ZONA DE TRABAJO	INSPECCIÓN TELEVISIVA	UBICACIÓN DE ACOMETIDAS	IMPREGNACIÓN DE RESINA A MANGA DE REVESTIMIENTO	UBICACIÓN DE EQUIPOS	INSERCIÓN DE MANGA A ACOMETIDA	INSTALACIÓN DEL EQUIPO	CURADO CON RAYOS UV	ENFRIAMIENTO DE LA MANGA	INSERCIÓN DE ROBOT FRESADO	
													IMPACTOS AMBIENTALES
FÍSICO	ATMOSFERA	RUIDO			D	D		D	D	D	D	D	
		VIBRACIÓN				D			I				
		HUMOS Y GASES		D				D	D				
		POLVO			D								D
	SUELO	MODIFICACIÓN DEL RELIEVE			I								
		CONTAMINACIÓN		D	I	D				I	I		
BIÓTICOS	FLORA	COBERTURA VEGETAL								I			
SOCIO ECONÓMICO	SOCIAL	MOLESTIAS		I	D	D	D	D	D	D	D	D	
		SALUD E HIGIENE		I	D	D	D			D	D		
		BIENESTAR DE LA POBLACIÓN			I	D							I
		ACCESIBILIDAD PEATONAL	I		D		I	I	I	I	I		I
		TRANSITO	I		D		D	I	D	I	I	D	I
	ECONOMÍA	ZONA COMERCIAL							I	I		I	

Fuente: Elaboración propia

De la matriz cualitativa obtenida para la tecnología Pipe Bursting se muestra que durante los trabajos de corte, rotura y excavaciones se generan los mayores impactos negativos directos e indirectos en la población, mientras que los impactos positivos directos e indirectos se reflejan durante la reposición de veredas, pavimento y en el relleno y compactación de zanjas en el ámbito social y económico.

De la matriz cualitativa obtenida para la tecnología Cured In Place Pipe se muestra que durante los trabajos de ubicación de acometidas se generan los mayores impactos negativos directos e indirectos en la población, mientras que los impactos positivos directos e indirectos se reflejan durante el curado con rayos UV en el ámbito social y económico.

Realizando el análisis comparativo de ambas tecnologías, se realiza la siguiente matriz comparativa en la tabla 48 de las ventajas y desventajas sociales, ambientales y económicas que se presentan durante su proceso constructivo.

Tabla 48

Matriz comparativa de los factores Sociales, Ambientales y Económicos de las Tecnología Pipe Bursting y Cured In Place Pipe

Factores sociales, ambientales y económicos	Tecnologías			
	Pipe Bursting		CIPP	
	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Ruido	-	Uso de máquinas y equipos	No usa maquinarias pesadas	-
Vibración	-	Uso de máquinas pesadas	No usa maquinarias pesadas	-
Humo y gases	Uso de máquinas y equipo en menor tiempo	-	No usa maquinarias pesadas	-
Polvo	-	Movimiento de tierra	No hay movimiento de tierras	-

Modificación del relieve	-	Excavaciones	No utiliza excavaciones	-
Contaminación	-	Se generan desmonte a causa del movimiento de tierras	No se generan residuos sólidos en la rehabilitación	-
Cobertura vegetal	-	Se dañan la cobertura vegetal por las excavaciones	No se dañan las coberturas vegetales	-
Molestias	El tiempo de rehabilitación dura menos de un día	-	El tiempo de rehabilitación dura menos de un día	-
Salud e higiene	-	Contacto del trabajador con los residuos sólidos del alcantarillado	Poco contacto del trabajador con los residuos del alcantarillado	-
Accesibilidad Peatonal	-	Restricción de accesos peatonales por la rotura y demolición de	No se restringe el paso peatonal durante la rehabilitación	-
Transito	-	Restricción del tránsito durante la rehabilitación	-	Se restringe el tránsito vehicular, pero en menor medida
Zona comercial	-	Restricción de accesos a comercios durante la rehabilitación	No se restringen los accesos a zonas comerciales	-
Mano de obra	Bajo uso de mano de obra	-	-	Mano de obra especializada
Costos	Uso de máquinas y equipo en menor tiempo	-	-	Uso de equipos robotizados especializados

Reposiciones	-	Se generan costos adicionales por reposición de estructuras dañadas	No hay gastos de reposición en estructuras, salvo casos excepcionales	-
--------------	---	---	---	---

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber calificado cualitativamente el impacto ambiental que se procede a calificar el impacto dando valores y clasificándolos en una escala de niveles según su resultado como se muestra a continuación en la figura 60.

Figura 60

Rango de Niveles de Significación

IMPACTOS POSITIVOS		
Símbolo	Nivel de Significación	Rango
PS	Poco significativo	- 13 a - 25
MoS	Moderadamente significativo	- 26 a - 50
MuS	Muy significativo	- 51 a - 75
AS	Altamente significativo	- 76 a - 100
IMPACTOS NEGATIVOS		
ps	Poco significativo	13 a 25
mos	Moderadamente significativo	26 a 50
mus	Muy significativo	51 a 75
as	Altamente significativo	76 a 100

Fuente: Domus, Consultora Ambiental

El valor de la calificación será dado por el índice de significancia (S) de la ecuación 14 que a continuación se muestra.

$$S = \pm(3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC) \quad (15)$$

El factor de S estará dado en función de once atributos. Los cuales se describen y se valorizan a continuación:

Intensidad (IN), se refiere al grado de incidencia. Los valores y su descripción se muestran a continuación en la tabla 49.

Tabla 49

Calificación de Intensidad

Intensidad	Valor	Descripción
Baja	1	Afectación mínima
Media	2	Afectación media
Alta	4	Afectación alta
Total	12	Destrucción total del área de influencia

Fuente: Domus, Consultora Ambiental

Extensión (EX), se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno. Los valores y su descripción se muestran a continuación en la tabla 50.

Tabla 50

Calificación de la Extensión

Extensión	Valor	Descripción
Puntual	1	Efecto localizado
Parcial	2	Efecto apreciable en el entorno
Total	4	Efecto generalizado

Fuente: Domus, Consultora Ambiental

Momento (Mo), se refiere al plazo de la manifestación del impacto. Los valores y su descripción se muestran a continuación en la tabla 51.

Tabla 51

Calificación del Momento

Momento	Valor	Descripción
Largo plazo	1	Tiempos mayores a 2 días
Medio Plazo	2	Tiempos menores a 1 día
Corto Plazo	3	Tiempos menores a 6 horas

Fuente: Elaboración propia

Persistencia (PE), se refiere a cuánto dura el impacto. Los valores y su descripción se muestran a continuación en la tabla 52.

Tabla 52

Calificación de la Persistencia

Persistencia	Valor	Descripción
Momentáneo	1	La duración del impacto es menor a 6 h.
Temporal	2	La duración es de 6 h. a 2 días
Persistente	3	La duración supera los 2 días

Fuente: Elaboración propia

Reversibilidad (RV), se refiere a la recuperación del factor afectado por el proyecto. Los valores y su descripción se muestran a continuación en la tabla 53.

Tabla 53

Calificación de Reversibilidad

Reversibilidad	Valor	Descripción
Corto plazo	1	Recuperación inmediata
Medio plazo	2	Recuperación entre 1 a 2 días
Irreversible	3	No se pueden recuperar

Fuente: Elaboración propia

Sinergia (SI), se refiere a que dos o más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales. Los valores y su descripción se muestran a continuación en la tabla 54.

Tabla 54

Calificación de Sinergia

Sinergia	Valor	Descripción
Simple	1	No hay sinergia
Moderado	2	Sinergia moderada
Muy Sinérgico	4	Alta sinergia

Fuente: Domus, Consultora Ambiental

Acumulación (AC), incremento de la manifestación del efecto. Los valores y su descripción se muestran a continuación en la tabla 55.

Tabla 55

Calificación de Acumulación

Acumulación	Valor	Descripción
Simple	1	Acción individualizada
Acumulativo	4	Se incrementa la magnitud con el tiempo

Fuente: Domus, Consultora Ambiental

Efecto (EF), se refiere a la causa-efecto. Los valores y su descripción se muestran a continuación en la tabla 56.

Tabla 56

Calificación del Efecto

Efecto	Valor	Descripción
Indirecto	1	Producido por un impacto anterior
Directo	4	Relación causa efecto directo

Fuente: Domus, Consultora Ambiental

Periodicidad (PR), se refiere a la regularidad de manifestación del efecto. se refiere a la causa-efecto. Los valores y su descripción se muestran a continuación en la tabla 57.

Tabla 57

Calificación de la Periodicidad

Periodicidad	Valor	Descripción
Irregular	1	El efecto se repite de manera irregular
Periódico	2	El efecto se repite de manera regular
Continuo	4	Efectos continuos en el tiempo

Fuente: Domus, Consultora Ambiental

Recuperabilidad (MC), posibilidad de reconstrucción de la afectación. Los valores y su descripción se muestran a continuación en la tabla 58.

Tabla 58

Calificación de la Recuperabilidad

Recuperabilidad	Valor	Descripción
Corto plazo	2	Recuperable en menos de 1 día
Medio plazo	3	Recuperable en 1 a 2 días
Largo plazo	4	Recuperable más de 2 días
Irrecuperable	8	No se puede reparar

Fuente: Domus, Consultora Ambiental

Con los valores descritos en los y las magnitudes definidas en conjunto con la identificación de impactos se obtendrán los valores de cada factor ambiental, obteniéndose así la matriz cuantitativa para tecnología Pipe Bursting y Cured In Place Pipe mostradas en la tabla 59 y 60, respectivamente.

Tabla 59 Matriz Cuantitativa de los Impactos Directos e Indirectos del Proceso Constructivo de la Tecnología Pipe Bursting.

PROCESO CONSTRUCTIVO (PIPE BURSTING)	ASPECTOS AMBIENTALES	CALIFICACIÓN DEL IMPACTO DE LA TECNOLOGÍA PIPE BURSTING											
		Signo	(IN)	(EX)	(MO)	(PE)	(RV)	(SI)	(AC)	(EF)	(PR)	(MC)	VALOR
SEÑALIZACIÓN DE ZONA DE TRABAJO	RESTRICCIÓN DEL PASO VEHICULAR	-1	1	1	3	2	1	1	1	1	2	2	-18
	RESTRICCIÓN DEL PASO PEATONAL	-1	1	1	3	2	1	1	1	1	2	2	-18
CORTE Y ROTURA DE PAVIMENTO DE VENTANAS Y CONEXIONES DOMICILIARIAS	INCREMENTO DE LOS NIVELES DE RUIDO	-1	4	4	3	2	1	1	1	4	2	2	-36
	ALTERACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL SUELO	-1	1	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-21
	INCREMENTO DE MATERIAL PARTICULADO	-1	1	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-21
	ALTERACIÓN POR LA MODIFICACIÓN DE RELIEVE	-1	4	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-30
	CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR	-1	2	2	3	2	1	1	4	4	2	2	-29

EL DESMONTE GENERADO													
ALTERACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL	-1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	2	2	-18
ALTERACIÓN DEL NORMAL DESARROLLO SOCIAL	-1	1	1	3	2	1	1	4	1	2	2	2	-21
ALTERACIÓN DE LA SALUD LABORAL	-1	2	1	3	2	1	1	1	4	2	2	2	-24
ALTERACIÓN DEL BIENESTAR POBLACIONAL	-1	2	1	3	2	1	1	4	1	2	2	2	-24
AFECCIÓN EN LA ACCESIBILIDAD PEATONAL	-1	2	2	3	2	1	1	4	1	2	2	2	-26
RESTRICCIÓN DEL TRANSITO VEHICULAR	-1	2	2	3	2	1	1	4	1	2	2	2	-26
AFECCIÓN AL DESARROLLO DE	-1	1	1	3	2	1	1	4	1	2	2	2	-21

	NEGOCIOS Y COMERCIOS												
CORTE Y ROTURA DE VEREDAS	INCREMENTO DE LOS NIVELES DE RUIDO	-1	4	4	3	2	1	1	1	4	2	2	-36
	ALTERACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL SUELO	-1	1	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-21
	INCREMENTO DE MATERIAL PARTICULADO	-1	1	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-21
	ALTERACIÓN POR LA MODIFICACIÓN DE RELIEVE	-1	4	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-30
	CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR EL DESMONTE GENERADO	-1	2	2	3	2	1	1	4	4	2	2	-29
	ALTERACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL	-1	1	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-21
	ALTERACIÓN DEL NORMAL	-1	2	1	3	2	1	1	4	1	2	2	-24

	DESARROLLO SOCIAL												
	ALTERACIÓN DE LA SALUD LABORAL	-1	2	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-24
	ALTERACIÓN DEL BIENESTAR POBLACIONAL	-1	2	1	3	2	1	1	4	1	2	2	-24
	AFECCIÓN EN LA ACCESIBILIDAD PEATONAL	-1	2	2	3	2	1	1	4	1	2	2	-26
	AFECCIÓN AL DESARROLLO DE NEGOCIOS Y COMERCIOS	-1	2	2	3	2	1	1	4	1	2	2	-26
EXCAVACIÓN DE VENTANAS Y CONEXIONES DOMICILIARIAS	INCREMENTO DE LOS NIVELES DE RUIDO	-1	2	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-24
	ALTERACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL SUELO	-1	2	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-24
	INCREMENTO DE HUMOS Y GASES	-1	1	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-21

INCREMENTO DE MATERIAL PARTICULADO	-1	4	4	3	2	1	1	1	4	2	2	-36
ALTERACIÓN POR LA MODIFICACIÓN DE RELIEVE	-1	4	2	3	2	1	1	1	4	2	2	-32
CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR EL DESMONTE GENERADO	-1	4	4	3	2	1	1	4	4	2	2	-39
ALTERACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL	-1	1	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-21
ALTERACIÓN DEL NORMAL DESARROLLO SOCIAL	-1	2	1	3	2	1	1	4	1	2	2	-24
ALTERACIÓN DE LA SALUD LABORAL	-1	1	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-21
ALTERACIÓN DEL BIENESTAR POBLACIONAL	-1	2	1	3	2	1	1	4	1	2	2	-24

	AFECCIÓN EN LA ACCESIBILIDAD PEATONAL	-1	2	4	3	2	1	1	4	1	2	2	-30
	RESTRICCIÓN DEL TRANSITO VEHICULAR	-1	4	4	3	2	1	1	4	1	2	2	-36
	AFECCIÓN AL DESARROLLO DE NEGOCIOS Y COMERCIOS	-1	2	1	3	2	1	1	4	1	2	2	-24
SOLDADURA DE TUBERÍAS	ALTERACIÓN DEL NORMAL DESARROLLO SOCIAL	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
	ALTERACIÓN DEL BIENESTAR POBLACIONAL	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
	RESTRICCIÓN DEL TRANSITO VEHICULAR	-1	2	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-20
INSTALACIÓN DE EQUIPO DE FRAGMENTACIÓN	CONTAMINACIÓN POR RUIDO DE LOS EQUIPOS	-1	1	1	3	1	1	1	1	4	2	2	-20

	INCREMENTO DE MATERIAL PARTICULADO	-1	1	1	3	1	1	1	1	4	2	2	-20
	ALTERACIÓN DEL NORMAL DESARROLLO SOCIAL	-1	1	1	3	1	1	1	4	1	2	2	-20
	RESTRICCIÓN DEL TRANSITO VEHICULAR	-1	4	2	3	1	1	1	4	1	2	2	-31
	AFECCIÓN AL DESARROLLO DE NEGOCIOS Y COMERCIOS	-1	1	1	3	1	1	1	4	1	2	2	-20
REHABILITACIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO	ALTERACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL SUELO	-1	1	1	3	1	1	1	1	4	2	2	-20
	INCREMENTO DE MATERIAL PARTICULADO	-1	1	1	3	1	1	1	1	4	2	2	-20
	AFECCIÓN EN LA ACCESIBILIDAD PEATONAL	-1	2	1	3	1	1	1	4	1	2	2	-23

	RESTRICCIÓN DEL TRANSITO VEHICULAR	-1	4	2	3	1	1	1	4	1	2	2	-31
	AFECCIÓN AL DESARROLLO DE NEGOCIOS Y COMERCIOS	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE CONEXIONES DOMICILIARIAS	INCREMENTO DE MATERIAL PARTICULADO	-1	2	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-24
	CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR EL DESMONTE GENERADO	-1	2	1	3	2	1	1	4	4	2	2	-27
	ALTERACIÓN DEL NORMAL DESARROLLO SOCIAL	-1	2	1	3	2	1	1	4	1	2	2	-24
	ALTERACIÓN DE LA SALUD LABORAL	-1	2	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-24
	RESTRICCIÓN DEL TRANSITO VEHICULAR	-1	2	1	3	2	1	1	4	1	2	2	-24

	AFECCIÓN AL DESARROLLO DE NEGOCIOS Y COMERCIOS	-1	2	1	3	2	1	1	4	1	2	2	-24
INSTALACIÓN DE CAJAS DE REGISTROS	INCREMENTO DE MATERIAL PARTICULADO	-1	2	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-24
	CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR EL DESMONTE GENERADO	-1	2	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-24
	ALTERACIÓN DEL NORMAL DESARROLLO SOCIAL	-1	2	1	3	2	1	1	4	1	2	2	-24
	ALTERACIÓN DE LA SALUD LABORAL	-1	2	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-24
	AFECCIÓN EN LA ACCESIBILIDAD PEATONAL	-1	2	1	3	2	1	1	4	1	2	2	-24
	AFECCIÓN AL DESARROLLO DE	-1	2	1	3	2	1	1	4	1	2	2	-24

	NEGOCIOS Y COMERCIOS												
RELLENO Y COMPACTACIÓN DE ZANJAS	INCREMENTO DE LOS NIVELES DE RUIDO	-1	4	2	3	2	1	1	1	4	2	2	-32
	ALTERACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL SUELO	-1	2	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-24
	INCREMENTO DE MATERIAL PARTICULADO	-1	2	1	3	2	1	1	1	4	2	2	-24
	ALTERACIÓN DEL NORMAL DESARROLLO SOCIAL	-1	1	1	3	2	1	1	4	1	2	2	-21
REPOSICIÓN DE PAVIMENTO	INCREMENTO DE LOS NIVELES DE RUIDO	-1	2	1	3	1	1	1	1	4	2	2	-23
	ALTERACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL SUELO	-1	1	1	3	1	1	1	1	4	2	2	-20
	INCREMENTO DE HUMOS Y GASES	-1	1	1	3	1	1	1	1	4	2	2	-20

	ALTERACIÓN DEL NORMAL DESARROLLO SOCIAL	-1	1	1	3	1	1	1	4	1	2	2	-20
REPOSICIÓN DE VEREDAS	INCREMENTO DE MATERIAL PARTICULADO	-1	1	1	3	1	1	1	1	4	2	2	-20

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 60 Matriz Cuantitativa de los Impactos Directos e Indirectos del Proceso Constructivo de la Tecnología Cured In Place Pipe

PROCESO CONSTRUCTIVO (CURED IN PLACE PIPE)	ASPECTOS AMBIENTALES	CALIFICACIÓN DEL IMPACTO DE LA TECNOLOGÍA CURED IN PLACE PIPE											
		Signo	(IN)	(EX)	(MO)	(PE)	(RV)	(SI)	(AC)	(EF)	(PR)	(MC)	(S)
SEÑALIZACIÓN DE ZONA DE TRABAJO	RESTRICCIÓN DEL PASO VEHICULAR	-1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	-17
	RESTRICCIÓN DEL PASO PEATONAL	-1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	-17
INSPECCIÓN TELEVISIVA	INCREMENTO DE HUMOS Y GASES	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
	CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR LOS RESIDUOS DE LA RED DE ALCANTARILLADO	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
	ALTERACIÓN DEL NORMAL DESARROLLO SOCIAL	-1	2	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-20
	ALTERACIÓN DE LA SALUD E HIGIENE LABORAL	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
UBICACIÓN DE ACOMETIDAS	INCREMENTO DE LOS NIVELES DE RUIDO	-1	1	1	3	2	1	1	1	1	2	2	-18

	INCREMENTO DE HUMOS Y GASES	-1	1	1	3	2	1	1	1	1	2	2	-18
	ALTERACIÓN POR LA MODIFICACIÓN DE RELIEVE	-1	1	1	3	2	1	1	1	1	2	2	-18
	CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR LOS RESIDUOS DE LA RED DE ALCANTARILLADO	-1	1	1	3	2	1	1	1	1	2	2	-18
	ALTERACIÓN DEL NORMAL DESARROLLO SOCIAL	-1	2	1	3	2	1	1	1	1	2	2	-21
	ALTERACIÓN DE LA SALUD E HIGIENE LABORAL	-1	1	1	3	2	1	1	1	1	2	2	-18
	AFECTACIÓN EN LA ACCESIBILIDAD PEATONAL	-1	1	1	3	2	1	1	1	1	2	2	-18
	RESTRICCIÓN DEL TRANSITO VEHICULAR	-1	2	1	3	2	1	1	1	1	2	2	-21
IMPREGNACIÓN DE RESINA A MANGA DE REVESTIMIENTO	INCREMENTO DE LOS NIVELES DE RUIDO	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
	ALTERACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL SUELO	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17

	ALTERACIÓN POR LA MODIFICACIÓN DE RELIEVE	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
	CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR LA RESINA	-1	2	2	3	1	1	1	1	4	2	2	-25
	ALTERACIÓN DEL NORMAL DESARROLLO SOCIAL	-1	1	1	3	1	1	1	1	4	2	2	-20
	ALTERACIÓN DE LA SALUD LABORAL	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
	ALTERACIÓN DEL BIENESTAR POBLACIONAL	-1	1	2	3	1	1	1	1	1	2	2	-19
UBICACIÓN DE EQUIPOS	ALTERACIÓN DEL NORMAL DESARROLLO SOCIAL	-1	1	1	3	2	1	1	1	1	2	2	-18
	ALTERACIÓN DE LA SALUD LABORAL	-1	1	1	3	2	1	1	1	1	2	2	-18
	AFECTACIÓN EN LA ACCESIBILIDAD PEATONAL	-1	2	2	3	2		1	1	4	2	2	-25
	RESTRICCIÓN DEL TRANSITO VEHICULAR	-1	2	2	3	2	1	1	1	4	2	2	-26

INSERCIÓN DE LA MANGA A ACOMETIDA	INCREMENTO DE LOS NIVELES DE RUIDO	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
	INCREMENTO DE GASES POR LA RED DE ALCANTARILLADO	-1	1	2	3	1	1	1	1	1	2	2	-19
	ALTERACIÓN DEL NORMAL DESARROLLO SOCIAL	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
	AFECTACIÓN EN LA ACCESIBILIDAD PEATONAL	-1	1	1	3	1	1	1	1	4	2	2	-20
	RESTRICCIÓN DEL TRANSITO VEHICULAR	-1	2	2	3	1	1	1	1	4	2	2	-25
INSTALACIÓN DEL EQUIPO	INCREMENTO DE RUIDO POR EQUIPOS INSTALADOS	-1	2	1	3	2	1	1	1	1	2	2	-21
	ALTERACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL SUELO	-1	1	1	3	2	1	1	1	1	2	2	-18
	INCREMENTO DE HUMOS Y GASES	-1	2	1	3	2	1	1	1	1	2	2	-21
	ALTERACIÓN DEL NORMAL DESARROLLO SOCIAL	-1	1	1	3	2	1	1	1	1	2	2	-18

	AFECTACIÓN EN LA ACCESIBILIDAD PEATONAL	-1	2	2	3	2	1	1	1	4	2	2	-26
	RESTRICCIÓN DEL TRANSITO VEHICULAR	-1	2	2	3	2	1	1	1	4	2	2	-26
	AFECTACIÓN AL DESARROLLO DE NEGOCIOS Y COMERCIOS	-1	1	2	3	2	1	1	1	4	2	2	-23
CURADO CON RAYOS UV	INCREMENTO DE RUIDOS POR EQUIPO DE CURADO	-1	2	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-20
	CONTAMINACIÓN DEL SUELO	-1	2	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-20
	ALTERACIÓN DE COBERTURA VEGETAL	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
	ALTERACIÓN DEL NORMAL DESARROLLO SOCIAL	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
	ALTERACIÓN DE LA SALUD LABORAL	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
	AFECTACIÓN EN LA ACCESIBILIDAD PEATONAL	-1	1	1	3	1	1	1	1	4	2	2	-20

	RESTRICCIÓN DEL TRANSITO VEHICULAR	-1	2	1	3	1	1	1	1	4	2	2	-23
	AFECTACIÓN AL DESARROLLO DE NEGOCIOS Y COMERCIOS	-1	1	1	3	1	1	1	1	4	2	2	-20
ENFRIAMIENTO DE LA MANGA	INCREMENTO DE RUIDOS POR EQUIPO DE CURADO	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
	CONTAMINACIÓN DEL SUELO	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
	ALTERACIÓN DEL NORMAL DESARROLLO SOCIAL	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
	ALTERACIÓN DE LA SALUD LABORAL	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
	RESTRICCIÓN DEL TRANSITO VEHICULAR	-1	2	1	3	1	1	1	1	4	2	2	-23
INSERCIÓN DE ROBOT FRESADOR	INCREMENTO DE LOS NIVELES DE RUIDO	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
	INCREMENTO POR NIVEL DE POLVO	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17
	ALTERACIÓN DEL NORMAL DESARROLLO SOCIAL	-1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	-17

	AFECCIÓN EN LA ACCESIBILIDAD PEATONAL	-1	1	1	3	1	1	1	1	4	2	2	-20
	RESTRICCIÓN DEL TRANSITO VEHICULAR	-1	1	1	3	1	1	1	1	4	2	2	-20
	AFECCIÓN AL DESARROLLO DE NEGOCIOS Y COMERCIOS	-1	1	1	3	1	1	1	1	4	2	2	-20

Fuente: Elaboración Propia

De la matriz cuantitativa expuesta en la Tabla 59 podemos determinar el impacto por los movimientos de tierra, los ruidos generados por los equipos y maquinarias, la accesibilidad peatonal y vehicular y los residuos generados durante el proceso constructivo del Pipe Bursting dan valores moderadamente significativos de impactos negativos en el entorno social, pero predominan los impactos pocos significativos en dicho proceso constructivo.

De la matriz cuantitativa expuesta en la Tabla 60 podemos determinar el impacto por accesibilidad peatonal y vehicular generados durante el proceso constructivo del Cured In Place Pipe dan valores moderadamente significativos de impactos negativos en el entorno social, pero predominan, en su gran mayoría, los impactos pocos significativos en dicho proceso constructivo.

4.3. Constatación de Hipótesis

1. Hipótesis General:

Cuando se analizan la comparación de los métodos constructivos sin zanja en rehabilitaciones de redes de alcantarillado se determina que el método Pipe Bursting tiene un mayor impacto que el método Cured In Place Pipe.

La hipótesis general se cumplió ya que al comparar en la presente tesis los métodos constructivos Pipe Bursting y Cured In Place Pipe se determinó que el Pipe Bursting tiene un mayor impacto que el método Cured In Place Pipe, esto se determina al describir sus procesos constructivos y al realizar las matrices cualitativas y cuantitativas de cada método constructivos y verificar como afecta en los aspectos económicos, sociales y ambientales.

2. Hipótesis Especificas:

- a. Al describir los procesos constructivos Pipe Bursting y Cured In Place Pipe podemos conocer las ventajas y desventajas de estos.

Esta hipótesis se cumplió ya que al conocer y describir los procesos constructivos de las metodologías Pipe Bursting y Cured In Place Pipe se conocerá y podrá comparar entre ellas y la metodología tradicional, en los aspectos más resaltantes como tiempo de ejecución, excavaciones in situ, costo de rehabilitación.

- b. No habrá cambios hidráulicos significativos en las redes de alcantarillado luego de la rehabilitación por los métodos Pipe Bursting y Cured In Place Pipe

Al obtener los resultados de las propiedades hidráulicas de los métodos sin zanja Pipe Bursting y Cured In Place Pipe en ambos se ve un incremento en las velocidades, una disminución de las tensiones tractivas y el tirante también disminuyo, pero están no afectan ya que al finalizar el análisis teórico de la red de alcantarillado mejoran sus propiedades hidráulicas y están dentro de la norma peruana.

- c. Al elaborar la matriz se podrá encontrar las diferencias y semejanzas entre los métodos constructivos de las tecnologías Pipe Bursting y Cured In Place Pipe
Esta hipótesis se cumplió ya que al analizar los resultados de la encuesta realizadas por especialistas que comprenden y conocen los procesos

constructivos de las metodologías Pipe Bursting y Cured In Place Pipe y le dan la valoración a las actividades de los procesos constructivos, se pudo determinar las diferencias y semejanzas de las metodologías de una manera más segura y exacta.

CONCLUSIONES

1. Al realizar el análisis comparativo de las tecnologías sin zanja Pipe Bursting y Cured In Place Pipe se determina que esta última presenta una mayor ventaja con respecto al impacto ambiental y social debido a su proceso constructivo y los métodos que se emplean, además ambas tecnologías mejoran el comportamiento hidráulico de las redes de alcantarillado.
2. El proceso constructivo de la tecnología Cured In Place Pipe tiene una mayor ventaja ambiental y social que el proceso constructivo de la tecnología Pipe Bursting principalmente porque el método utiliza de máquinas pesadas para el movimiento de tierras, ya que las excavaciones dañan la vegetación y estructuras en el área de trabajo, además se requiere de demoliciones de estructuras como el pavimento y las veredas para su construcción mientras que la tecnología Cured In Place Pipe presenta un proceso constructivo más amigable con el medio ambiente sin utilizar excavaciones ni demoliciones ya que todo el trabajo se realiza en los buzones y en el interior de la red y por ello requiere de menor área de trabajo, lo que lo hace en un método más versátil en calles y avenidas sin interrumpir por mucho tiempo el paso de vehículos y peatones.
3. El análisis comparativo de las propiedades hidráulicas realizado presenta un aumento de la velocidad con ambas tecnologías, lo que mejora su velocidad inicial que se encontraba por debajo del 0.6 m/s en algunos casos según norma OS. 070 del reglamento peruano, en cuanto a la tensión tractiva si bien disminuye no hay un cambio notable en dicha disminución para ambas tecnologías. Estos parámetros mejoran gracias a que, al disminuir el tirante, debido a la influencia del coeficiente de Manning, este permite abarcar una mayor demanda poblacional que se traduce en una mayor demanda de caudal a futuro. En conclusión, se mejora las condiciones hidráulicas de la red de alcantarillado luego de su rehabilitación con las tecnologías Pipe Bursting y Cured In Place Pipe a pesar de que se disminuye el diámetro nominal, pero este es compensado por el coeficiente de rugosidad de Manning de los materiales de la tubería.

4. La matriz cualitativa y cuantitativa desarrollada en la presente tesis nos muestra que la tecnología Pipe Bursting tiene un mayor impacto ambiental ya que tiene mayores valores moderadamente significativos (26% del proceso constructivo) que los analizados en la tecnología Cured In Place Pipe (5% del proceso constructivo) por ende se corrobora que la tecnología Cured In Place Pipe es mejor ya que genera menos impactos negativos al medio ambiente y a la población aledaña.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la implementación de la tecnología Cured In Place Pipe en el Perú y traer los equipos y personal capacitado para ejecutar proyectos ya que en la presente tesis se demuestra que al ser comparado con la tecnología Pipe Bursting, la tecnología CIPP mitiga los impactos socioambientales en su ejecución del proceso constructivo y se acomoda a nuestra realidad por las calles o avenidas que tenemos.
2. En el aspecto de propiedades hidráulicas se recomienda la aplicación de ambas tecnologías sin Zanja Pipe Bursting y Cured In Place Pipe ya que, al obtener los resultados de la red actual de alcantarillado, los resultados que no cumplían con la norma OS. 070 cuando teóricamente se aplican para las tecnologías sin zanja Pipe Bursting y Cured In Place Pipe están dan resultados que si están dentro de aceptado. Todos estos mejoran las condiciones hidráulicas en la red existente.
3. Se recomienda una evaluación e inspección a nivel nacional de nuestro sistema de red de alcantarillado debido a su tiempo de vida útil, al tener conocimiento de nuestro estado actual se deberán hacer o evaluar proyectos de renovación o rehabilitación del sistema de red de alcantarillado y proponer las metodologías sin zanja como el Pipe Bursting o Cured In Place Pipe que como se ha determinado en la presente tesis y en las matrices cuantitativa y cualitativa estas tienen procesos constructivos menos invasivos, efectivos y con menor impacto al medio ambiente y a la población cercana.
4. En el aspecto científico e internacional deberíamos de buscar la manera de asociarnos a la Asociación Internacional de Tecnologías Sin Zanja (ISTT), esto debido a que estaríamos a la vanguardia de las metodologías e investigaciones a nivel mundial, también se crearía una asociación a nivel nacional que debería ser la representante de la ISTT en el país y las empresas que quieran realizar o aplicar alguna metodología deberán estar certificadas y tendrían mayor conocimiento de las metodologías sin zanja. Esto ocurre en todos los países asociados al ISTT.
5. Se recomienda una mayor fomentación por parte de las entidades públicas o privadas (Universidades, Estado, Empresas) de las metodologías sin zanja para la investigación o aplicación de estas, debido a que a partir de estos conocimientos de las metodologías

se investigaría o aplicaría una que nos dé más resultados a nuestra realidad y mejorar la calidad de vida.

6. Se recomienda seguir con grandes proyectos donde haya participación de tecnologías sin zanja como el proyecto “Optimización de Sistemas de agua potable y alcantarillado, Sectorización, Rehabilitación de redes y actualización de catastro de Lima Norte (Etapa I, II, III)” donde se aplica el Pipe Bursting donde se ven sus ventajas y mitigaciones en los impactos económicos y socioambientales en comparación con el método tradicional. La implementación de esta tecnología en este proyecto ha demostrado que debemos tener más alternativas para poder minimizar todo impacto en las zonas donde se ejecuta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agency), E. (. (Enero de 2012). Una evaluación retrospectiva de tubería curada in situ (CIPP) utilizada en alcantarillas municipales por gravedad.
- ANDECE. (s.f.). *Calculo Hidraulico en Sistemas de Saneamiento - Coeficiente de Rugosidad*. Madrid.
- Arce Obregón, J. (2017). *Aplicacion de la tecnología sin zanja para mejorar la productividad en la rehabilitación de redes de alcantarillado, Comas 2016*. Universidad Cesar Vallejo, Lima.
- Asensio Avellanas, A. (2016). *Localización y Reparación de escapes de agua en tuberías sin obra*. Barcelona, España.
- Avellanas, A. A. (s.f.). Localización y Reparación de escapes de agua en Tuberías sin Obras. Barcelona, España.
- Ayala Ávila, G. (Septiembre de 2019). *Análisis de las normativas para diagnosticos de redes de alcantarillado sanitario aplicando el equipo CCTV*. Samborondón.
- Barbosa Hortua, G. (2013). *Estudio de la aplicación en tecnologías trenchless en Bogotá*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- CARE Internacional-Avina. Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades. (2012). *Sistemas de Saneamiento Ambiental*. Cuenca, Ecuador.
- Chávez Pullas, N. V. (2014). Plan de Rehabilitación de las tuberías matrices y pozos de inspección de alcantarillado de la Subcuenca Alta del Colector Sucre - Sector Centro Historico de Quito. Quito, Ecuador.
- Dolores Frías, N. (2020). Apuntes de consistencia interna de las puntuaciones de un instrumento de medida. Valencia.
- Domus Consultora Ambiental. (s.f.). *EIA para la Perforación de Ocho Pozos Exploratorios y Programa de Adquisición Sísmica 3D en el Lote 76*.
- Empresa Publicas de Medellín. (2009). *Guías para el diseño hidráulico de redes de alcantarillado*. Medellín.
- EPM. (14 de 03 de 2017). Norma de Construcción para Renovacion de Tuberia de Acueducto y Alcantarillado sin Zanja por el Metodo Cured in Place Pipe (CIPP).
- Erez Allouche, P. S. (2011). *Una evaluación retrospectiva de tubería curada in situ (CIPP) utilizada en alcantarillas municipales por gravedad*.
- Esplana Matamoros, A. (2018). *Deficiencias del sistema de alcantarillado del Proyecto Lima Norte II y ventajas del sistema "Pipe Bursting"*. Universidad Peruana Los Andes, Lima, Perú.
- Forno Martinic, J. P. (2010). *Impacto de la utilizacion de nuevas tecnologías y materiales en los plazos y costos de construcción*. Universidad de Chile, Santiago de Chile.

- Huaytalla Ramos, E. J. (1998). *Programación en obras de rehabilitación y mejoramiento de redes de distribución y recolección*. Lima.
- Informática, I. N. (2018). *Peru: Crecimiento y Distribucion de la Poblacion, 2017*. Lima: INEI.
- Insituform. (2020). Soluciones de Rehabilitación de Tuberías sin Zanja. España.
- ISTT. (2020). *The International Society for Trenchless Technology*. Obtenido de <https://www.istt.com/>
- Jiménez Terán, J. M. (s.f.). *Manual para el Diseño de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario*. México: Universidad Veracruzana.
- Luna Escalante, J. G., & Gonzales Mendoza, C. E. (2018). *Descripción, Análisis comparativo y evaluación de las tecnologías: sin zanjas y convencional para la renovación del sistema de alcantarillado en el sector bajo de Miraflores - distrito de Miraflores*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Minguez Santiago, F. (2015). *Métodos de excavación sin zanjas*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (17 de Febrero de 2014). Guía de Métodos para rehabilitar o Renovar Redes de Distribución de Agua Potable. Lima, Perú.
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (2019). *Norma OS. 070 Redes de aguas residuales (RNE)*. Lima, Perú: Macro.
- Ministerio del Agua. (2007). *Reglamento técnicos de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial*. Bolivia: Reglamento Nacional.
- Organización Panamericana de la Salud, et al. (2005). *Guías para el diseño de tecnologías de alcantarillado*. UNATSABAR.
- PANATEC. (s.f.). *Mangas y Resinas*. Obtenido de <file:///E:/TESIS/PLAN%20DE%20TESIS/Mangas%20y%20resinas%20info.html>
- Peréz Fernandez, J. C., & Ramos Chumbes, M. (2017). *Métodos constructivos tradicional vs. Pipe Bursting en obras de agua potable y alcantarillado en zonas urbanas del distrito de Moquegua, 2015*. Universidad Peruana Los Andes, Huancayo - Perú.
- Pinzon Abaunza, J. (2011). *Evaluación y Perspectivas de la Utilización de Tecnologías sin Zanja en Redes de Alcantarillado de Bogotá*. Bogotá.
- Rocha Felices, A. (2007). *Hidráulica de Canales*. Lima.
- Sánchez Valencia, L. (2011). *Tecnologías promisorias para renovación y rehabilitación de tuberías en sistemas de alcantarillado*. Universidad de los andes, Bogotá. Colombia.
- SERVICIOS, O. (2020). Especificación Técnica Cured In Place Pipe. *Especificación Técnica Cured In Place Pipe*. Argentina.

- Solsol Robles, A. (2015). *Análisis de Costos en el Proceso Constructivo del Canal Cullicocha-Chaquicocha Ubicado en Área Protegida (Parque Nacional Huascarán)*. Lima.
- TIGRE. (2016). *Línea Polietileno Alta Densidad Para Conducción Agua Potable y Riego*.
- Trelleborg. (s.f.). *Trelleborg*. Obtenido de <https://www.trelleborg.com/en>
- United States Environmental Protection Agency. (2011). *A retrospective evaluation of Cured-in-Place Pipe (CIPP) Used in Municipal Gravity Sewers* .
- Viana Vidal, F. (2004). *Técnicas de construcción fundamentadas en la tecnología sin zanja*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADOR	INSTRUMENTO
Dependiente Pipe Bursting Cured In Place Pipe	Métodos constructivos para la rehabilitación de redes de alcantarillado de las tecnologías sin zanja Pipe Bursting y Cured In Place Pipe	Tiempo de ejecución de la rehabilitación	Impacto Social	Encuestas a especialistas
		Costo económico de la rehabilitación		
Independiente Redes secundarias de alcantarillado	Redes de alcantarillado que se encuentran en mal estado dentro de la población de estudio	Nivel de tránsito vehicular ocasionado durante la rehabilitación	Impacto económico	Ventajas y desventajas de los métodos constructivos
		Contaminación ambiental durante la rehabilitación	Impacto Ambiental	
		Afectación Social y económica del usuario		Tabla comparativa de los procesos constructivos
			Video de inspección televisiva en redes de alcantarillado	Cámara de Inspección televisiva
Intervinientes	Son aquellos parámetros que describen el comportamiento hidráulico de las redes	Tirante Diámetro Efectivo Velocidad Pendiente Manning	Caudal Tensión Tractiva Material de tubería Velocidades	Norma OS 070 Norma NB 688 Teorías hidráulicas Especificaciones Técnicas del material de la tubería

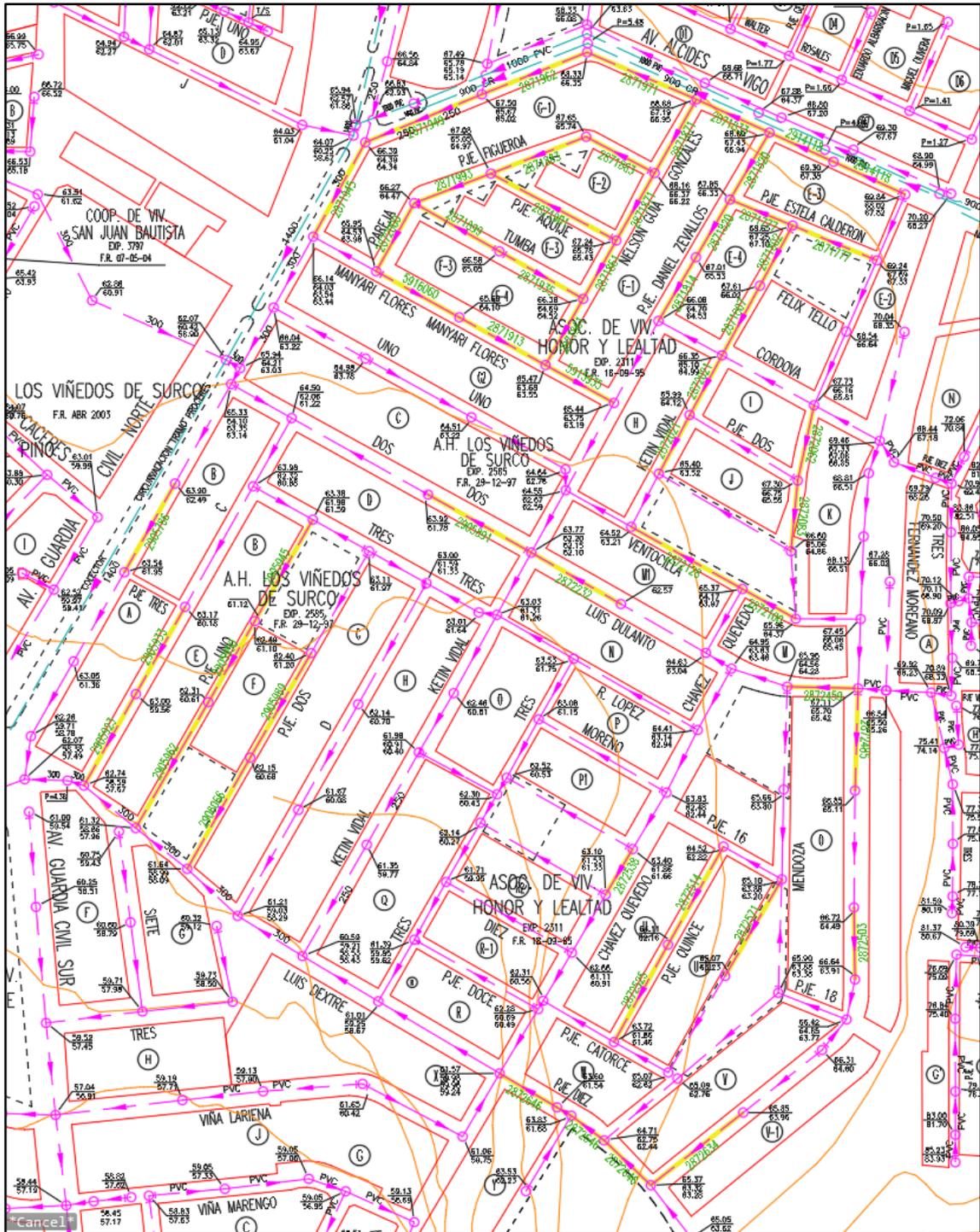
Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	UNIVERSO DE LO INVESTIGADO	TÉCNICAS E INSTRUMENTO	TAMAÑO MUESTRA		
GENERAL	GENERAL	GENERAL						
¿Cómo realizar el análisis comparativo de los métodos constructivos sin zanja en rehabilitación de redes de alcantarillado, Santiago de Surco?	Realizar el análisis comparativo de los métodos constructivos sin zanja en rehabilitación de redes de alcantarillado, Santiago de Surco	Cuando se analizan la comparación de los métodos constructivos sin zanja en rehabilitaciones de redes de alcantarillado se determina que el método Pipe Bursting tiene un mayor impacto que el método Cured In Place.			Entrevista con especialistas			
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS			Ventajas y desventajas de los métodos constructivos			
¿Como describir los métodos constructivos sin zanja Pipe Bursting y Cured In Place Pipe para la rehabilitación de redes secundarias de alcantarillado?	Describir los métodos constructivos sin zanja Pipe Bursting y Cured In Place Pipe para la rehabilitación de redes secundarias de alcantarillado.	Al describir los procesos constructivos Pipe Bursting y Cured in Place podemos conocer las ventajas y desventajas de estos	Descriptivo - Comparativo (Básica)	Redes secundarias de alcantarillado	Videos de cámara de inspección televisiva	Redes secundarias de alcantarillado clasificadas deterioradas		
¿Cómo evaluar los aspectos teóricos de las variables hidráulicas en la red de alcantarillado antes y después de la rehabilitación por los métodos Pipe Bursting y Cured In Place Pipe?	Evaluar los aspectos teóricos de las variables hidráulicas en la red de alcantarillado antes y después de la rehabilitación por los métodos Pipe Bursting y Cured In Place Pipe.	No habrá cambios hidráulicos significativos en las redes de alcantarillado luego de la rehabilitación por los métodos Pipe Bursting y Cured In Place Pipe.			Norma OS 070	Norma NB 688	Propiedades hidráulicas	
¿Como realizar una matriz cualitativa y cuantitativa de los aspectos económicos y socio ambiental de los métodos constructivos sin zanja Pipe Bursting y Cured In Place Pipe?	Elaborar una matriz cualitativa y cuantitativa de los aspectos económicos y socio ambiental de los métodos constructivos sin zanja Pipe Bursting y Cured In Place Pipe.	Al elaborar la matriz se podrá encontrar las diferencias y semejanzas entre los métodos constructivos de las tecnologías Pipe Bursting y Cured In Place Pipe.			Especificaciones Técnicas del material de la tubería			

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Plano de redes de alcantarillado



Fuente: Acciona Agua S.A. Sucursal Peruana

ENCUESTA PARA PROYECTO DE TESIS

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS CONSTRUCTIVOS SIN ZANJA EN REHABILITACIONES DE REDES DE ALCANTARILLADO, SANTIAGO DE SURCO- LIMA.

*Obligatorio

1. Nombres y Apellidos *

2. Carrera y/o Especialidad *

RESPONDA LAS SIGUIENTES PREGUNTAS

3. 1. ¿Conoce el término "Tecnología Sin Zanja" en rehabilitaciones de redes de alcantarillado? *

Marca solo un óvalo.

Si

No

8. 3.4 ¿En cuanto se reduce la contaminación ambiental? *

Marca solo un óvalo por fila.

	20%	40%	60%	80%	100%	NC
Pipe Bursting	<input type="radio"/>					
Cured In Place Pipe	<input type="radio"/>					

9. 3.5 ¿En cuanto se reduce el impacto de la vegetación urbanística? *

Marca solo un óvalo por fila.

	20%	40%	60%	80%	100%	NC
Pipe Bursting	<input type="radio"/>					
Cured In Place Pipe	<input type="radio"/>					

10. 3.6 ¿En cuanto se reduce los costos según los métodos? *

Marca solo un óvalo por fila.

	20%	40%	60%	80%	100%	NC
Pipe Bursting	<input type="radio"/>					
Cured In Place Pipe	<input type="radio"/>					

11. 3.7 ¿En cuanto se reduce los tiempos de ejecución según los métodos? *

Marca solo un óvalo por fila.

	20%	40%	60%	80%	100%	NC
Pipe Bursting	<input type="radio"/>					
Cured In Place Pipe	<input type="radio"/>					

4. Con respecto a las tecnologías sin zanja, responda lo siguiente:

18. 4.2.4 ¿Cuál es el nivel de pérdidas económicas de los negocios colindantes durante los trabajos de rehabilitación? *

Marca solo un óvalo por fila.

	Bajo	Medio	Moderado	Alto	NC
Pipe Bursting	<input type="radio"/>				
Cured In Place Pipe	<input type="radio"/>				

4.3 Aspecto ambiental

19. 4.3.1 ¿Cuáles es el nivel de las afectaciones de las áreas verdes en la zona de trabajo durante la rehabilitación? *

Marca solo un óvalo por fila.

	Bajo	Medio	Moderado	Alto	NC
Pipe Bursting	<input type="radio"/>				
Cured In Place Pipe	<input type="radio"/>				

20. 4.3.2 ¿Cuál es el nivel de ruido que genera a la población cercana durante la rehabilitación? *

Marca solo un óvalo por fila.

	60 - 80 db	80 - 100 db	100 - 120 db	mas de 120 db	NC
Pipe Bursting	<input type="radio"/>				
Cured In Place Pipe	<input type="radio"/>				

4.3.3 Cuál es el niveles de humo y gases que se generan con el uso de:

21. Pipe Bursting *

Marca solo un óvalo por fila.

	Bajo	Medio	Moderado	Alto	NC
Maquinarias	<input type="radio"/>				
Equipos	<input type="radio"/>				

22. Cured In Place Pipe *

Marca solo un óvalo por fila.

	Bajo	Medio	Moderado	Alto	NC
Maquinarias	<input type="radio"/>				
Equipos	<input type="radio"/>				

4.3.4. Cuál es el niveles de polvo que generan durante:

23. Pipe Bursting *

Marca solo un óvalo por fila.

	Bajo	Medio	Moderado	Alto	NC
Cortes y demoliciones	<input type="radio"/>				
Excavaciones	<input type="radio"/>				
Relleno y compactación	<input type="radio"/>				
Reposición de pavimento	<input type="radio"/>				
Reposición de veredas	<input type="radio"/>				
Instalación de PEAD	<input type="radio"/>				

24. Cured In Place Pipe *

Marca solo un óvalo por fila.

	Bajo	Medio	Moderado	Alto	NC
Preparación de manga	<input type="radio"/>				
Instalación de manga	<input type="radio"/>				
Uso de equipos robotizados	<input type="radio"/>				

4.3.5 Cuál es el niveles de vibraciones que generan el uso de:

25. Pipe Bursting *

Marca solo un óvalo por fila.

	Bajo	Medio	Moderado	Alto	NC
Maquinarias	<input type="radio"/>				
Equipos	<input type="radio"/>				

26. Cured In Place Pipe *

Marca solo un óvalo por fila.

	Bajo	Medio	Moderado	Alto	NC
Maquinarias	<input type="radio"/>				
Equipos	<input type="radio"/>				

27. 5. ¿Cuáles de los métodos del Pipe Bursting es el mas adecuado para la rehabilitación de las redes de alcantarillado? *

Marca solo un óvalo.

- Estático
 Dinámico
 NC

28. 6. ¿Cuáles de los métodos de curado CIPP es el mas adecuado para la rehabilitación de redes de alcantarillado? *

Marca solo un óvalo.

- Vapor de Agua
 Agua Caliente
 Rayos UV
 NC

29. 7. ¿Cuál de los métodos de instalación usados en el CIPP es el mas adecuado en la rehabilitación de las redes de alcantarillado? *

Marca solo un óvalo.

- Método de Inversión
 Método Pull In
 NC

30. 8. ¿Cuál cree que sea el nivel del impacto negativo del Pipe Bursting de los siguientes aspectos? (Califique del 1 al 5, siendo 1 el mas bajo y 5 el mas alto): *

Marca solo un óvalo por fila.

	1	2	3	4	5	NC
Económico	<input type="radio"/>					
Social	<input type="radio"/>					
Ambiental	<input type="radio"/>					

31. 9. ¿Cuál cree que sea el nivel del impacto negativo del CIPP de los siguientes aspectos? (Califique del 1 al 5, siendo 1 el mas bajo y 5 el mas alto): *

Marca solo un óvalo por fila.

	1	2	3	4	5	NC
Económico	<input type="radio"/>					
Social	<input type="radio"/>					
Ambiental	<input type="radio"/>					

GRACIAS POR SU PARTICIPACION

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 5: Carta de Autorización – Sedapal

 SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LIMA

ESTADO
LIBRE
DE
DEUDA
FISCAL
LIMPIZA
PÚBLICA

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

Carta N° 019 -2021-EOMR S

Lima, 13 de enero del 2021

Julio Fernando Pulido Damián
DNI N° 70652438

David Armando Angulo Enríquez
DNI N° 72168778

Asunto : Pedido de Información y Autorización de utilización de información para proyecto de tesis

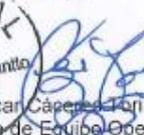
Referencia : Carta S/N del 12.01.2021 (Reg. N° 3984)

Mediante la presente me dijo a Uds. en relación con el documento de la referencia, por el cual solicita que SEDAPAL le brinde información y la autorización de dicha información, para el desarrollo de la Tesis denominada "Análisis Comparativo de los Métodos Constructivos sin Zanja en Rehabilitaciones de Redes de Alcantarillado en el distrito de Santiago de Surco".

Al respecto, le comunicamos a Uds. que el Equipo Operación y Mantenimiento de Redes Surquillo de la Gerencia de Servicios Sur de SEDAPAL ha venido entregando esta información con expreso conocimiento de esta Jefatura y lo seguirá haciendo de ser necesario; por lo que por medio de este medio AUTORIZAMOS el uso de dicha información para el desarrollo y obtención del Título de Grado de Ingeniero Civil con el tema antes descrito.

Acápiteme aparte es un gusto y un honor, que Uds. hayan alcanzado el grado de Ingenieros, profesionales que son muy necesarios para el desarrollo de nuestro país.

Sin otro particular, quedo de ustedes.

Atentamente,

Jefe de Equipo Operación y Mantenimiento de Redes Surquillo (e)

c.c: Archivo

OFICINA PRINCIPAL LA ATARJEÁ:
Aeropista Ramón Prohá 210 - El Agustino - Correo Telefónico 317-3900
Consultas e Informes : Aguafona 317-8800

www.sedapal.com.pe

CENTROS DE SERVICIOS
Cercas: Av. Victor Andres Bolognesi Oeste-Correo 5 - Urb. El Bestallo
Callao: Av. Guardia Chulaca N° 1131
Breña: Av. Tingo María N° 820 - Correo
San Juan de Lurigancho: Páez de la Independencia N° 9185 - Carta Grande
Ate Vitarte: Av. Nicolás Aguirre N° 2389
Surquillo: Av. Argemiro Este N° 1450
Villa el Salvador: Av. Separación Industrial N° 300 Int. Sector