



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

**Estudio comparativo entre el método tradicional y el
método Túnel Liner para la instalación de redes
primarias de saneamiento en San Juan de Lurigancho**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Miguel Antonio GÓMEZ PEDRAZA

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Gómez, M. (2022). *Estudio comparativo entre el método tradicional y el método Túnel Liner para la instalación de redes primarias de saneamiento en San Juan de Lurigancho*. [Monografía técnica de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	MIGUEL ANTONIO GÓMEZ PEDRAZA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73122400
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-8624-1563
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	-
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	-
URL de ORCID	-
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	REUTER ARTURO ALIAGA DÍAZ
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07229778
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	MIGUEL ERNESTO ARÁMBULO MANRIQUE
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07418845
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	RUBÉN ESAÚ MOGROVEJO GUTIÉRREZ
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10623893
Miembro del jurado 3	
Nombres y apellidos	
Tipo de documento	DNI

Número de documento de identidad	
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.2.5.2. Recursos Hídricos
Grupo de investigación	
Agencia de financiamiento	PROPIA
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: San Juan de Lurigancho Latitud: 11°57'33.1"S Longitud: 76°59'13.3"W
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2020-2022
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería mecánica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.01



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
(Universidad del PERÚ, Decana de América)
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

XIII CAP DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

**ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE LA MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS, MODALIDAD DE
TITULACIÓN M-3 - POR SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Siendo las 8:00 a.m. del día sábado 22 de octubre de 2022, en la Sala de Sesión Virtual de la Facultad de Ciencias Físicas, bajo la presidencia del Ing. REUTER ARTURO ALIAGA DÍAZ y con la asistencia de los miembros Ing. MIGUEL ERNESTO ARÁMBULO MANRIQUE y el Mg. Ing. RUBÉN ESAÚ MOGROVEJO GUTIÉRREZ, se dio inicio a la Sesión Pública Virtual de Sustentación de la Monografía Técnica para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, mediante la Modalidad de Titulación M-3 Por Suficiencia Profesional, del Bachiller:

MIGUEL ANTONIO GÓMEZ PEDRAZA

El Presidente del Jurado Examinador dio lectura del Resumen del Expediente, e invitó al Bachiller MIGUEL ANTONIO GÓMEZ PEDRAZA, a realizar la Exposición del trabajo de la Monografía Técnica titulada “ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO TRADICIONAL Y EL MÉTODO TÚNEL LINER PARA LA INSTALACIÓN DE REDES PRIMARIAS DE SANEAMIENTO EN SAN JUAN DE LURIGANCHO”.

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado Examinador, el Presidente invitó al Bachiller a abandonar momentáneamente la sala de sesión para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado. Se procedió a promediar la nota final del curso de actualización y la nota de la sustentación para obtener la calificación final.

Al término de la deliberación del Jurado, se invitó al candidato a regresar a la sala de sesión para dar lectura a la calificación final obtenida por el Bachiller, la misma que fue:

. DIECISEIS. .16.

El Presidente del Jurado Ing. REUTER ARTURO ALIAGA DÍAZ, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller MIGUEL ANTONIO GÓMEZ PEDRAZA Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 08:58 horas, del mismo día, se levantó la sesión.

Ing. REUTER ARTURO ALIAGA DÍAZ
PRESIDENTE DEL JURADO

Ing. MIGUEL ERNESTO ARÁMBULO MANRIQUE
MIEMBRO DEL JURADO

Mg. Ing. RUBÉN ESAÚ MOGROVEJO GUTIÉRREZ
MIEMBRO DEL JURADO



Firmado digitalmente por LOZANO
BARTRA Whualkuer Enrique FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 25.11.2022 09:51:44 -05:00

DR. WHUALKUER ENRIQUE LOZANO BARTRA
VICEDECANO ACADÉMICO FCF

Datos de la plataforma virtual institucional del acto de sustentación:

<https://us06web.zoom.us/j/84522134982?pwd=RVhFTTN1SWZKQzRtWWh6OUhGOFdiUT09>

ID de reunión: 845 2213 4982

Código de acceso: 860053

Grabación archivada en el siguiente enlace:

<https://drive.google.com/file/d/1xvIOd-Fq-pNnxnDEU0fzNkUmyq05iCMi/view?usp=sharing>

Anexo 1

Informe de evaluación de Originalidad

1. Facultad de Ciencias Físicas
2. Escuela/Unidad de Posgrado
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos
3. Autoridad Académica que emite el informe de originalidad
El Director de la EPIMF
4. Apellidos y nombres de la autoridad académica
Sarango Julca Douglas Donal
5. Operador del programa Informático de similitudes
Dr. Ing. Douglas Sarango Julca
6. Documento evaluado (1)
"ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO TRADICIONAL Y EL MÉTODO TÚNEL LINER PARA LA INSTALACIÓN DE REDES PRIMARIAS DE SANEAMIENTO EN SAN JUAN DE LURIGANCHO"
7. Autor del documento (2)
MIGUEL ANTONIO GÓMEZ PEDRAZA
8. Fecha de recepción del documento 26/09/22
9. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes 29/09/22
10. Software utilizado
 - Turnitin (X)
 - Ithenticate
 - Otro (especificar)
11. Configuración del programa detector de similitudes
 - Excluye textos entrecomillados
 - Incluye Bibliografía
 - Excluye cadenas menores a 40 palabras
12. Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes³
3%
13. Fuentes originales de las similitudes encontradas⁴
14. Observaciones
Ninguna
15. Calificación de originalidad
 - Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones (X)
 - Documento cumple criterios de originalidad, con observaciones
 - Documento no cumple criterios de originalidad
16. Fecha del Informe 29/11/22



Firmado digitalmente por SARANGO
JULCA Douglas Donal FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.11.2022 10:01:58 -05:00

DR. ING. Douglas Sarango Julca
DIRECTOR (e) DE LA EPIMF

-
- 1 Otro (especificar) Monografía Técnica Modalidad de Titulación M-3
Suficiencia Profesional
 - 2 Apellidos y Nombres completos
 - 3 En letras y números
 - 4 Indicarlas en orden decreciente y su respectivo porcentaje

PRESENTACIÓN

El suscrito asistente al XIII Curso de Actualización profesional, ha desarrollado el tema “ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO TRADICIONAL Y EL MÉTODO TÚNEL LINER PARA LA INSTALACIÓN DE REDES PRIMARIAS DE SANEAMIENTO EN SAN JUAN DE LURIGANCHO”, monografía que está prevista en el reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias Físicas bajo la modalidad M3 de suficiencia profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos.

La presente monografía se ha desarrollado en base a la formación académica adquirida en la EAPIMF, así como a la experiencia profesional obtenida durante mi periodo como bachiller, siendo complementada durante el desarrollo del presente CAP XIII.

RESUMEN

La presente monografía contiene cinco capítulos:

CAPÍTULO I:

En el primer capítulo se presenta de manera general el contenido de la siguiente monografía. Se da una breve introducción que nos permite conocer la evolución de las redes sanitarias a lo largo de la historia. Se identifica y se describe la problemática que queremos detallar, así como la propuesta de solución, permitiendo así poder conocer de manera sencilla la verdadera importancia del tema.

Por último, la parte más importante de este capítulo es la identificación de los objetivos generales y específicos.

CAPÍTULO II:

En este capítulo se describe brevemente las ventajas y desventajas del método tradicional, lo cual nos permite realizar una comparación respecto al método Túnel Liner. Se describen las técnicas de rehabilitación y nuevas instalaciones de tuberías entre ellas el Túnel Liner. Se detallan las características técnicas de cada método descrito.

Como parte importante se especifican las actividades del procedimiento constructivo que forman parte del método Túnel Liner, así como sus definiciones técnicas que son parte de este método.

CAPÍTULO III:

En este capítulo se presentan, desarrollan y demuestran de forma breve y concisa las ventajas del Túnel Liner respecto al Método Tradicional, todo ello basado en un análisis cuantitativo. Como parte del análisis cuantitativo se desarrolla el cálculo hidráulico y análisis de costos.

CAPÍTULO IV:

Se describen los resultados obtenidos en el cálculo hidráulico y en el análisis de costos de los métodos Túnel Liner y Tradicional.

CAPÍTULO V:

En este último capítulo se detallan las conclusiones y se plantean recomendaciones, se adjunta la bibliografía y anexos utilizados en el presente trabajo.

ÍNDICE

1	CAPÍTULO I GENERALIDADES.....	8
1.1	INTRODUCCIÓN.....	8
1.2	IMPORTANCIA DEL TEMA.....	10
1.3	IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
1.4	PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	12
1.5	OBJETIVOS.....	12
1.5.1	<i>OBJETIVO GENERAL.....</i>	<i>12</i>
1.5.2	<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</i>	<i>12</i>
2	CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	14
2.1	MÉTODO CON ZANJA ABIERTA O TRADICIONAL.....	14
2.2	MÉTODOS SIN ZANJA PARA LA INSTALACIÓN DE TUBERÍAS.....	15
2.2.1	<i>TÉCNICAS PARA LA REHABILITACIÓN DE TUBERÍAS.....</i>	<i>16</i>
2.2.2	<i>TÉCNICAS PARA NUEVAS INSTALACIONES.....</i>	<i>21</i>
2.3	ANTECEDENTES.....	25
2.4	DEFINICIONES TÉCNICAS DEL TÚNEL LINER.....	26
2.5	ACTIVIDADES A EJECUTAR EN EL TÚNEL LINER.....	28
3	CAPÍTULO III DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.....	37
3.1	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	37
3.2	ANÁLISIS CUALITATIVO DEL MÉTODO TÚNEL LINER.....	39
3.3	ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL MÉTODO TÚNEL LINER.....	42
3.3.1	<i>ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA TUBERÍA DE ALCANTARILLADO EXISTENTE Y TUBERÍA PROYECTADA EN HDPE.....</i>	<i>42</i>
3.3.2	<i>ANÁLISIS DE COSTOS.....</i>	<i>55</i>
4	CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
5	CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
5.1	CONCLUSIONES.....	60
5.2	RECOMENDACIONES.....	60
6	BIBLIOGRAFÍA.....	62

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Los Pioneros del Agua en la Historia.	8
Ilustración 3 <i>Instalación de Tubería con el Método Zanja Abierta.</i>	14
Ilustración 4. <i>Revestimiento de Mortero de Cemento.</i>	17
Ilustración 5. <i>Revestimiento de Tubería Mediante Inversión.</i>	18
Ilustración 6. <i>Fragmentación de tubería (Pipe bursting).</i>	21
Ilustración 7. <i>Perforación Horizontal Dirigida (PHD).</i>	22
Ilustración 8. <i>Pipe Ramming.</i>	24
Ilustración 9. <i>Túnel Liner.</i>	25
Ilustración 10. <i>Cámara de Excavación.</i>	29
Ilustración 11. <i>Nivelación del liner.</i>	30
Ilustración 12. <i>Verificación de inyección de Mortero Fluido.</i>	31
Ilustración 13. <i>Túnel Liner.</i>	32
Ilustración 14. <i>Vista de Corte Túnel Liner.</i>	33
Ilustración 15. <i>Relleno de Concreto.</i>	34
Ilustración 16. <i>Túnel Liner.</i>	36
Ilustración 17. <i>Ubicación del Proyecto.</i>	37
Ilustración 18. <i>Desarrollo del Proyecto.</i>	38
Ilustración 19. <i>Vista en planta del tramo.</i>	42
Ilustración 20. <i>Vista en perfil del tramo.</i>	43
Ilustración 21. <i>Sección de tubería semi llena.</i>	45
Ilustración 22. <i>Sección de tubería semi vacía.</i>	46
Ilustración 23. <i>Sección de tubería llena.</i>	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Metrópolis del Mundo</i>	9
Tabla 2. <i>Impacto Ambiental del Método Zanja Abierta</i>	40
Tabla 3. <i>Impacto Ambiental del Método Túnel Liner</i>	41
Tabla 4. <i>Radio hidráulico a sección semi vacía y semi llena</i>	44
Tabla 5. <i>Coefficiente de Manning</i>	44
Tabla 6. <i>Coefficiente de flujo Hazen - Williams</i>	48
Tabla 7. <i>Radio hidráulico a sección llena</i>	48
Tabla 8. <i>Viscosidad cinemática</i>	51
Tabla 9. <i>Rugosidad absoluta de materiales</i>	51
Tabla 10. <i>Diagrama de Moody</i>	52
Tabla 11. <i>Resultados aplicando la Ecuación de Manning</i>	58
Tabla 12. <i>Resultados aplicando la Ecuación de Hazen - Williams</i>	58
Tabla 13. <i>Resultados aplicando la Ecuación de Darcy – Weisbach</i>	58
Tabla 14. <i>Resultado de costos por metro lineal</i>	59

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. <i>Ecuación de Manning</i>	43
Ecuación 2. <i>Radio Hidráulico</i>	44
Ecuación 3. <i>Velocidad del fluido</i>	45
Ecuación 4. <i>Ecuación de Hazen - Williams</i>	47
Ecuación 5. <i>Ecuación de Darcy-Weisbach</i>	50
Ecuación 6. <i>Número de Reynolds</i>	50
Ecuación 7. <i>Rugosidad Relativa</i>	50

1 CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En la antigüedad desde los primeros humanos y las primeras civilizaciones el requerimiento del agua siempre fue fundamental, es por ello que se los asentamientos se ubicaban en zonas cercanas a lagos y ríos. Con el paso de los años por la mano del hombre se empezaron a acumular bacterias y otros microorganismos en las fuentes principales de agua, viajando miles de kilómetros aguas abajo llevando enfermedades entre las ciudades más próximas. Ante la necesidad de alejar el agua residual de la vida cotidiana de los pobladores surgen los primeros sistemas de aguas residuales.

El primer sistema de alcantarillado del que se tienen registros corresponde a la antigua ciudad Sumeria de Nippur (Irak) alrededor del 3750 A.C. Posteriormente en la ciudad de Creta (1700 A.C.) se desarrolló una red a base de barro y arcilla; en la ciudad de Atenas se construyeron sistemas de alcantarillado rectangulares cubiertos con atarjeas (construcción de ladrillo con el que se recubren las cañerías) cuyos recubrimientos superiores eran también utilizados como base del pavimento de las calles, a las que empalmaban otros conductos secundarios formando redes más completas e integradas. (IAGUA, 2017)

Ilustración 1

Los Pioneros del Agua en la Historia.



Nota. El gráfico muestra el desarrollo de las tecnologías respecto al uso del agua de las antiguas culturas en el mundo.

En la antigua Roma (600A.C.) se construyeron las letrinas (baños públicos) y la Cloaca Máxima (La Cloaca Mayor) siendo esta última parte de la moderna red de la ciudad.

En la actualidad aún opera transportando el agua de las lluvias desde el centro de la ciudad siendo la red más antigua aun en funcionamiento (2mil años aproximadamente). Por lo tanto, no solo la medicina desempeñó un papel fundamental en el control de enfermedades, sino que la ingeniería ayudo a minimizar la incidencia de las infecciones con la construcción de infraestructuras de saneamiento para la evacuación de agua residuales. Este desarrollo de las redes aumentó la esperanza de vida de las sociedades.

Tabla 1

Metrópolis del Mundo.

METRÓPOLI	POBLACION EN MILLONES DE HABITANTES	METRÓPOLI	POBLACION EN MILLONES DE HABITANTES
Nueva York	21 M	Kinshasa	9 M
Los Ángeles	14 M	Tokio	35 M
Chicago	10 M	Mumbay	22.8 M
Sao Paulo	21 M	Delhi	22 M
Ciudad de México	20.1 M	Calcuta	21 M
Buenos Aires	13 M	Shanghái	19 M
Río de Janeiro	13 M	Karachi	16 M
Lima	10 M	Beijing	15 M
Bogotá	10 M	Manila	15 M
Estambul	12 M	Dacca	13.6 M
Moscú	11 M	Yakarta	12 M
París	10 M	Guangzhou	12 M
Londres	9 M	Seúl	10 M
Cairo	16 M	Teherán	10 M
Lagos	12 M		

Nota. En el mundo existen 29 mega ciudades que poseen más de 10 millones de habitantes cada uno. Se estima que alrededor de 400 millones de ciudadanos habitan las mega ciudades. Estas ciudades comparten características comunes entre ellas la necesidad de espacios que satisfagan los flujos económicos y sociales. (Autoridad del Espacio Público de la Ciudad de Mexico, 2011)

Lima forma parte del selecto grupo de mega ciudades en el mundo, es por esta razón que ante aumento de la población también aumenta la demanda de los servicios básicos sanitarios como el abastecimiento de agua y una red de recolección de desechos residuales que estén a la altura de la ciudad. Ante esta situación nace la necesidad de ejecutar métodos de instalación de tuberías que no afecten el desarrollo económico de las ciudades.

La antigüedad de las tuberías es un factor importante que exige la renovación de éstas principalmente aquellas redes que poseen asbesto cemento debido a que es un material que contamina el fluido que transporta. Un ejemplo de ello fue el aniego en San Juan de Lurigancho donde una tubería se desacopló del buzón debido a que no soportó las cargas generadas por el tren eléctrico sumado a su antigüedad.

Se realizará el estudio y análisis del método para la ejecución de Tuberías de Redes Primarias Alcantarillado denominado TUNEL LINER con material HDPE, se presentará una comparativa en materia de costo y tiempo respecto al método TRADICIONAL conocido como ZANJA ABIERTA. (INDECI, 2019)

1.2 IMPORTANCIA DEL TEMA

Las Redes Primarias de Saneamiento son importantes en la distribución del agua como recurso de consumo humano y en la recolección de los residuos producidos por la población. A diferencia de las redes secundarias, estas redes siempre se encuentran transportando fluidos inclusive en los horarios de bajo consumo lo cual hace que su mantenimiento e inspección sea una tarea compleja y riesgosa, realizándose en la mayoría de casos en horario nocturno.

A pesar que los métodos de mantenimiento de redes han evolucionado a lo largo de los años con mejores equipos y mejor tecnología, esto no cambia el hecho de que muchas redes antiguas se encuentran en un estado crítico que requiere una solución rápida y eficaz. Claro ejemplo se evidencio en el año 2019 en el aniego del distrito de San Juan de Lurigancho a los alrededores de la Estación Pirámides del Sol que provocó afectaciones a miles de usuarios.

En el mercado existen tecnologías para la renovación de redes que son de rápida ejecución y de bajo costo que en teoría podrían solucionar el problema fácilmente, pero requieren que las redes se encuentren sin funcionamiento y sólo sirven para redes ya existentes a su vez que la ejecución se vuelve lenta si en el proceso se encuentran válvulas o tuberías no identificadas.

Es por ello la importancia en el desarrollo de un tema de investigación que justifique los beneficios del uso del método de TUNEL LINER para la ejecución de Redes Primarias ya que es un método no invasivo que no requiere el corte del suministro durante su ejecución y sobre todo a que es aplicable para tuberías de Redes Primarias. Con la aplicación de este método se mejoraría considerablemente la productividad en la ejecución de redes, así como el factor socioeconómico que se verá favorecido.

En resumen, podemos afirmar que el método de TUNEL LINER reduce sustancialmente el impacto social, ambiental y económico en comparación con los métodos tradicionales. (Duque Callejas, 2018)

1.3 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El incremento demográfico de las ciudades hace que los servicios básicos se encuentren colapsados debido a que fueron diseñados para satisfacer una demanda que no contemplaba el *boom* demográfico de la ciudad. Es por ello que se desarrollan diversos métodos de ejecución que complementen la infraestructura ya existente.

El problema al desarrollo de estos métodos radica en que para llevarse a cabo se atraviesan vías públicas importantes por lo que los métodos tradicionales simplemente no son una opción viable; ante esto se plantean sistemas de ejecución sin apertura de zanjas.

Según las especificaciones Técnicas para tuberías y accesorios en obras y servicios en SEDAPAL, el sistema de tuberías plásticas para drenaje y alcantarillado subterráneo se acoge al NTP ISO 8772 el cual exige el uso de tubería HDPE evidenciando un problema en la red primaria ya que opera con tubería de asbesto cemento. (SEDAPAL, 2019)

La identificación del problema se basa en la situación actual de las Redes Primarias de saneamiento existentes en el Distrito de San Juan de Lurigancho, en las que se han considerado los siguientes puntos:

- Tuberías obstruidas causadas por la sedimentación de materiales y por rajaduras propias de su antigüedad.
- La necesidad de prevenir futuros daños ambientales producidos por aniegos en tuberías colapsadas.
- La necesidad de ejecutar redes nuevas y/o proyectadas, lo cual hace inviable el método PIPEBURSTING que es únicamente utilizado en Redes ya existentes.
- La renovación de Redes Primarias en espacios reducidos y avenidas altamente transitadas en las que muchos factores no es viable la ejecución del método TRADICIONAL.
- La presencia de interferencias en cotas superiores de Redes de Gas, Energía Eléctrica, Telefonía y fibra óptica, entre otros.

El método de Túnel Liner es un problema científico ya que para su solución se contempla no afectar otros factores como la congestión vehicular, cortes de servicio de agua y luz, entre otros factores que se evidencian en el método tradicional.

Teniendo en cuenta que el método PIPEBURSTING y TUNEL LINER son métodos que no requieren de la apertura de zanjas abiertas. Todos estos puntos hacen que el método TUNEL LINER sea factible en la ejecución de Redes Primarias, por encima del método PIPEBURSTING y el TRADICIONAL.

1.4 PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Conforme las ciudades se van desarrollando se van suscitando nuevos problemas que requieren de aplicaciones novedosas pero fiables. Es por ello que ante los aniegos acontecidos en el distrito surge la necesidad de realizar nuevos proyectos de saneamiento dentro zonas altamente comerciales y de alto tránsito. Ante esto surge la propuesta de instalación de redes utilizando el método del Túnel Liner, siendo una técnica novedosa y con el suficiente sustento ingenieril para poder aplicarse de forma satisfactoria basándose en el manual de procedimiento constructivo del proyecto en mención. (Tenorio Barba, 2019)

Estos detalles conceptuales y sus respectivas estimativas serán desarrolladas en los siguientes capítulos.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio comparativo entre el método TUNEL LINER y el método zanja abierta para la instalación de redes primarias de saneamiento en San Juan de Lurigancho.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las características técnicas del equipamiento requerido, así como de los agregados y herramientas para la ejecución del método TÚNEL LINER en Redes de Saneamiento.
- Identificar las características técnicas del equipamiento requerido, así como de los agregados y herramientas para la ejecución del método TRADICIONAL en la ejecución de Redes Primarias.

- Dar a conocer el procedimiento constructivo para la ejecución del método de TÚNEL LINER.
- Comparar los costos de ejecución de obra de saneamiento entre los métodos TÚNEL LINER y TRADICIONAL.

2 CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

Para la ejecución de redes proyectadas existen dos métodos principales para su ejecución. En primer lugar, tenemos al método tradicional o zanja abierta, el cual es la forma más difundida y aceptada en el rubro. En segundo lugar, se tiene el método sin zanja el cual comprende a una familia de técnicas de las cuales el Pipebursting es el más difundido.

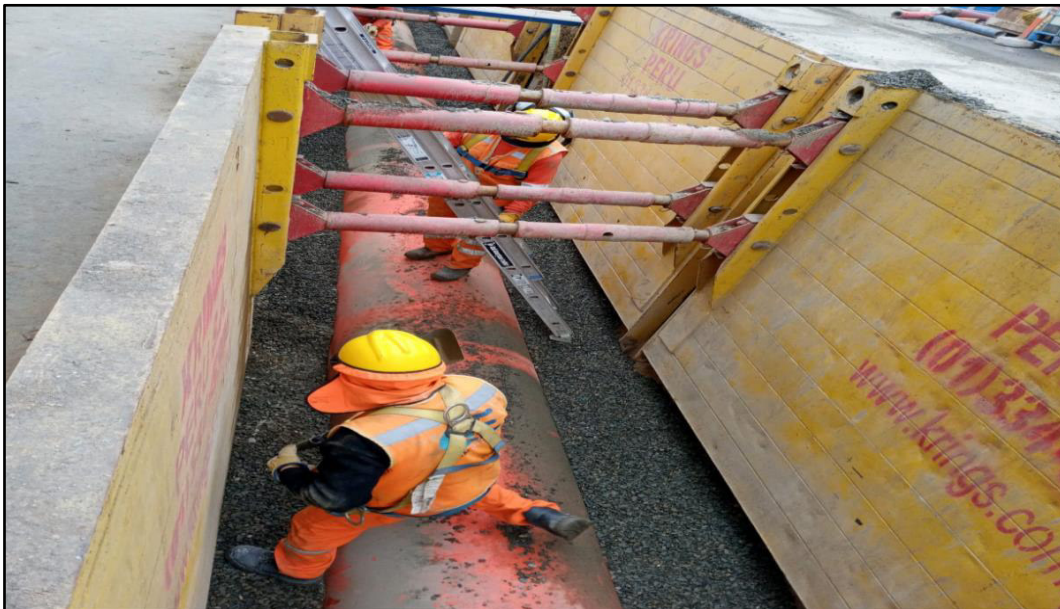
En esta oportunidad daremos a conocer los beneficios del Túnel Liner, un método sin zanja relativamente nuevo que es beneficioso bajo ciertas circunstancias de las cuales detallaremos.

2.1 MÉTODO CON ZANJA ABIERTA O TRADICIONAL

El método tradicional para la instalación de redes consiste en la apertura de una zanja con la ayuda de un equipo de excavación (retroexcavadora o excavadora) según las características del terreno y la cota de excavación requerida, se considera luego se procede a cubrir la base con cama de arena en un espesor entre 10 a 15 centímetros los cuales ayudara a proteger la tubería de la abrasión del terreno.

Ilustración 2

Instalación de Tubería con el Método Zanja Abierta.



Nota. La imagen muestra la instalación de tubería de alcantarillado (naranja) DN 800mm con el método de zanja abierta.

Después de tendido la tubería y protegido en la parte superior con cama de arena, se procede a rellenar la zanja con material propio y afirmado compactando por partes. Por último, se realiza el resane de la carpeta asfáltica.

En algunos casos se considera la colocación de confitillo o una combinación entre arena y confitillo, según lo requiera las especificaciones técnicas del proyecto. La arena de cama tiene mejores condiciones de protección ante la abrasión del terreno; en contra parte el confitillo tiene mejores capacidades de fijación de la tubería y permite trabajar en presencia de napa freática.

La colocación de entibados metálicos se considera a partir de los 2 metros de profundidad de la excavación con el objetivo de proteger a los trabajadores del deslizamiento del terreno dentro de la zanja; para excavaciones menores a los 2 metros basta con la instalación de tablestacado.

Para este procedimiento se considera las especificaciones técnicas CTPS-ET-006 en el cual se detalla las especificaciones técnicas para las excavaciones, nivelación y relleno. (SEDAPAL, 2017)

VENTAJAS DE ZANJA ABIERTA:

- Mayor duración de las tuberías por el material de recubrimiento.
- Correcto alineamiento topográfico.
- Alta fiabilidad.
- La pendiente de la tubería no tiene margen de error.

DESVENTAJAS DE ZANJA ABIERTA:

- Interferencias en el tramo disminuye el rendimiento.
- Cierre de desvíos de las vías de acceso.
- Congestionamiento vehicular.
- Comercios afectados.
- Contaminación y perturbación de la población.

2.2 MÉTODOS SIN ZANJA PARA LA INSTALACIÓN DE TUBERÍAS

Ante los avances tecnológicos y el aumento de población de las principales metrópolis del mundo, las nuevas tecnologías que no implicaba excavaciones empezaron a ser necesarias para el desarrollo hidráulico, ante ello en septiembre de 1985 se fundó la ISTT (The

International Society for Trenchless Technology) con la finalidad de formar, investigar y promover nuevos métodos que son beneficiosos para la población. La ISTT tiene 26 sociedades afiliadas como la LAMSTT (Latin American Society for Trenchless Technology) afiliada en noviembre del 2009. (The International Society for Trenchless Technology)

Las tecnologías sin zanja son empleadas en todo tipo de trabajos como instalación, cambio o reposición, inspección y detección de tuberías con intervención mínima de la superficie de terreno siendo considerado un método rápido, limpio y ecológico. Este método permite cruzar obstáculos superficiales como carreteras, ríos, inclusive vías de tren entre otros. Se debe tener precaución con las interferencias como redes de gas, telefonía y de saneamiento.

Según el ISTT también se considera la inspección y/o locación de tuberías como una rama de los métodos sin zanja, siendo las calicatas y piques exploratorios su equivalente en el método tradicional. (ISST, 2019)

2.2.1 TÉCNICAS PARA LA REHABILITACIÓN DE TUBERÍAS

En el área de saneamiento, la rehabilitación de tuberías se define como la serie de técnicas o métodos por el cual se renueva o reemplaza una tubería siempre existente, generando una prolongación del tiempo de vida de la red antigua, algunos métodos como el revestimiento interno se puede tener un reforzamiento estructural generando un mejoramiento en el soporte de las cargas.

A. REVESTIMIENTO INTERNO DE TUBERÍA MEDIANTE ROCIADOR

El revestimiento de mortero de cemento (CML) es un método de renovación de tuberías que consiste en la introducción de un equipo rociador, este equipo obtiene el material mediante manguera impulsada desde una bomba ubicada en la superficie. El cabezal del rociador gira mientras vierte el material a alta presión para que quede adherida a las paredes internas de la tubería, el grosor del recubrimiento se obtiene en función de la velocidad de avance del equipo rociador a lo largo del tramo, mientras más rápido avance el equipo la película de revestimiento es más delgada. En caso de la aplicación a base de mortero es seguido del refinado de la superficie.

La técnica de revestimiento interno se clasifica en tres subtipos:

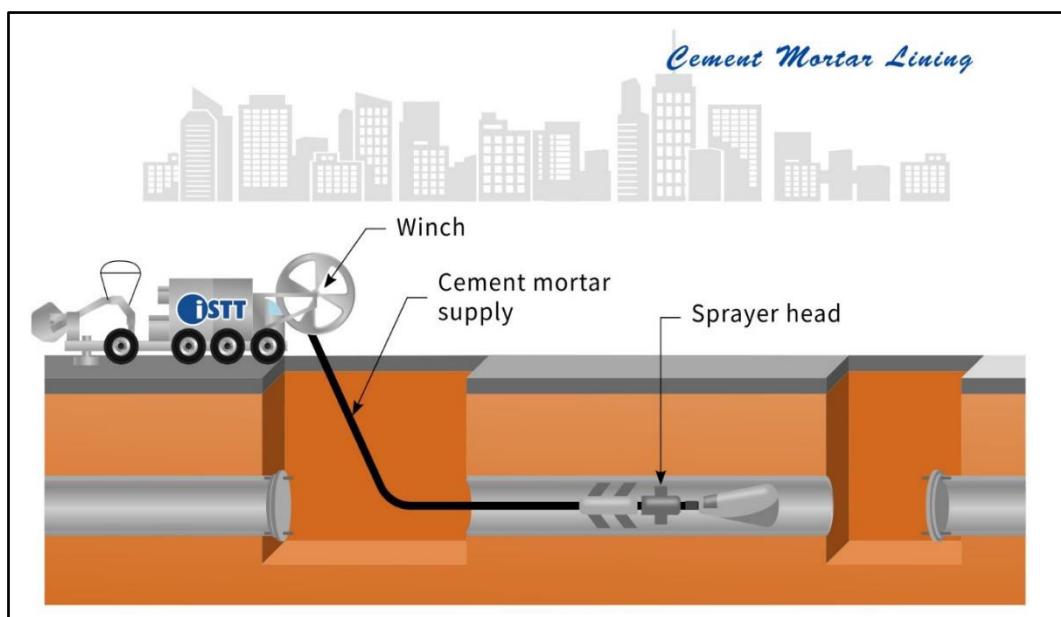
- i) Revestimiento mediante mortero de cemento: Requiere de un curado mayor a las 16 hrs.
- ii) Revestimiento mediante Epoxi: Cuyo curado demora un aproximado de 16 hrs.
- iii) Revestimiento mediante Poliuretano: Con un tiempo de curado de 2 hrs.

Las paredes internas de la tubería deben encontrarse libres de cualquier otro material como zarro, sedimentación, corrosión y otros, así como estar seco para garantizar una correcta adhesión del material en la pared de la tubería. El mortero de cemento está diseñado para soportar la abrasión según la norma ISO 4179 en la que se especifican los requerimientos mínimos como el espesor del revestimiento interno y accesorios de Hierro Dúctil (HD). (PAM Saint Gobain., 2014)

Una de las técnicas de limpieza más usadas para la limpieza de tuberías de alcantarillado es la máquina de balde seguido por el hidrojet el cual lanza chorros de agua a alta presión. Para la limpieza de redes de agua también se considera el hidrojet junto con el raspado para el retiro de zarro.

Ilustración 3.

Revestimiento de Mortero de Cemento.



VENTAJAS:

- La película de revestimiento protege la tubería existente de futuras corrosiones a causa del contacto con el agua, sobre todo en tuberías de hierro dúctil.
- El revestimiento interno al haber sido refinado reduce la rugosidad hidráulica mejorando las características de flujo de la tubería.
- La película cubre las imperfecciones que la tubería obtuvo debido a la corrosión.
- La reducción del diámetro interno es despreciable, en milímetros.

DESVENTAJAS:

- El tiempo de curado es lento lo cual se dificulta si el tramo tiene conexiones domiciliarias.
- Las conexiones domiciliarias deben ser anuladas temporalmente para evitar la contaminación de la tubería a renovar.
- Su aplicación es más beneficiosa en tuberías de tramos largos.
- Un número excesivo de conexiones disminuye el rendimiento y aumenta el costo de su aplicación.

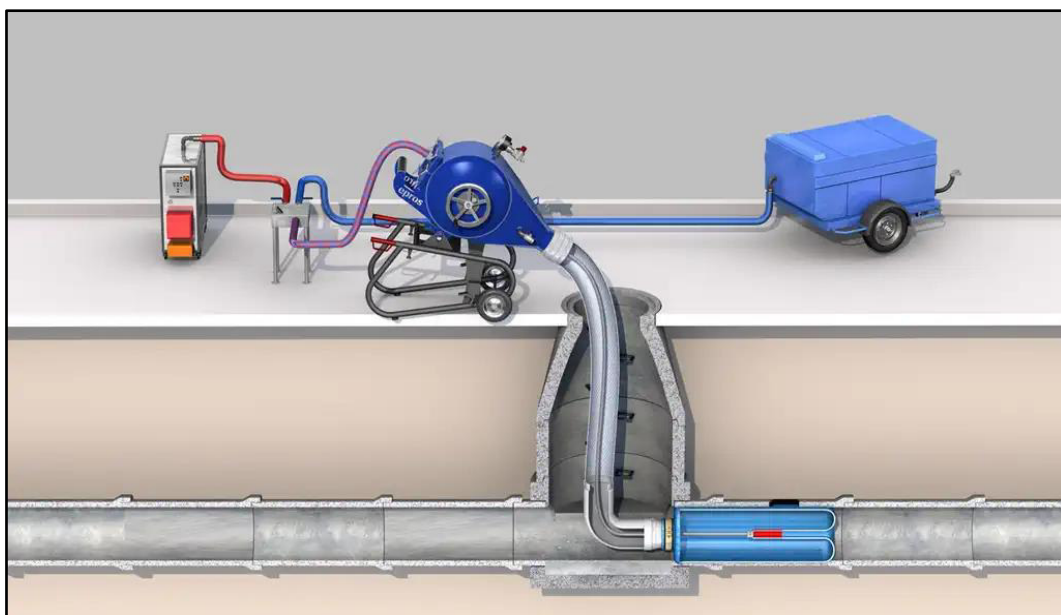
B. REVESTIMIENTO DE TUBERÍAS MEDIANTE INVERSIÓN

El revestimiento de tubería mediante inversión es un método de renovación en la cual se utiliza una manguera flexible de composición sintética que es humedecida con resina de reacción química. La manguera es enrollada en un tambor que emite aire a presión desde un extremo de la manguera, la presión es regulada por un equipo de control generando que la manguera se desenrolle conforme va siendo instalada en la tubería existente.

Previo a la instalación de la nueva red es necesario realizar los desvíos de los tramos que vamos a intervenir, así como la instalación de redes aéreas provisionales de agua potable en los medidores, esto a fin de tener el tramo seco para realizar la limpieza mediante hidrojet o rasqueteo. La tubería debe encontrarse libre de residuos y/o protuberancias.

Ilustración 4.

Revestimiento de Tubería Mediante Inversión.



Con el fin de evitar vacíos entre las paredes interna de la red antigua y externa de la red nueva se debe mantener la presión de instalación al momento de realizarse el curado de la manguera. Según las especificaciones técnicas de la resina, este puede curarse con agua, aire caliente o luz LED.

VENTAJAS:

- Es aplicable para cualquier tipo de tubería con diámetro suficiente para la inversión de la manguera.
- La instalación de la manguera es de bajo coste a comparación del método tradicional.
- Alarga el tiempo de vida de la red por al menos 50 años.
- Las grietas o filtraciones existentes quedan resanadas.
- La manguera puede ser instalada en tramos con curvas de hasta 90°

DESVENTAJAS:

- No es aplicable para tuberías colapsadas.
- Su aplicación en tuberías de alcantarillado requiere de un desvío provisional en tramos aguas arriba.
- Las conexiones domiciliarias tienen que ser desconectadas.
- No es aplicable para diámetros pequeños o menores al que ocupa el accesorio de inversión.

C. FRAGMENTACIÓN DE TUBERÍA

La fragmentación de tubería conocida como Pipebursting es un método que consiste en el reemplazo de tuberías por medio de roturas sin retirar físicamente la tubería anfitriona. Es una técnica de procedimiento rápido y de bajo coste en comparación con el método tradicional a zanja abierta.

Unas varillas de acero con longitud de 0.80m cada una son insertadas desde el punto final hacia el punto inicial con el impulso del *bursting unit*, luego el extremo de la primera varilla es acoplado a un cabezal, que a su vez se acopla a la tubería que será insertada (comúnmente PEAD). Teniendo instalado el sistema, las varillas son haladas con la potencia generada por el *bursting unit* y su fuente de poder. El cabezal es de forma cónica lo cual facilita la inserción dentro de la tubería existente haciendo que esta se fragmente a medida que da paso a la tubería nueva.

La técnica de fragmentación se clasifica en dos subtipos:

- i) Fragmentación Estática: El cabezal es halado por medio de las varillas a una velocidad constante evitando vibraciones.
- ii) Fragmentación Neumática: El cabezal es empujado por la presión de aire generado un golpe similar a un martilleo, esta acción de percusión impide que este método se aplique a tuberías cercanas a interferencias en un rango de 0.30m

En el caso de redes de distribución es necesario la apertura de dos ventanas, al inicio y al final del tramo para la colocación de la unidad de fragmentación y la introducción de la tubería. Para las redes de recolección solo es necesario la apertura de una ventana para la unidad de fragmentación, el buzón final sirve como ventana para la introducción de la tubería. Las dimensiones de las ventanas pueden variar según el tamaño del equipo y sus especificaciones técnicas, en su mayoría se considera un área de 3mx1.5m a una profundidad variable según la ubicación de la tubería existente. (EMOS S.A., 2008)

VENTAJAS:

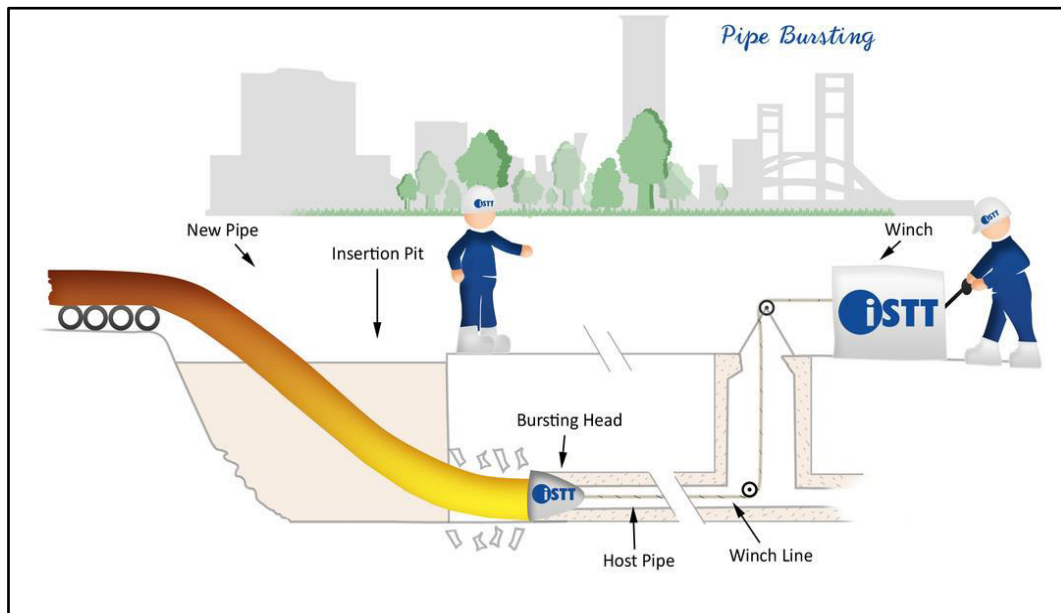
- El diámetro de la tubería puede incrementarse mejorado las características de la red.
- Rendimiento mayor en comparación al método con zanja.
- Libre acceso vehicular y de comercio en zonas de alto tránsito.
- Las ventanas ocupan un espacio reducido.
- La fragmentación estática no genera vibración lo cual no genera daño a otras redes cercanas.

DESVENTAJAS:

- La vibración generada por el cabezal neumático puede dañar tuberías otros servicios que no hayan sido identificados correctamente.
- La instalación de conexiones domiciliarias requiere de una excavación por conexión, lo cual desmerece al verdadero propósito de la fragmentación.
- La presencia de juntas mecánicas, válvulas y abrazaderas puede impedir el avance de la fragmentación teniendo que solucionarse mediante piques puntuales.

Ilustración 5.

Fragmentación de tubería (Pipe bursting).



2.2.2 TÉCNICAS PARA NUEVAS INSTALACIONES

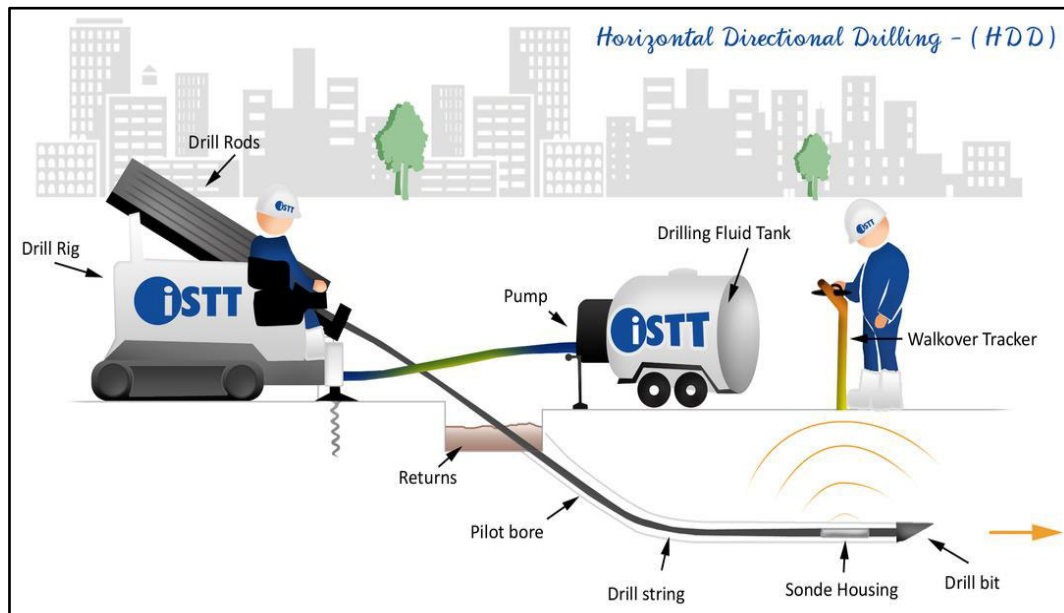
El método tradicional de zanja abierta está ampliamente difundido y aceptado en la instalación de redes nuevas, es por ello que se continúa utilizando para la gran mayoría de proyectos. Pese a esto existen diversos métodos que se están abriendo paso dentro de la familia de técnicas para la proyección con métodos sin zanja. A continuación, detallaremos algunos métodos para nuevas instalaciones.

A. PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA (PHD)

Es una técnica de instalación que consiste en la perforación del terreno por medio de una broca giratoria acoplada a una serie de barras. El sistema es impulsado con la ayuda de un taladro de alta capacidad el cual empuja y/o hala la broca hasta llegar al punto final.

Ilustración 6.

Perforación Horizontal Dirigida (PHD).



En el proceso de perforación la broca es monitoreada con la ayuda de un equipo rastreador que es posicionada en la superficie cual sirve de guía al operador del taladro, en el caso de presentarse pequeñas variaciones, la forma de la broca permite retomar la dirección de la excavación requerida. El proceso de instalación consiste de 3 fases.

La primera fase, también es conocida como excavación piloto, ayuda a entender los pormenores que se puedan tener previo al tendido de la tubería, consiste en la perforación con la broca como guía, seguida de las barras en la cantidad necesaria según la longitud del tramo.

En la segunda fase teniendo la broca en el punto de llegada, se le acopla un escariador que permita ensanchar el diámetro de la excavación, la segunda fase puede repetirse las veces que sea necesaria incluso con escariadores de mayor diámetro hasta tener las dimensiones requeridas de perforación requeridas.

La tercera fase consiste en el acoplamiento de la tubería junto al cabezal del escariador, el sistema es halado dando paso a la inserción del tubo mientras el escariador libera los escombros sobrantes del terreno ya perforado. La perforación avanza mediante una combinación de rotación y empuje suministrada por el taladro cuya ubicación requiere de un anclado firme. Tanto las brocas como los escariadores son elegidos según los diferentes tipos de suelo, desde arcillas y arenas hasta rocas.

VENTAJAS:

- Instalación de alto rendimiento comparado al método tradicional.
- No se requiere una tubería huésped para su instalación.
- Libre acceso vehicular, tránsito peatonal y acceso a comercios.
- La perforación no es invasiva y de bajo impacto ambiental.
- Fácil manipulación e instalación de los equipos.

DESVENTAJAS:

- El agua expulsada por la broca genera residuos de lodo en una proporción de 1:3 del material retirado.
- La tubería instalada debe ser de una clase superior a la instalada en un método tradicional en condiciones de terreno similares, ello debido al contacto directo de la tubería con el terreno natural.
- No es recomendable para redes en las que la pendiente es un factor importante (redes de recolección).
- El mal direccionamiento de la tubería puede generar sedimentación.

B. INSTALACIÓN POR EMBESTIDA (PIPE RAMMING)

El pipe ramming es un método *trenchless* para la instalación de redes de hierro dúctil o de acero. Esta técnica consiste en la instalación por medio de golpes o embestidas, para ello la tubería es equipada con un perfil de corte en el extremo que tendrá contacto con el terreno y la coraza es lubricada, así como el contorno de la tubería; el otro extremo de la tubería es acoplado por un cono con el equipo neumático de aire comprimido.

Las embestidas van insertando la tubería en el terreno en dirección al punto de salida, se pueden soldar nuevas longitudes de tuberías conforme se avanza con la instalación. Para mantener la dirección de la instalación, la tubería y el martillo es apoyado en un riel que se encuentra previamente alineado y anclado.

Finalizada la instalación, se procede a realizar la limpieza interna de la tubería instalada, se retira el material mediante agua o aire a presión. Durante el proceso de instalación se puede ir liberando material para disminuir la fricción y mejorar el rendimiento.

VENTAJAS:

- Instalación de alto rendimiento.

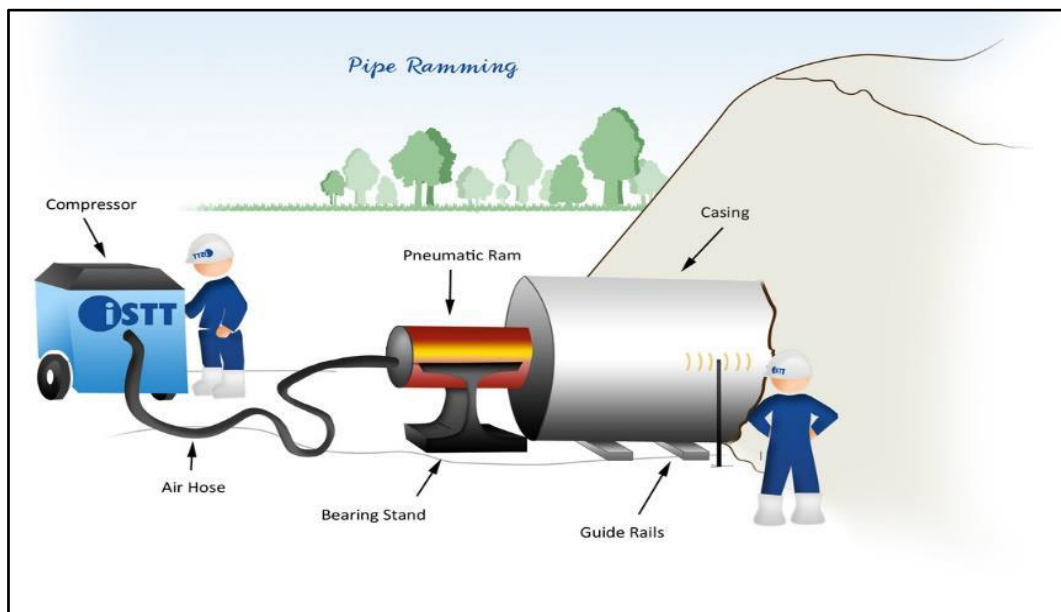
- Puede ser instalado en tramos con poco recubrimiento sin afectar la superficie del terreno.
- Mínimo impacto ambiental, el material desechado es considerablemente menor en comparación a otros métodos.

DESVENTAJAS:

- Es un método aplicable para ciertos casos donde se contemple instalar tuberías de acero y/o hierro dúctil.
- El terreno puede generar ciertas variaciones en la pendiente y/o alineamiento del tramo.

Ilustración 7.

Pipe Ramming.



C. TÚNEL LINER

El Túnel Liner es un método para la instalación de nuevas tuberías tanto para redes de recolección como de distribución, su uso es básicamente para redes primarias, aunque también pueden instalarse tuberías de diámetros pequeños.

El proceso inicia con la implementación de cámaras de excavación, las cuales posteriormente serán utilizadas como cámaras de inspección. En estas cámaras se van implementando entibados metálicos conforme se va realizando la excavación vertical, una vez llegado a la cota requerida se procede a iniciar la excavación horizontal.

Las excavaciones horizontales son realizadas manualmente, es por ello que el túnel tiene que ser debidamente implementado con iluminación y ventilación asistida. (Consortio San Juan., 2019)

Para este método se aplican los parámetros planteados en el procedimiento constructivo de instalación de tubería en el túnel liner.

Ilustración 8.

Túnel Liner.



Entre los beneficios encontramos la posibilidad de realizar trabajos sin la necesidad de cerrar vías principales, comercios, y espacios públicos. Esta técnica, en la cual se desarrolla este trabajo, se explicará a detalle en los siguientes capítulos.

2.3 ANTECEDENTES

- i) Morales castillo (2018) centra su tesis “Láminas de acero galvanizado en caliente y su influencia en la construcción de túneles por el método tunnel liner. distrito, Huacho, Huaura 2018” en tres objetivos: Influencia en la Resistencia estructural, Influencia respecto a la corrosión, Influencia con respecto a la Simplicidad de Maniobras. Se tuvo como objetivo demostrar que las láminas liner influyen en la simplicidad de la construcción por el método de tunnel liner, para ello se hizo un estudio de la composición y espesor de las láminas. Se observó que en los nuevos diseños de fabricación las láminas eran más ligeras, de fácil instalación y que no necesitan de

personal especializado para el ensamblado por lo que las láminas de acero galvanizado facilita su operatividad en el campo mejorando el rendimiento de ejecución.

PROYECTOS CON TÚNEL LINER EN OBRAS DE SANEAMIENTO

Desde hace muchos años el TÚNEL LINER viene siendo desarrollada en el Perú para proyectos ajenos al saneamiento como el recubrimiento de túneles utilizados para el transporte vehicular y ferroviario, revestimiento de pozos y vías de acceso para las minas, conductos tubulares, pasos para peatones, revestimiento estructural, entre otros.

Como antecedentes se tienen algunos de los siguientes proyectos en los cuales se han aplicado el método de TUNEL LINER para la ejecución de ciertas redes de saneamiento.

- “Optimización de sistemas de agua potable y alcantarillado, sectorización, rehabilitación de redes y actualización de catastro – área de influencia planta Huachipa – área de drenaje Oquendo, Sinchi Roca, Puente Piedra y sectores 83, 84, 85 y 212 – lima”
- “Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 311, 313, 330, 310, 312, 314, 300, 307, 319, 324 y 301: nueva rinconada - distritos de san juan de Miraflores, villa maría del triunfo y villa el salvador - etapa 1 frente 1 y frente 2.” en la que se utilizaron tres métodos de ejecución de redes, método túnel Liner, método tradicional a zanja abierta y método *pipebursting*.

El método de TÚNEL LINER es relativamente nuevo en el Perú. Aunque en la actualidad existen muchos proyectos de saneamiento que contemplan el uso esta metodología, estas se encuentran en la etapa de perfil por lo cual no se puede considerar como antecedente de la presente publicación, de allí viene la importancia de difundir este método.

2.4 DEFINICIONES TÉCNICAS DEL TÚNEL LINER

- Cámara de Ataque o Cámara de Excavación: Es una excavación geométrica en su mayoría de forma rectangular la cual nos permitirá el proceso de excavación horizontal. Esta cámara será también donde se ubicará el buzón para el caso de Red de Alcantarillado, o algún Accesorio para el caso de Red de Agua.

- Cámara de Lanzamiento: Al igual que la cámara de ataque es una excavación de geometría rectangular cuya función es el tendido de la tubería de la Red. Una cámara de excavación también puede ser una cámara de lanzamiento según los requerimientos y circunstancias del proyecto.
- Espacio Confinado: El espacio confinado se define como el espacio físico destinado para un trabajo en específico cuya entrada y salida es limitada, por lo que no está concebido para una ocupación continua del trabajador. (Ramírez Albadán, 2020)
- Excavación Confinada: Se le denomina excavación confinada a la actividad realizada al interior del túnel Liner. La excavación puede ser de forma manual o mecanizada.
- Grupo Electrónico: Es un equipo utilizado para la generación de energía eléctrica a través de un motor de combustión interna. Ayuda a mantener el nivel de producción en obra inclusive si no se cuenta con un suministro eléctrico.
- Polietileno de alta densidad PEAD-HDPE: Es un polímero termoplástico cuyas características es tener alta resistencia térmica, resistente al impacto y a altas presiones. Ideal para proyectos de saneamiento.
- Red Primaria: Se denomina así a las tuberías principales cuyo diámetro parten de los 450 mm (14”).
- Red Secundaria: Se denomina a las tuberías cuyos diámetros no superan los 300 mm (12”).
- Tubería: Es un conducto de sección circular cuya función en el rubro de saneamiento es el transporte de fluidos, ya sea agua potable o aguas residuales.
- Tubería Asbesto Cemento AC: Es una tubería formada por cemento de asbesto, el cual al ser erosionado las fibras tóxicas pueden ser transportadas a través del aire y agua causando enfermedades como la asbestosis y cáncer de pulmón. Su uso actual está prohibido.
- Túnel Liner: Método constructivo para la proyección de Redes Primarias.
- Vagón Minero: Es un equipo utilizado para el transporte de materiales de forma horizontal. Es ideal para tener altos rendimientos inclusive si su uso es en espacios confinados.
- Winche: Es un equipo eléctrico utilizado para transportar materiales entre dos o más puntos horizontales.

2.5 ACTIVIDADES A EJECUTAR EN EL TÚNEL LINER

A. PLANIFICACIÓN

Los planos del proyecto contemplan las interferencias de redes existentes, ya que se basan en planos enviados por las propias entidades encargadas (Calidda, Sedapal, Edelnor, etc.). Sin embargo, para un buen análisis previo se realiza un recorrido en campo identificando parches en las pistas, tapas de buzones o telefonía, cables eléctricos, postes o torres de luz, etc.

El uso de georradars nos permite detectar con mayor facilidad las interferencias, ello sumado con el apoyo de un topógrafo se realizará la marcación sobre el terreno. Es necesario un levantamiento topográfico del trazo que se ejecutará, identificando las profundidades de las interferencias. Todo es válido para detectar alguna interferencia que el proyectista y la entidad hayan pasado por alto.

De tener inconvenientes o consultas se debe tener comunicación con los técnicos o ingenieros encargados de los otros servicios para que puedan emitir sus recomendaciones del caso.

B. HABILITACIÓN DE CÁMARAS DE ATAQUE (EXCAVACIÓN VERTICAL)

La habilitación de las cámaras son el primer paso del procedimiento constructivo.

Una vez delimitado la zona de trabajo, se inicia con una excavación vertical donde debemos llegar a la cota de fondo de la cámara.

La geometría de la cámara puede ser rectangular 3.50m x 3.50m o de forma circular $D=1.60m$, estas dimensiones pueden variar según el diámetro de la tubería a instalar ya que requerirá mayor área de trabajo para el lanzamiento y las pegas.

Mientras el proceso de excavación se va realizando, se debe ir entibando el terreno, para ello se utiliza el sistema de entibado tipo esquinero. Según la profundidad de la excavación el entibado contará con dos o más cuerpos, de ser el caso, a partir del segundo cuerpo se recomienda la instalación de winches eléctricos verticales que faciliten el retiro del material excedente.

Ilustración 9.

Cámara de Excavación.



La colocación del entibado corresponde hasta 0.30m por encima del túnel, en las caras donde no se realizará ninguna excavación el entibado debe llegar hasta el fondo de la cámara

Como parte de la seguridad del personal, cada vez que el winche es utilizado los trabajadores deben resguardarse dentro del túnel. Una escalera y una línea de vida retráctil es instalada en cada cámara de ataque.

Una vez habilitada la cámara con equipos, materiales y personal, se procede a realizar la excavación horizontal

C. EXCAVACIÓN HORIZONTAL

Para dar inicio a la excavación horizontal, se instalan al menos dos anillos metálicos y se fijan sobre la marca de inicio. La fijación de los anillos debe hacerse con soldadura y con el apoyo de un topógrafo que guíe la pendiente y el alineamiento de los anillos posteriores respetando el proyecto.

La instalación de los anillos genera pequeñas desviaciones por lo que las cuadrillas deben contar con un topógrafo permanente que realice la verificación y corrección del sentido de la excavación, de forma diaria.

Ilustración 10.

Nivelación del liner.



Para la excavación horizontal en espacios confinados se requiere de barretas y lampas de corto alcance, un vagón minero para retirar el material excedente e ingresar los anillos metálicos para su instalación. A su vez en cada túnel se implementa un sistema de iluminación y ventilación asistida.

La excavación debe ceñirse lo más posible al diámetro exterior del liner con el fin de evitar sobre excavaciones que puedan afectar la estabilidad del terreno.

D. SISTEMA DE INYECCIÓN - MORTERO FLUIDO EXTERIOR DEL LINER

Las excavaciones horizontales se llevan de manera manual por lo que es habitual que se generen sobrecanchos en los límites determinados como sección de túnel. A medida que se desarrolla la excavación y se van colocando los anillos liner, se debe rellenar el espacio vacío entre el terreno natural y las láminas liner, esto con el objetivo de estabilizar el terreno para tener una adecuada transmisión de esfuerzos.

Se utilizará mortero fluido (lechada) con la ayuda de una bomba de inyección, para ello los anillos liner deben contar con orificios que permitan la entrada de la manguera de inyección. Para el inyectado del mortero es necesario iniciar en la zona inferior y luego proceder a los puntos altos con el objetivo de evitar burbujas o puntos vacíos.

El volumen de mortero inyectado es variable según la estratigrafía del terreno, a mayor presencia de grava la probabilidad de desprendimiento de terreno es mayor por lo que el volumen de mezcla inyectada aumenta.

La dosificación de la mezcla es de un balde (21 lts) de cemento, 2 baldes de arena fina, 2.5 baldes de agua. Esta mezcla representa un valor de 40 kgf/cm² lo cual es pobre para fines estructurales pero lo suficientemente apto para la finalidad del caso que consiste en cumplir la función de rellenar el vacío de la sobreexcavación.

Una vez secado la mezcla se procede a inspeccionar el vaciado con la ayuda de un martillo dando golpes en los anillos, de producirse un sonido de vacío se procederá a realizar un inyectado extra los puntos que se encuentren los errores.

Ilustración 11.

Verificación de inyección de Mortero Fluido.



E. INSTALACIÓN DE TUBERÍA - TENDIDO DE TUBERÍA

Para realizar el tendido de la tubería es necesario tener el suministro de las tuberías y el equipo de termofusión en el campo de trabajo, así como el acceso a energía eléctrica suficiente para activar la termofusión.

Mientras la cuadrilla realiza las pegas correspondientes entre las tuberías, se realiza la conformación de las rampas de lanzamiento por el cual la varilla será arrastrada con la ayuda de equipos de izado. Las rampas de lanzamiento son seleccionadas por el ingeniero encargado en coordinación con la supervisión, la elección se da teniendo en cuenta las cámaras existentes

que tengan un espacio apto para la conformación de las rampas. Es importante tener en cuenta las características de la tubería, la longitud del tramo y la pendiente; es por ello que se recomienda insertar la varilla en dirección aguas arriba hacia aguas abajo, una instalación contraria conllevaría a un sobreesfuerzo por parte de los equipos de izaje para insertar la tubería en contrapendiente.

A pesar que las tuberías de HDPE son de alta flexibilidad, las rampas deben tener baja pendiente para evitar la deflexión de la varilla.

En algunos casos en las que no se cuenta con espacio suficiente para habilitar la rampa o para dejar la varilla en la superficie. Se opta por realizar las pegas de las tuberías dentro de la cámara, para ello se habilitan dos tuberías que son pegadas y luego empujadas a través del túnel, luego suministra un tercer tubo y así sucesivamente. En este caso tanto las pegas como el lanzamiento se realiza de manera simultánea. Comúnmente las tuberías cuentan con una longitud de 6m cada una por lo que se debe tener las consideraciones del caso al realizar las pegas.

F. NIVELACIÓN Y ALINEAMIENTO

Una vez terminado la instalación de todos los anillos liner, se procede a la instalación del riel de lanzamiento. Es cierto que se considera un riel para operar el vagón minero, pero este no cuenta con verificación topográfica, su uso es netamente para el transporte.

Ilustración 12.

Túnel Liner.



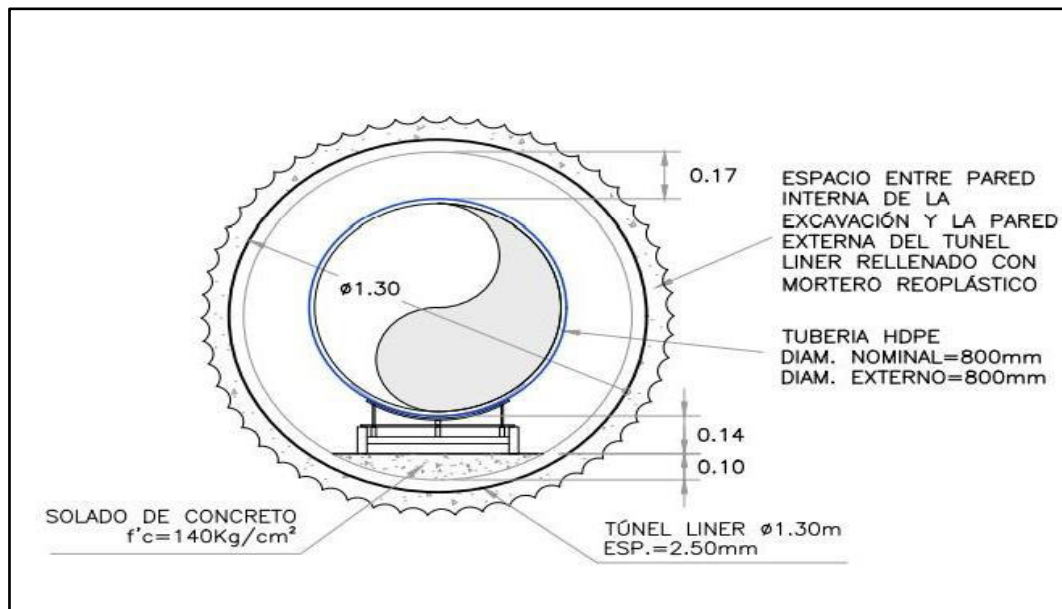
Para realizar un tendido adecuado se requiere la nivelación y alineamiento de los rieles instalados, también se debe considerar las dimensiones que tendrá el carrito de apoyo y determinar sus ubicaciones a lo largo del tramo. Para ello se destina un carrito de apoyo por cada 6m como máximo para evitar que la tubería se arquee, se registra cada punto de apoyo y se hace las modificaciones necesarias (aumentar o disminuir la altura del carrito de apoyo) con la finalidad de que al momento del lanzamiento la tubería quede totalmente nivelada de acuerdo a las especificaciones del tramo.

G. RELLENO CON CONCRETO EN EL INTERIOR DEL LINER

Previo al tendido de la tubería, el riel es cubierto con concreto con la finalidad de anclarlo y evitar variaciones en la nivelación. Para este caso se utiliza concreto 140 Kg/cm² lo cual requiere de grava para su mezcla, por lo tanto, el vaciado debe realizarse por partes siendo un proceso lento pero que garantice la fijación de los puntos. El vaciado se realiza a pulso para evitar tocar el riel y que este se desnivele.

Ilustración 13.

Vista de Corte Túnel Liner.



Posterior al tendido de la tubería, se realiza una verificación topográfica del tramo para luego proceder a rellenar con concreto de baja resistencia 10 Kg/cm². Este concreto no tiene fines estructurales, su función es netamente de relleno y revestimiento. Cumple una función similar a la cama de arena en el método con zanja para proteger a la tubería de la abrasión.

Este procedimiento debe efectuarse considerando que el concreto en un inicio tiene el comportamiento de un fluido, por eso el relleno se realiza iniciando desde el punto con la cota más baja hacia el punto con la cota más elevada. Al tener un espacio reducido entre el anillo liner y la tubería PEAD (0.25m aprox.) el trabajo se debe realizar paulatinamente con la finalidad de esperar a que el concreto se asiente y auto compacte ya que no se puede introducir ningún equipo de vibrado.

Ilustración 14.

Relleno de Concreto.



H. CONFORMACIÓN DE LAS CÁMARAS

En esta etapa se procede a la conformación de las cámaras, para los tramos de recolección en estos puntos se ubicarán buzones; para tuberías de distribución en estos puntos se ubicarán las cámaras de inspección o en su defecto algún accesorio. Al ser redes primarias los accesorios pueden ser inclusive de mayores dimensiones que la propia tubería y sus dados de anclaje ocupan un espacio aún mayor con lo que justifica su elección como cámaras de excavación.

Se debe tener en consideración que los anillos liner deben llegar a la cara externa de la estructura de la cámara (sea buzón o dado de anclaje) con la finalidad que la totalidad de la tubería quede protegida por los anillos.

Los entibados metálicos deben permanecer durante toda la etapa de construcción de las cámaras para dar seguridad operacional a la cuadrilla. Una vez terminado el proceso se da inicio al relleno y compactación.

I. EMPALMES A REDES EXISTENTES

Para que la nueva red quede totalmente operativa se debe empalmar a la red en funcionamiento.

Se realiza un corte del servicio previa coordinación con la entidad y la SUNASS. El cuadrante que se verá afectado por el corte de servicio debe ser notificada mediante diversos medios de difusión masiva, incluido una repartición de volantes informativos. Semanas previas al empalme se debe tener todos los materiales y equipos en perfecto estado ya que al tratarse de redes primarias el volumen de agua por desviar es considerablemente grande. Las cuadrillas que realizaran el empalme deben tener el conocimiento necesario, de ser el caso se debe considerar un mayor número de personal si el trabajo se extenderá más de 06 horas continuas.

En caso de redes de recolección se debe realizar un muestreo prolongado del caudal de las redes existentes para determinar el horario en el que existe menor flujo de residuos. Identificado el intervalo óptimo se programa el empalme y se difunde a la población la fecha fijada con la finalidad de concientizar y solicitar que disminuyan al mínimo el servicio de alcantarillado. Con la información de muestreo del caudal se identifica la potencia y el número de las motobombas que serán utilizadas para realizar el desvío. Se debe tener en consideración que el desvío empieza un tramo anterior al punto de empalme y concluye un tramo posterior al mismo, también se debe prever que el sistema debe permitir el bombeo de materiales solidos de hasta 3/4" sin causar atoros.

J. RELLENO Y COMPACTACIÓN

Culminados los trabajos se procede al relleno y compactación de los puntos abiertos, así como de la eliminación del material excedente.

Con la finalidad de mantener las estructuras de las cámaras en perfecto estado, para el tapado de zanjas el material debe ser colocado. Considerando que las excavaciones tienen un promedio de 5m de profundidad el lanzamiento del material de relleno puede generar desnivelaciones o desacoples de los accesorios. La compactación del relleno se realiza por capas de 0.30m las veces que sean necesarias hasta llegar a nivel de la subbase. En los espacios

estrechos la compactación se realiza con un vibroapisonador y en espacios más amplios se contempla el uso de rodillos.

En los puntos donde hay presencia de pavimento, se rellena con una base granular o afirmado con un espesor final de 0.20m. El afirmado es un material selecto que posee alta resistencia a la deformación. El porcentaje de compactación del afirmado será del 100%.

Para el cierre definitivo de las zanjas, se procede al pavimentado de las vías públicas de acuerdo al espesor del pavimento existente ya sea flexible, rígido o mixto.

Ilustración 15.

Túnel Liner.



VENTAJAS:

- Implica una disminución significativa en el material de excedente lo que contribuye en un menor impacto ambiental.
- Una excavación sin zanja evita la destrucción de la carpeta asfáltica y de los demás servicios públicos, contribuyendo a un mínimo impacto social.
- La inyección del mortero fluido en el exterior y el anillo liner evita el hundimiento de las vías, contribuyendo a la transitividad del espacio público.
- La mínima mantención requerida a causa de la composición de los anillos liner permite su durabilidad en ambientes agresivos.

3 CAPÍTULO III DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

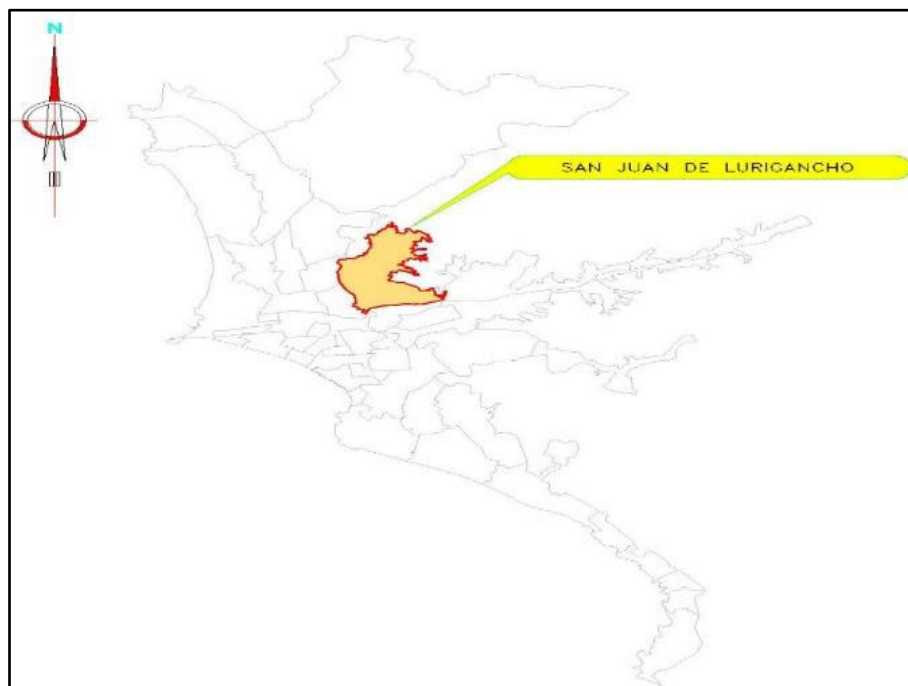
La recopilación de datos se basa en el método Cualitativo que consiste en la descripción de situaciones o fenómenos observados de una forma subjetiva; y el método Cuantitativo que consiste en el análisis de datos numéricos con resultados objetivos y comparables. (Cadena Iñiquez, Rendón Mendel, Aguilar Avila, Salinas Cruz, & Sangerman Jarquin, 2017)

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para realizarse un análisis comparativo de forma correcta, se debe tener en cuenta las características propias del lugar. Tenemos como zona de estudio una parte del Distrito de San Juan de Lurigancho como se detalla en el siguiente plano.

Ilustración 16.

Ubicación del Proyecto.



El distrito de San Juan de Lurigancho se encuentra ubicado en la provincia y departamento de Lima. Entre sus características geográficas tenemos que está a una altura que van desde 190 msnm conocido como el valle en el Río Rímac hasta 2200 msnm ubicado en el Cerro Colorado, posee una superficie de 131.25 km².

La población del distrito ha ido creciendo de forma continua hasta el punto de que para el año 2020, según datos del INEI, se tenía una estimación de 1,177,629 habitantes y una densidad poblacional de 8,972.4 Hab/km².

Entre sus fronteras con otros distritos de la capital tenemos:

- Norte: Distrito de Carabayllo.
- Sur: Distrito de El Agustino y el Distrito de Lima.
- Este: Provincia de Huarochirí y el Distrito de Lurigancho.
- Oeste: Distrito del Rímac, el Distrito de Independencia y el Distrito de Comas.

Ilustración 17.

Desarrollo del Proyecto.



En el proyecto de estudio se ubica exactamente en la zona conocida como Bayóvar, donde se encuentra la estación del mismo nombre de la Línea 1. Como parte de la estructura vial se encuentra la Av. Fernando Wiesse que interseca con la Av. Héroes del Cenepa.

Existen diversas actividades de diferentes rubros económicos como mercados, restaurantes, un colegio, una clínica privada, la estación del tren, gasolineras, ferreterías, tiendas minoristas y paraderos informales.

Las redes existentes presentan problemas de represamiento, deformaciones, desalineamiento vertical y horizontal, separaciones entre juntas, y un flujo turbulento. Este mal

comportamiento hidráulico debe al deterioro de las tuberías lo cual ocasiona pérdidas económicas, daños ambientales y graves riesgos contra la salud pública en casos de aniegos.

3.2 ANÁLISIS CUALITATIVO DEL MÉTODO TÚNEL LINER

El análisis cualitativo se basa en la comprensión de los fenómenos y/o factores percibidos desde la perspectiva de un individuo o un grupo de individuos, conociendo cómo se observa y percibe la realidad de forma subjetiva (Guerrero Bejarano, 2016).

A pesar de ser un análisis en la que no se puede tomar medidas y datos numéricos, sí se puede obtener resultados comparables, por lo tanto, se identificaran los beneficios que el método TUNEL LINER brinda en comparativa con el método TRADICIONAL.

Tabla 2.

Impacto Ambiental del Método Zanja Abierta.

		MÉTODO A ZANJA ABIERTA																		
COMPONENTE	FACTOR	ETAPAS DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO																NÚMERO DE IMPACTOS NEGATIVOS	NÚMERO DE IMPACTOS POSITIVOS	
		Instalación de campamento	Cortes Temporales del Servicio	Señalización de la Zona de Trabajo	Corte y Rotura de Pavimento	Excavación de Zanja	Acopio de Materiales	Refine de paredes y piso	Eliminación de Material Excedente	Colocación de cama de arena	Tendido de tubería	Colocación del Relleno y Afirmado	Uso de Equipos y Maquinaria	Generación de Residuos Sólidos	Resane de Pavimento	Cierre de Tráfico vehicular y Peatonal	Ruidos y Vibraciones			Extracción de Árboles
ABIÓTICO	Agua Subterránea																		0	0
	Agua Superficial																		0	0
	Suelo	X			X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	12	0	
	Aire	X			X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	13	0	
BIÓTICO	Flora	X	X		X	X	X					X		X			X	8	0	
	Fauna															X	X	2	0	
ANTRÓPICO	Paisaje	X		X	X	X	X				X		X	✓			X	8	1	
	Calidad de Vida		X		X	X		X						✓		X	X	6	1	
	Salud y Seguridad			✓	X	X	X	X		X		X		✓				6	2	
	Bienestar	X	X	X	X	X		X		X	X	X		✓	X	X	X	13	1	
	Economía	✓	X										✓	✓	X	✓	✓	2	5	
	Tráfico Vehicular	X		✓	X	X	X	X	X		X	X		X	✓	X		10	2	
	Empleo	✓			✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0	14	
	Comercio y Servicios	✓	X		X	X	X						✓	✓	✓	X	✓	5	5	
NÚMERO DE IMPACTOS NEGATIVOS		6	5	2	9	9	6	5	3	4	4	5	4	5	2	5	4	7	85	-
NÚMERO DE IMPACTOS POSITIVOS		3	0	2	1	1	0	1	1	1	1	1	2	3	8	1	3	2	-	31

Tabla 3.

Impacto Ambiental del Método Túnel Liner.

		MÉTODO TÚNEL LINER																		
COMPONENTE	FACTOR	ETAPAS DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO															NÚMERO DE IMPACTOS NEGATIVOS	NÚMERO DE IMPACTOS POSITIVOS		
		Instalación de campamento	Cortes Temporales del Servicio	Señalización de la Zona de Trabajo	Corte y Rotura de Pavimento	Excavación Vertical y Horizontal	Acopio de Materiales	Eliminación de Material Excedente	Instalación de Láminas Liner	Vaceado de Mezcla de Relleno Exterior	Tendido de tubería	Colocación del Relleno	Uso de Equipos y Maquinaria	Generación de Residuos Sólidos	Resane de Pavimento	Cierre de Tráfico vehicular y Peatonal			Ruidos y Vibraciones	Extracción de Árboles
ABIÓTICO	Agua Subterránea																		0	0
	Agua Superficial																		0	0
	Suelo	X			X	X	X	X		X	X	X	X	x		X	X	12	0	
	Aire	X			X			X				X	X	x	X		✓	7	1	
BIÓTICO	Flora	X			X	X	X					✓	X			✓	✓	5	3	
	Fauna											✓					✓	0	2	
ANTRÓPICO	Paisaje	X		X	X	X	X			X			X	✓			✓	7	2	
	Calidad de Vida		X		X									✓			✓	2	2	
	Salud y Seguridad			✓	X		X					X		✓				3	2	
	Bienestar	X	X	X	X					X	✓	X		✓	✓	✓	✓	6	5	
	Economía	✓	X					✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	1	8	
	Tráfico Vehicular	X		✓	X	✓	X	X		X	✓		X	✓	✓	✓		6	6	
	Empleo	✓			✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0	14	
	Comercio y Servicios	✓	X		✓	✓	X		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		2	11	
	NÚMERO DE IMPACTOS NEGATIVOS		6	4	2	8	3	6	3	0	0	4	1	4	5	2	1	1	1	51
NÚMERO DE IMPACTOS POSITIVOS		3	0	2	2	3	0	1	3	3	1	6	2	3	8	5	6	8	-	56

3.3 ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL MÉTODO TÚNEL LINER

El análisis cuantitativo emplea herramientas numéricas y fórmulas que nos permitirá identificar los beneficios del método Túnel Liner con respecto al método tradicional.

Los resultados nos servirán para medir, evaluar y valorar los resultados de una forma objetiva. Se realizará un análisis comparativo de los costes, tiempos de ejecución, beneficios sociales y económicos. A su vez se establecerá una comparativa en cuanto a las capacidades hidráulicas de la tubería proyectada y la existente, empleando para estos casos las ecuaciones correspondientes.

3.3.1 ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA TUBERÍA DE ALCANTARILLADO EXISTENTE Y TUBERÍA PROYECTADA EN HDPE

Para el análisis demostraremos la capacidad de caudal que tendrá la red instalada de polietileno utilizando el método túnel liner, respecto a la tubería existente de asbesto cemento. Para ello estudiaremos el siguiente tramo:

Ilustración 18.

Vista en planta del tramo.

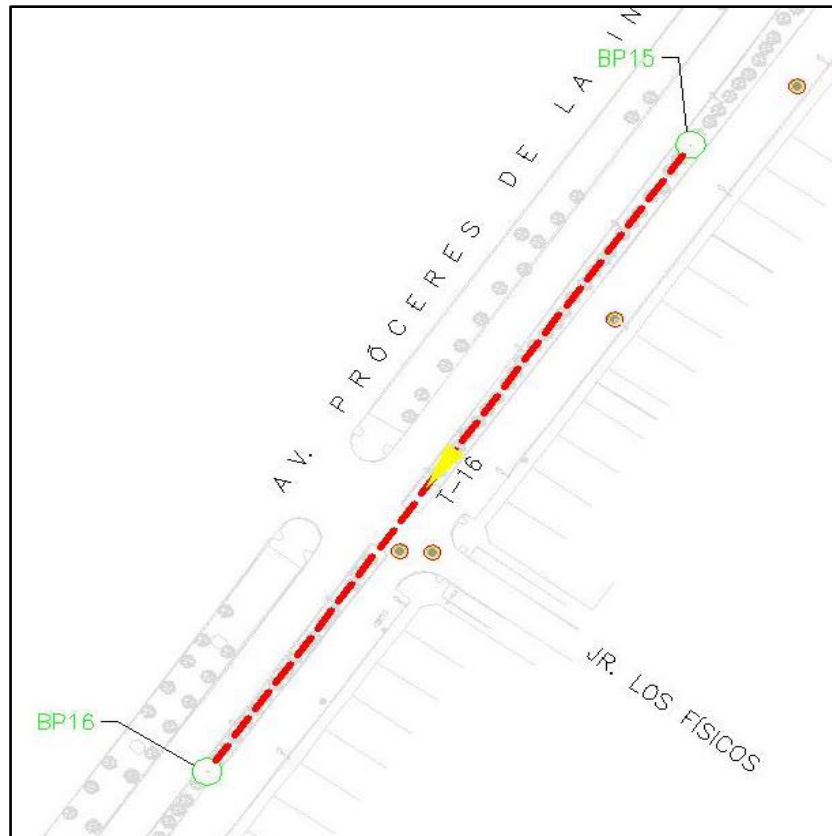
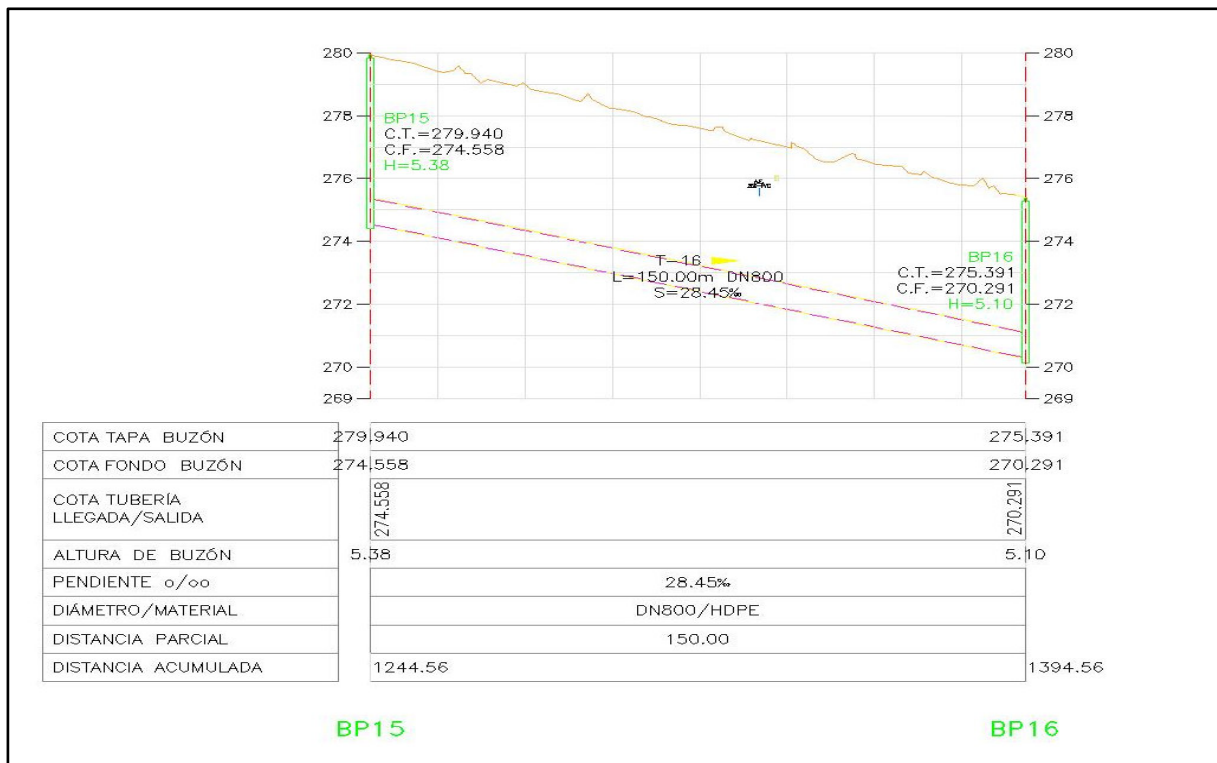


Ilustración 19.

Vista en perfil del tramo.



Para el tramo señalado tenemos los siguientes datos:

$D=0.80\text{m}$

$S= 28.45\%$

A. ECUACIÓN DE MANNING:

La ecuación de Manning es ampliamente utilizada para el cálculo de velocidades del fluido en canales y tuberías que trabajan sin llegar al 100% de su capacidad transversal.

Ecuación 1.

Ecuación de Manning

$$V = \frac{1}{n} \times R_h^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A.1})$$

Donde:

V = Velocidad del fluido (m/s)

n = Coeficiente de Manning

R_h = Radio Hidráulico (m)

S = Pendiente (m/m)

En tuberías el radio hidráulico es expresada con la relación entre la sección del área mojada del tubo y el perímetro mojado del mismo. Se expresa de la siguiente forma:

Ecuación 2. (A.2)

Radio Hidráulico.

$$R_h = \frac{A_m}{P_m}$$

Donde:

A_m = Área de la sección mojada (m²)

P_m = Perímetro mojado (m)

Las tuberías de alcantarillado se diseñan para trabajar en sección semillena en horarios de mayor uso, y semi vacía en horarios de bajo uso.

Tabla 4.

Radio hidráulico a sección semi vacía y semi llena.

ÁNGULO	Expresado en sexagesimales (α)	SECCIÓN SEMI-VACÍA	SECCIÓN SEMI-LLENA
		$\alpha=120^\circ$	$\alpha=240^\circ$
ÁREA	$A = \frac{D^2}{4} \left(\frac{\pi\alpha}{360} - \frac{\sin(\alpha)}{2} \right)$	$A = 0.153546D^2$	$A = 0.631851D^2$
PERÍMETRO MOJADO	$P_m = \left(\frac{\pi D \alpha}{360} \right)$	$P_m = 1.047197D$	$P_m = 2.094395D$
RADIO HIDRÁULICO	$R_h = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{360 \sin(\alpha)}{2\pi\alpha} \right)$	$R_h = 0.146625D$	$R_h = 0.301687D$

Tabla 5.

Coficiente de Manning.

MATERIAL	COEFICIENTE n
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	0.009
ASBESTO CEMENTO	0.010
P.V.C.	0.009
CONCRETO LISO	0.012
CONCRETO ASPERO	0.016
CONCRETO PREFORZADO	0.012
ACERO GALVANIZADO	0.014
FIERRO FUNDIDO	0.013
ACERO SOLDADO SIN REVESTIMIENTO	0.014
ACERO SOLDADO CON REVESTIMIENTO EPOXICO	0.011

La velocidad del flujo respecto al caudal y el área:

Ecuación 3.

Velocidad del fluido.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (\text{A.3})$$

Donde:

V = Velocidad (m/s)

Q = Caudal o gasto (m³/s)

A = Área de la sección transversal de la tubería (m²)

Reemplazando (A.3) en (A.1), tenemos:

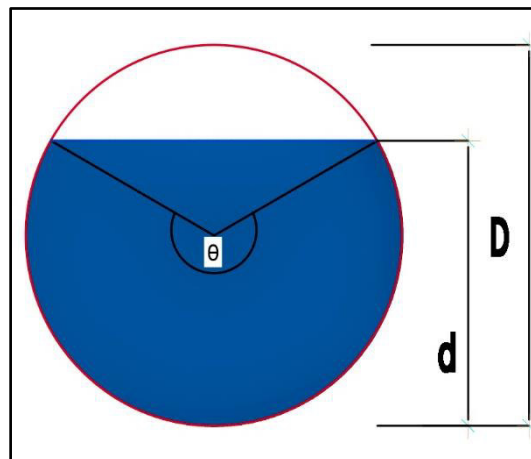
$$\frac{Q}{A} = \frac{1}{n} \times R_h^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = \frac{A}{n} \times R_h^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

SECCIÓN SEMI – LLENA

Ilustración 20.

Sección de tubería semi llena.



De los datos de radio hidráulico obtenidos en la tabla 4 para tuberías en sección semi llena, tenemos:

$$Q = \frac{0.631851 D^2}{n} \times (0.301687 D)^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

De los datos del tramo tenemos que la tubería tiene un diámetro de 0.80 m y una pendiente del 28.45% por lo tanto:

$$Q = \frac{0.284218 \times (0.8)^{\frac{8}{3}} \times (0.2845)^{\frac{1}{2}}}{n}$$

$$Q = 0.083611 \times \frac{1}{n} \quad (\text{A.4})$$

De los datos del coeficiente de Manning de la tabla 5 aplicando a la ecuación (A.4) tenemos que para la tubería de asbesto-cemento el caudal es de:

$$Q = 0.083611 \frac{1}{0.01} = 8.36 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{A.4.1})$$

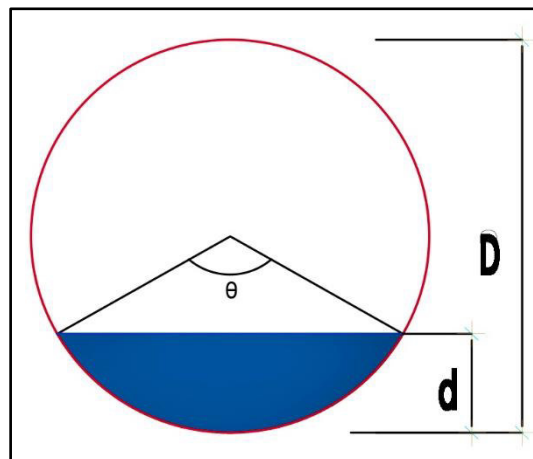
El coeficiente de Manning para tubería de polietileno tiene un valor de 0.009, aplicado en la ecuación (A.4) el caudal es de:

$$Q = 0.083611 \times \frac{1}{0.009} = 9.29 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{A.4.2})$$

SECCIÓN SEMI – VACÍA

Ilustración 21.

Sección de tubería semi vacía.



De los datos de radio hidráulico obtenidos en la tabla 4 para tuberías en sección semi vacía, tenemos:

$$Q = \frac{0.153546 D^2}{n} \times (0.146625 D)^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

De los datos del tramo tenemos que la tubería tiene un diámetro de 0.80 m y una pendiente del 28.45% por lo tanto:

$$Q = \frac{0.042695 \times (0.8)^{\frac{8}{3}} \times (0.2845)^{\frac{1}{2}}}{n}$$

$$Q = 0.012560 \times \frac{1}{n} \tag{A.5}$$

De los datos del coeficiente de Manning de la tabla 5 aplicando a la ecuación (A.5) tenemos que para la tubería de asbesto-cemento el caudal es de:

$$Q = 0.012560 \times \frac{1}{0.01} = 1.256 \text{ m}^3/\text{s} \tag{A.5.1}$$

El coeficiente de Manning para tubería de polietileno tiene un valor de 0.009, aplicado en la ecuación (A.5) el caudal es de:

$$Q = 0.012560 \times \frac{1}{0.009} = 1.395 \text{ m}^3/\text{s} \tag{A.5.2}$$

B. ECUACION DE HAZEN – WILLIAMS

Ecuación 4.

Ecuación de Hazen - Williams.

$$Q = 0.2785 \times C \times D^{2.63} \times S^{0.54} \tag{B.1}$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

C = Coeficiente de Flujo de Hazen-Williams

D = Diámetro Interno (m)

S = Pendiente (m/m)

Tabla 6.

Coeficiente de flujo Hazen - Williams.

MATERIAL	COEFICIENTE C
TUBERÍA DE PLÁSTICO	150
TUBERÍA RECTA LISAS	140
TUBERÍA DE FUNDICIÓN LISAS	130
TUBERÍA DE FUNDICIÓN USADAS	110
TUBERÍA DE ALCANTARILLADO VITRIFICADAS	110
TUBERÍA DE FUNDICIÓN CON AÑOS DE SERVICIO	100
TUBERÍA DE FUNDICIÓN EN MALA CONDICIÓN	80
TUBERÍA DE CONCRETO	120
TUBERÍA DE ASBESTO-CEMENTO	140

Tabla 7.

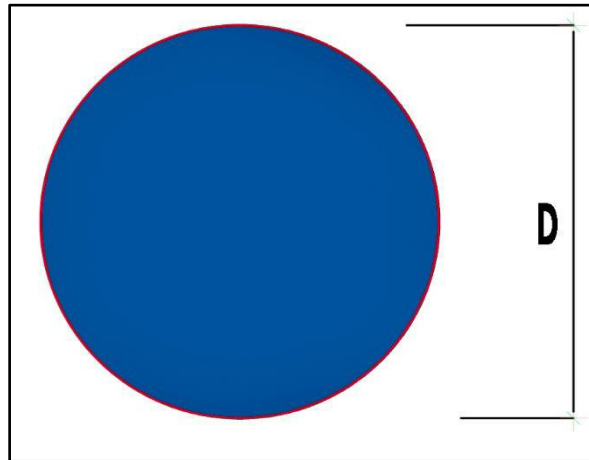
Radio hidráulico a sección llena.

ÁNGULO	Expresado en sexagesimales (α)	SECCIÓN LLENA $\alpha=360^\circ$
ÁREA	$A = \frac{D^2}{4} \left(\frac{\pi\alpha}{360} - \frac{\sin(\alpha)}{2} \right)$	$A = 0.785398 D^2$
PERÍMETRO MOJADO	$P_m = \left(\frac{\pi D \alpha}{360} \right)$	$P_m = 3.141592 D$
RADIO HIDRÁULICO	$R_h = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{360 \sin(\alpha)}{2\pi\alpha} \right)$	$R_h = 0.25 D$

Para fines demostrativos aplicaremos la ecuación de Hazen Williams teniendo en consideración que bajo sucesos no convencionales la tubería de alcantarillado trabaja al 100% de su capacidad.

Ilustración 22.

Sección de tubería llena.



De los datos del tramo tenemos que la tubería tiene un diámetro de 0.80 m y una pendiente del 28.45% por lo tanto reemplazado en la ecuación (B.1) tenemos lo siguiente:

$$Q = 0.2785 \times C \times (0.8)^{2.63} \times (0.2845)^{0.54} \quad (\text{B.2})$$

De los datos del coeficiente de flujo de Hazen de la tabla 6 aplicando a la ecuación (B.2) tenemos que para la tubería de asbesto-cemento el caudal es de:

$$Q = 0.2785 \times 140 \times 0.8^{2.63} \times 0.2845^{0.54}$$
$$Q = 10.99 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{B.2.1})$$

El coeficiente de flujo Hazen para tubería de polietileno tiene un valor de 150, aplicado en la ecuación (B.2) el caudal es de:

$$Q = 0.2785 \times 150 \times 0.8^{2.63} \times 0.2845^{0.54}$$
$$Q = 11.78 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{B.2.2})$$

C. ECUACION DE DARCY – WEISBACH

Ecuación 5.

Ecuación de Darcy-Weisbach.

$$Q = \frac{3.4789}{\sqrt{f}} \times S^{0.5} \times D^{2.5} \quad (C)$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

f = Coeficiente de fricción.

D = Diámetro Interno (m)

S = Pendiente (m/m)

Para fines demostrativos tenemos de la ecuación anterior que para la tubería de asbesto la velocidad del flujo es de 21.8639 m/s; mientras que para la tubería de polietileno la velocidad es de 23.4355 m/s.

Los valores del coeficiente de fricción de una tubería se obtienen con el diagrama de Moody por lo cual necesitamos calcular previamente el número de Reynolds y la rugosidad Relativa de la tubería.

Ecuación 6.

Número de Reynolds.

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (D)$$

Donde:

Re = Numero de Reynolds (adimensional)

V = Velocidad (m/s)

ν = Viscosidad Cinemática(m²/s)

D = Diámetro Interno (m)

Ecuación 7.

Rugosidad Relativa.

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D} \quad (E)$$

Donde:

ϵ_r = Rugosidad Relativa (adimensional)

ϵ = Rugosidad Absoluta (mm)

D = Diámetro Interno (mm)

Tabla 8.

Viscosidad cinemática

TEMPERATURA (C°)	VISCOSIDAD CINEMÁTICA (m ² /s) 10 ⁻⁶
0	1.787
5	1.519
10	1.307
20	1.004
30	0.801
40	0.658
50	0.553
60	0.475
70	0.413
80	0.365
90	0.326
100	0.290

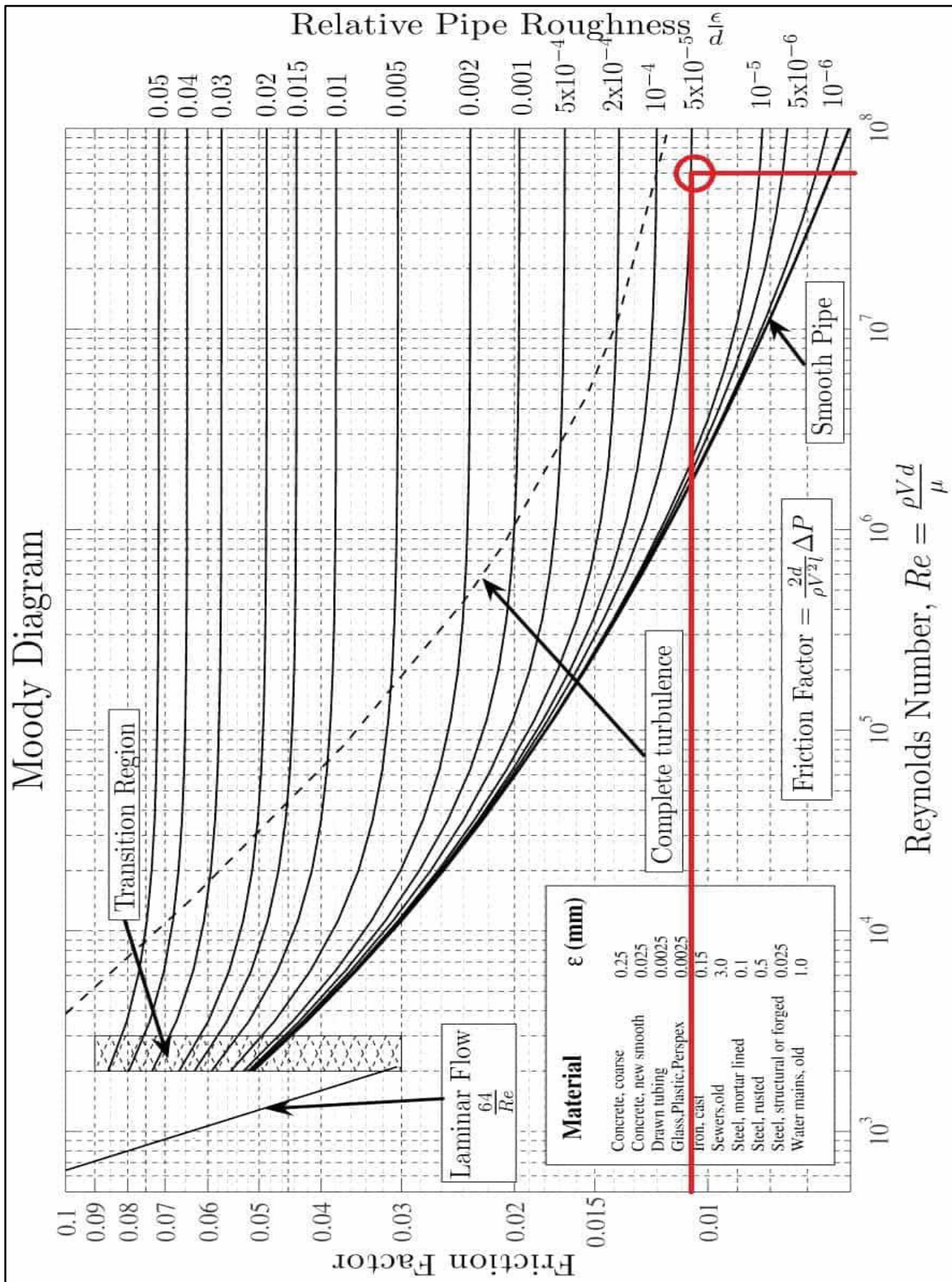
Tabla 9.

Rugosidad absoluta de materiales.

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES	
MATERIAL	(mm)
PLÁSTICO (HDPE,PVC)	0.0015
ASBESTO CEMENTO	0.025
POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO	0.01
FUNDICIÓN REVESTIDA DE CEMENTO	0.0024
FUNDICIÓN CON REVESTIMIENTO BITUMINOSO	0.03
ACERO	0.046
HIERRO FORJADO	0.06
HIERRO DÚCTIL	0.25

Tabla 10.

Diagrama de Moody.



TUBERIA ASBESTO CEMENTO

El número de Reynolds es una ecuación adimensional que nos ayuda a determinar el régimen del flujo de la tubería que deseamos analizar.

De los datos de la Tabla 8 de viscosidad cinemática considerando una temperatura de 20°C tenemos que para la tubería de asbesto cemento el número es el siguiente:

$$Re = \frac{(21.8639 \text{ m/s})(0.8 \text{ m})}{(1.004 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})}$$

$$Re = 1.74 \times 10^7 \quad (\text{D.1})$$

De los datos de la Tabla 9 de rugosidad absoluta para la tubería de asbesto cemento tenemos el siguiente número:

$$\varepsilon_r = \frac{0.025 \text{ mm}}{800 \text{ mm}}$$

$$\varepsilon_r = 3.125 \times 10^{-5} \quad (\text{E.1})$$

Se tiene que el régimen del flujo es turbulento, así del diagrama de Moody obtenemos el coeficiente de fricción.

$$f = 9.71 \times 10^{-3} \quad (\text{F.1})$$

De los datos del tramo tenemos que la tubería tiene un diámetro de 0.80 m, una pendiente del 28.45% y un coeficiente de fricción (F.1). Reemplazado en la ecuación (C) tenemos lo siguiente:

$$Q = \frac{3.4789 \times 0.2845^{0.5} \times 0.80^{2.5}}{(9.71 \times 10^{-3})^{0.5}}$$

$$Q = 10.779 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{C.1})$$

TUBERIA DE POLIETILENO

De los datos de la Tabla 8 de viscosidad cinemática considerando una temperatura de 20°C tenemos que para la tubería de polietileno el número es el siguiente:

$$\text{Re} = \frac{(23.4355 \text{ m/s})(0.8 \text{ m})}{(1.004 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})}$$

$$\text{Re} = 1.867 \times 10^7 \quad (\text{D.2})$$

De los datos de la Tabla 9 de rugosidad absoluta para la tubería de polietileno tenemos el siguiente número:

$$\epsilon_r = \frac{0.0015 \text{ mm}}{800 \text{ mm}}$$

$$\epsilon_r = 1.875 \times 10^{-6} \quad (\text{E.2})$$

Tenemos que el régimen del flujo es turbulento por tanto del diagrama de Moody obtenemos el factor de fricción:

$$f = 6.30 \times 10^{-3} \quad (\text{F.2})$$

De los datos del tramo tenemos que la tubería tiene un diámetro de 0.80 m, una pendiente del 28.45% y un coeficiente de fricción (F.2). Reemplazado en la ecuación (C) tenemos lo siguiente:

$$Q = \frac{3.4789 \times 0.2845^{0.5} \times 0.80^{2.5}}{(6.308 \times 10^{-3})^{0.5}}$$

$$Q = 13.382 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{C.2})$$

3.3.2 ANÁLISIS DE COSTOS

Se detallan a continuación los costos por partidas a ejecutar en cada método y los análisis de precios unitarios de las subpartidas. Este análisis nos permitirá desglosar ambos métodos en puntos más específicos como materiales, mano de obra, equipos.

i) MÉTODO TÚNEL LINER

PRESUPUESTO

Presupuesto	2060367	ANÁLISIS CUANTITATIVO			
Subpresupuesto	002	MÉTODO SIN ZANJA TÚNEL LINER			
Cliente	Equipo Proyectos			Costo al	31/05/2019
Lugar	LIMA - LIMA - SAN JUAN DE LURIGANCHO				

ÍTEM	Descripción	UND	METRADO	PRECIO S/.	PARCIAL S/.
01	MOVIMIENTO DE TIERRAS, SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TÚNEL LINER D=1.30 M	m3	1.00	4449.91	4449.91
02	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA HDPE ISO 8772, SDR 26, SN-4 DE DN 800mm EN LINER	m	1.00	1449.16	1449.16
	COSTO DIRECTO				5899.07

SON: CINCO MIL OCHOCIENTOS NOVENTA Y NUEVE 07/100 NUEVOS SOLES

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Presupuesto **2060367 ANÁLISIS CUANTITATIVO**
 Subpresupuesto **002 MÉTODO SIN ZANJA TÚNEL LINER**
 Cliente **Equipo Proyectos** Costo al **31/05/2019**
 Lugar **LIMA - LIMA - SAN JUAN DE LURIGANCHO**

ÍTEM	Descripción	UND	METRADO	PRECIO S/.	PARCIAL S/.
01	MOVIMIENTO DE TIERRAS, SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TÚNEL LINER D=1.30 M				4449.91

CODIGO	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	PRECIO S/.	PARCIAL S/.	
0277180118	Suministro de Túnel Liner Circular DN=1.30 m, e=2.5mm (inc. accesorios)	m	1.00	795.56	795.56	
0402010004	SC Excavación manual en terreno normal para Túnel Liner	m	1.00	1385.00	1385.00	
0420010015	S.C. Aplicación de mortero Reoplástico fc=280 kg/cm2 en exterior de liner horizontal	m3	0.57	543.40	309.74	
0420010016	S.C. Instalación de liner 1.20m	m	1.00	1385.00	1385.00	
0147030001	MO: incluye leyes sociales	h	0.10	0.13	27.54	3.67
0349710005	Winche de 5 Tn.	h	1.00	1.33	6.30	8.40
0348100023	Camión volquete 4x2 210 - 280 HP 8m3	h	7.00	0.22	193.72	43.04
0401010108	Autorización de centro de acopio para disposición final de residuos sólidos (material desmonte no peligroso)	m3	1.00	4.50	4.50	
0404040035	S.C. Suministro e instalación de sistema de iluminación	m	1.00	225.00	225.00	
0404040034	S.C. Suministro e instalación de sistema de ventilación y extracción	m	1.00	290.00	290.00	

02	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA HDPE ISO 8772, SDR 26, SN-4 DE DN 800mm EN LINER				1449.16
-----------	---	--	--	--	----------------

CODIGO	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	PRECIO S/.	PARCIAL S/.	
0233010003	Flete-transporte de tubería liviana no metálica (PVC, HDPE, GRP ó similar)	kg	76.54	0.04	3.06	
0275100058	Tubería HDPE PE100, SDR 26, SN-4 de DN 800 mm	m	1.02	539.10	549.88	
0147030001	MO: incluye leyes sociales	h	0.10	0.01	27.54	0.37
0349310158	Grúa sobre camión de 12 toneladas (Incl. combustible y manten.)	h	0.50	0.07	199.54	13.31
0405080080	Servicio de termofusión de Tub o Acc HDPE DN 800 (Incl. Equipo, generador elec., técnico especializado)	und	0.08	2336.13	191.56	
0420010020	Instalación y fijación de tubería en Liner dentro de Túnel Liner.	m	1.00	330.55	330.55	
0235010018	Mortero fluido fc=10 kg/cm	m3	1.20	225.00	270.00	
0337009001	Herramientas complementarias (%MO)	%MO	2.00	11.61	23.22	
0414070001	Servicio de Bombeo de Concreto	m3	1.20	35.00	42.00	
0231160001	Agua, incluye transporte a pie de obra (Camión cisterna y Motobomba)	m3	0.70	10.00	6.99	
0265050032	Tapón de acero DN 800 mm	und	0.00	4554.00	18.22	

ii) MÉTODO TRADICIONAL

PRESUPUESTO

Presupuesto **2060367 ANÁLISIS CUANTITATIVO**
 Subpresupuesto **001 MÉTODO TRADICIONAL ZANJA ABIERTA**
 Cliente **Equipo Proyectos** Costo al **31/05/2019**
 Lugar **LIMA - LIMA - SAN JUAN DE LURIGANCHO**

ÍTEM	Descripción	UND	METRADO	PRECIO S/.	PARCIAL S/.
01	MOVIMIENTO DE TIERRAS	m3	1.00	1208.57	1208.57
02	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA HDPE ISO 8772, SDR 21, SN-8 DE DN 800mm	m	1.00	1997.29	1997.29
COSTO DIRECTO					3205.86

SON: TRES MIL DOSCIENTOS CINCO 86/100 NUEVOS SOLES

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Presupuesto **2060367 ANÁLISIS CUANTITATIVO**
 Subpresupuesto **001 MÉTODO TRADICIONAL ZANJA ABIERTA**
 Cliente **Equipo Proyectos** Costo al **31/05/2019**
 Lugar **LIMA - LIMA - SAN JUAN DE LURIGANCHO**

ÍTEM	Descripción	UND	METRADO	PRECIO S/.	PARCIAL S/.
01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				1208.57
CODIGO	DESCRIPCIÓN				
0147030001	MO: Incluye leyes sociales	h	1.78	4.97	258.34
0337009001	Herramientas complementarias (%MO)	%MO		10.00	5.29
0349560007	Excavadora sobre orugas 115-165 hp	h	1.00	0.27	204.51
0231160001	Agua, incluye transporte a pie de obra (Camión cisterna y Motobomba)	m3		0.65	18.14
0349130011	Cargador sob. llanta 80-95HP 1,5-1,75 Yd3	h	3.00	0.34	146.08
0349180009	Vibroapisonador de 7 HP	h	6.00	1.60	45.85
0349580008	Rodillo liso vibrat. 0,8-1,1 ton manual o de control remoto	h	1.00	0.27	12.83
019801030108	Material de préstamo selecto "arena gruesa" (provisión y colocación)	m3		2.95	357.46
0348100042	Camión volquete 6x4 330 HP 15 m3	h	4.00	0.18	127.77
0401000164	Peaje (por eje)	und		0.40	6.34
0401010108	Autorización de centro de acopio para disposición final de residuos solidos (material desmonte no peligroso)	m3		2.07	25.96
02	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA HDPE ISO 8772, SDR 21, SN-8 DE DN 800mm				1997.29
CODIGO	DESCRIPCIÓN				
0413010528	Sistema de entibado Metálico tipo Riel (Incluyen distanciadores)	m2		17.50	1206.36
0147030001	MO: Incluye leyes sociales	h	15.00	2.66	103.86
0239020010	Agua, incluye transporte a pie de obra (Camión cisterna y Motobomba)	m3		0.70	13.98
0349310158	Grúa sobre camión de 12 toneladas (Incl. combustible y manten.)	h	1.50	0.37	153.79
010306011082	Eliminación de desmonte en terreno normal R=20 -25 km con maquinaria	m3		0.50	191.74
019501010120	Corte y rotura pavimento flexib-asfalto (incl. perfilado bordes)	m2		1.00	99.86
019501011110	Imprimación asfáltica con empleo de camión imprimador	m2		1.00	7.99
019501011130	Suministro de agregados	m2		2.00	43.94
019501020755	Preparación a pulso de la sub rasante de 15 cm prof. (incluye escarificado)	m2		1.00	13.98
019501021404	Carpeta t/flexible-asfalto caliente a pulso de 4" espesor	m2		1.00	139.81
0348100011	Camión plataforma 4x2 122 HP 8ton	h	0.50	0.04	9.99
0401000164	Peaje (por eje)	und		0.60	11.98

4 CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como parte del cálculo hidráulico se tienen los resultados del caudal de la red antigua de asbesto cemento y la red proyectada de polietileno, con una pendiente de 28.45% y un diámetro de 0.80 m. Se tienen los siguientes resultados:

Tabla 11.

Resultados aplicando la Ecuación de Manning.

RESULTADOS ECUACIÓN DE MANNING					
TUBERÍA	PENDIENTE	DIÁMETRO	COEFICIENTE	CAUDAL TUBERÍA SEMI LLENA	CAUDAL TUBERÍA SEMI VACÍA
ASBESTO CEMENTO	28.5%	0.80 m	0.010	8.36 m ³ /s	1.25 m ³ /s
POLIETILENO	28.5%	0.80 m	0.009	9.29 m ³ /s	1.39 m ³ /s

Tabla 12.

Resultados aplicando la Ecuación de Hazen - Williams.

RESULTADOS ECUACIÓN DE HAZEN - WILLIAMS				
TUBERÍA	PENDIENTE	DIÁMETRO	COEFICIENTE	CAUDAL
ASBESTO CEMENTO	28.5%	0.80 m	140	10.99 m ³ /s
POLIETILENO	28.5%	0.80 m	150	11.78 m ³ /s

Tabla 13.

Resultados aplicando la Ecuación de Darcy – Weisbach

RESULTADOS ECUACIÓN DE DARCY - WEISBACH						
TUBERÍA	PENDIENTE	DIÁMETRO	COEFICIENTE	REYNOLDS	RUGOSIDAD RELATIVA	CAUDAL
ASBESTO CEMENTO	28.5%	0.80 m	9.71 X10 ⁻³	1.740 X10 ⁷	3.125 X10 ⁻⁵	10.779 m ³ /s
POLIETILENO	28.5%	0.80 m	6.30 X10 ⁻³	1.867 X10 ⁷	1.875 X10 ⁻⁶	13.382 m ³ /s

Como parte del análisis de costos y precios unitarios se tiene el precio por metro lineal para la ejecución del método Túnel Liner y Tradicional respectivamente.

Tabla 14.

Resultado de costos por metro lineal.

ÍTEM	ACTIVIDAD	MÉTODO TÚNEL LINER S/. por ml	MÉTODO TRADICIONAL S/. por ml
01	MOVIMIENTO DE TIERRA	S/ 4,449.91	S/ 1,208.57
02	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA	S/ 1,449.16	S/ 1,997.29
TOTAL		S/ 5,899.07	S/ 3,205.86

5 CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Con respecto al objetivo principal se realizó el estudio comparativo entre el método TUNEL LINER y el método zanja abierta. En los resultados se determinó que la capacidad de transporte de caudal en tubería de polietileno es evidentemente mayor en comparación a la tubería de asbesto cemento hasta en un 19%.
- Se realizó la identificación de las características técnicas del equipamiento requerido, así como de los agregados y herramientas para la ejecución del método TÚNEL LINER en Redes de Saneamiento.
- Se identificaron las características técnicas del equipamiento requerido, así como de los agregados y herramientas para la ejecución del método TRADICIONAL en la ejecución de Redes Primarias.
- Dar a conocer el procedimiento constructivo para la ejecución del método de TÚNEL LINER.
- Se compararon satisfactoriamente los costos de ejecución, llegando a la conclusión que el método Túnel Liner es más costoso que el Tradicional hasta en un 84%. Por ello se recomienda hacer un estudio más profundo del coste social, comercial y ambiental que ambos métodos pueden incidir sobre los ciudadanos que residen en zonas aledañas.
-

5.2 RECOMENDACIONES

- Se debe tomar en consideración que un análisis cualitativo se basa en la comprensión de fenómenos bajo la perspectiva de un individuo, en este caso bajo la perspectiva del bachiller teniendo en cuenta que estuvo presente durante los procesos constructivos de ambas metodologías.
- Para el análisis cuantitativo se tomó en consideración un tramo del proyecto ejecutado bajo el método túnel liner, realizándose el cálculo hidráulico con la

ecuación de Manning, Hazen - William y Darcy – Weisbach. Concluida la obra se recomienda realizar tomas de datos del caudal para fines experimentales y futuros estudios de factibilidad.

- En el análisis de costos se consideraron dos partidas generales: movimiento de tierras y el suministro e instalación de la tubería por metro lineal. Para fines académicos se obviaron algunas partidas por el bachiller, pese a ello el coste de estas si fueron consideradas en las partidas generales con la finalidad que el análisis mantenga el rigor correspondiente.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Autoridad del Espacio Público de la Ciudad de Mexico. (2011). Megaciudades. *metropolis*, 22.
- Cadena Iñiquez, P., Rendón Mendel, R., Aguilar Avila, J., Salinas Cruz, E., & Sangerman Jarquin, D. (11 de Noviembre de 2017). Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.
- Consorcio San Juan. (2019). *Procedimiento Constructivos de Obra CCG-PRO-VAR-001*. SEDAPAL, Lima.
- Duque Callejas, J. E. (2018). *Beneficios socio-ambientales de las tecnologías Sin Zanja en Colombia*. Bogotá.
- EMOS S.A. (2008). *Especificaciones Técnicas para Obras Ejecutadas mediante Cracking*. Subgerencia de Proyectos de Area de Renovación de Redes de Distribución.
- Guerrero Bejarano, M. A. (2016). La investigación cualitativa. *Innova Research Journal*.
- IAGUA. (08 de Febrero de 2017). *IAGUA*. Obtenido de www.iagua.es
- INDECI. (2 de Febrero de 2019). *Aniego en el Distrito de San Juan de Lurigancho - Lima*. Indeci, Lima, Lima. Obtenido de www.indeci.gob.pe
- ISST. (2019). Why Trenchless. Obtenido de www.istt.com
- Morales Castillo, E. V. (2018). *Láminas de Acero Galvanizado en Caliente y su Influencia en la Construcción de Túneles por el Método Tunnel Liner*. Distrito, Huacho, Huaura-2018. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho.
- PAM Saint Gobain. (2014). *Mortero de Cemento*. Obtenido de www.pamline.es
- Ramírez Albadán, R. H. (2020). *Análisis de la Gestión Preventiva de Trabajo en espacios confinados en Colombia*. Bogotá.
- SEDAPAL. (2017). *Especificaciones Técnicas para Movimiento de Tierra, Excavaciones, Nivelación, Relleno, Eliminación de Desmonte*. SEDAPAL CTPS-ET-006. Lima, Lima.
- SEDAPAL. (2019). *Especificaciones Técnicas para Instalación, Rehabilitación y/o Reposición de Líneas de Agua Potable y Alcantarillado*. SEDAPAL CTPS-ET-008. Lima.
- Tenorio Barba, F. (2019). *Procedimiento Constructivo de Obra de Contratación Directa SEDAPAL N°009-2019 CCG-PRO-GEN-VAR-001*. Lima, Lima.
- The International Society for Trenchless Technology. (s.f.).