

Universidad de los Andes
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental



PROYECTO DE GRADO

NUEVAS METODOLOGÍAS Y TECNOLOGÍAS PARA LA RENOVACIÓN Y/O REHABILITACIÓN DE TUBERÍAS DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Presentado por:

Cesar Augusto Ruíz Ochoa

Asesor:

Ing. Juan Saldarriaga Valderrama

Bogotá, 20 de Diciembre de 2012



A mis padres por su apoyo incondicional, a mis hermanas por ser mi inspiración diariamente, y a todas las personas que con su ayuda me facilitaron llevar a cabo esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	ANTECEDENTES.....	3
1.2	OBJETIVOS.....	9
1.2.1	GENERALES	9
1.2.2	ESPECÍFICOS.....	9
2.	ESTADO DEL ARTE.....	10
2.1	PREFERENCIA EN EL USO DE LA PERFORCIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA (PHD) SOBRE LAS DEMÁS TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN Y RENOVACIÓN DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE EN COLOMBIA.....	19
2.1.1	AVANACES DE LA PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA (PHD)	22
2.2	ESTADO ACTUAL DE LAS TECNOLOGÍAS SIN ZANJA EN ASIA.....	23
2.3	TECNOLOGÍAS EMERGERNTES EN COLOMBIA Y EL MUNDO	32
2.3.1	COMPACT PIPE (PAVCO S.A.).....	32
2.3.2	PROCESO JANSSEN (CI Pacific Trading Group S.A.)	35
2.3.3	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	37
2.4	TECNOLOGÍAS MÁS PROMISORIAS EN COLOMBIA Y EL MUNDO	38
2.4.1	PIPE BURSTING	40
4.4.1.1	MITOS DEL PIPE BURSTING	45

4.4.1.2	VENTAJAS	47
4.4.1.3	DESVENTAJAS.....	48
4.4.1.4	AVANCES DEL PIPE BURSTING	49
4.4.2	CIPP.....	51
4.4.2.1	VENTAJAS	54
4.4.2.2	DESVENTAJAS.....	54
4.4.2.3	AVANCES DEL CIPP	55
4.4.3	CLOSE – FIT	58
4.4.3.1	VENTAJAS	58
4.4.3.2	DESVENTAJAS.....	59
4.4.3.3	AVANCES DEL CLOSE – FIT	60
5	CONCLUSIONES.....	61
6	RECOMENDACIONES	63
7	BIBLIOGRAFÍA	64

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Inserción de la tubería. (WAVIN, 2012)	33
Ilustración 2. Alineamiento de la tubería. (WAVIN, 2012)	33
Ilustración 4. Corte transversal de tubería renovada. (WAVIN, 2012)	34
Ilustración 5. Corte longitudinal de tubería renovada. (WAVIN, 2012)	34
Ilustración 3. Tubería retomando su estado inicial. (WAVIN, 2012)	34
Ilustración 6. Tubería parcialmente sometida a Proceso Janssen. (S.A., 2012)	35
Ilustración 7. Tubería totalmente sometida a Proceso Janssen. (S.A., 2012)	36
Ilustración 8. Unidad de potencia. (LTDA, Elementos del Pipe Busting, 2012)	40
Ilustración 9. Equipo de accionamiento. (LTDA, Elementos del Pipe Busting, 2012)	40
Ilustración 10. Barras de acero conectadas a estructura principal. (LTDA, Elementos del Pipe Busting, 2012)	41
Ilustración 11. Cuchilla de corte, Cono expansor y Puller. (LTDA, Elementos del Pipe Busting, 2012)	42

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Estado de las tuberías de distribución de agua potable en Bogotá. (Gómez, 2012).....	3
Gráfica 2. Características de la red de acueducto en la ciudad de Bogotá. (Gómez, 2012) ..	4
Gráfica 3. Longevidad de las tuberías en Bogotá. (Gómez, 2012)	5
Gráfica 4. Porcentaje de uso de tecnologías sin zanja en Colombia.....	6
Gráfica 5. Km rehabilitados a nivel mundial. (Acueducto de Bogotá, 2012)	7
Gráfica 6. Diferencia porcentual en uso de tecnologías sin zanja, en comparación a U.S.A.	7
Gráfica 7. Construcción vs Rehabilitación vs Renovación. (Hidráulica, 2012)	11
Gráfica 8. Metodologías y tecnologías de construcción sin zanja. (ISTT)	12
Gráfica 9. Porcentaje de uso de cada tecnología en Colombia.....	14
Gráfica 10. Porcentaje de uso de cada tecnología en Europa.....	15
Gráfica 11. Porcentaje de uso de cada tecnología en U.S.A.	17
Gráfica 12. Porcentaje de uso de cada tecnología a nivel mundial.	18
Gráfica 13. Tendencia de uso de cada tecnología y metodología en Colombia. (ICTIS, Tendencia de uso de cada tecnología y metodología en Colombia, 2012).....	20
Gráfica 14. Emisiones tóxicas de la PHD vs Auger Boring. (D & LG, 2012).....	22
Gráfica 15. Inversión en técnicas sin zanja para cada Emirato. (Zaneldin, 2006)	24
Gráfica 16. Porcentaje de proyectos usando tecnologías sin zanja. (Zaneldin, 2006).....	26

Gráfica 17. Longitud de tubería instalada. (Zaneldin, 2006)	27
Gráfica 18. Porcentaje de tecnología demandada. (Zaneldin, 2006).....	27
Gráfica 19. Número de perforaciones hechas a lo largo de los años. (Baosong & M, 2008)	29
Gráfica 20. Incremento de maquinaria para Pipe Jacking. (Baosong & M, 2008).....	29
Gráfica 21. Longitud de tubería intervenida (Km). (Baosong & M, 2008).....	30
Gráfica 22. Porcentaje de uso de cada tecnología y metodología en China. (Baosong & M, 2008).....	31
Gráfica 23. Demanda por servicio del Pipe Bursting en U.S.A. (Ariaratman , Lueke, & Michael, 2012).....	43
Gráfica 24. Regiones donde el Pipe Bursting ha sido aplicado con frecuencia (2010). (Ariaratman , Lueke, & Michael, 2012)	44
Gráfica 25. Demanda de maquinaria a nivel mundial. (Ariaratman , Lueke, & Michael, 2012).....	50
Gráfica 26. Componentes del CIPP (ICTIS, CIPP, 2012).	53
Gráfica 27. Comparación de cada resina. (ICTIS, CIPP, 2012)	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Longitud de tubería intervenida. (LTDA, PAVCO, & TECNODUCTOS, Estadísticas de uso de tecnologías sin zanja, 2012)	13
Tabla 2. Longitud de tubería intervenida. (Technologies, Group, & Holding, 2012)	15
Tabla 3. Longitud de tubería intervenida. (Veatch, MWH, & McDonald, 2012)	16
Tabla 4. Proceso constructivo del Compact Pipe.	33
Tabla 5. Servicio ambiental y resinas para curar tuberías. (Kozman & Technik, 2012)	55

1. INTRODUCCIÓN

A medida que las tuberías de sistemas de agua potable van llegando al fin de su vida útil, ya sea por uso continuo o por alguna falla inesperada, se generan problemas en las características y propiedades iniciales de las mismas, lo que ocasiona pérdidas en la capacidad hidráulica, fugas de agua, y lo más importante, se originan serios problemas para los habitantes de los sectores en los que dichas tuberías están fallando.

Actualmente, cuando es necesario llevar a cabo algún proceso de renovación y/o rehabilitación para cierto sistema de tuberías de agua potable, en gran parte del mundo, y sobre en los países subdesarrollados, se tiene como primera opción utilizar el método convencional de zanja abierta, puesto que su complejidad es muy baja y los operarios están completamente familiarizados con el mismo.

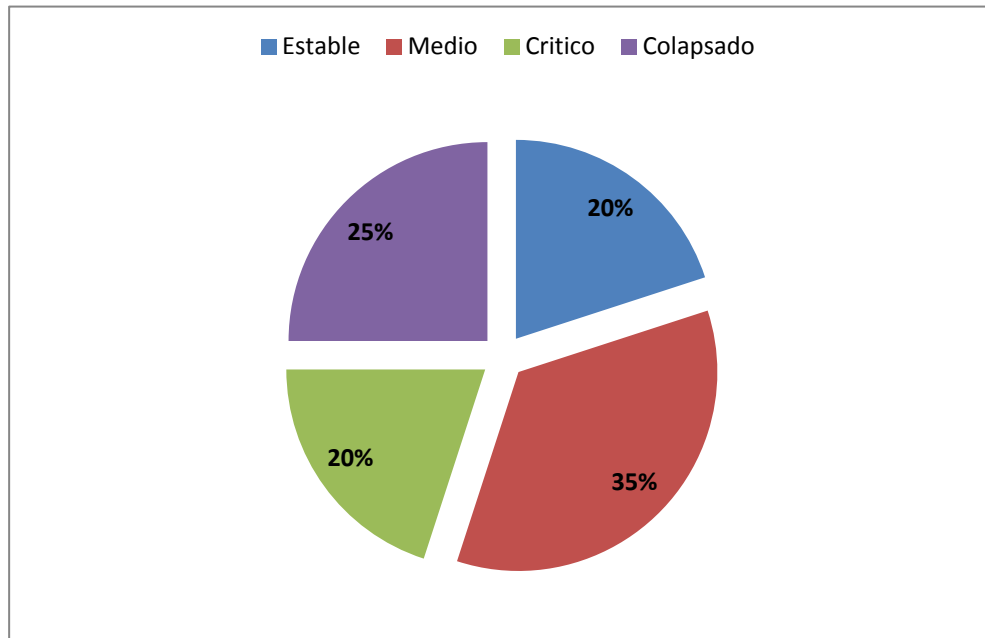
Sin embargo, desde hace más de dos décadas se han desarrollado un sin número de alternativas para llevar a cabo procedimientos de renovación y/o rehabilitación sin zanja, los cuales brindan grandes ventajas, no solo para los operarios y habitantes de las zonas en las cuales se estén interviniendo las tuberías, sino para las mismas empresas encargadas de llevar a cabo el procedimiento, puesto que dichas prácticas aseguran la reducción del costo total de la obra, disminuyen el riesgo de accidentalidad para los operarios y proporcionan una alternativa de bajo impacto ecológico.

A continuación, se presenta un estudio para determinar cuáles han sido las tecnologías y metodologías que se han desarrollado a lo largo de la historia a nivel mundial y en Colombia, el por qué de dicha acogida, y finalmente, las ventajas, desventajas y avances de cada una.

Finalmente, se tiene como objetivo principal poder determinar, con base en la información descrita, cuáles de las mismas se proyectan como las más promisorias a nivel mundial y local, en un mediano y largo plazo.

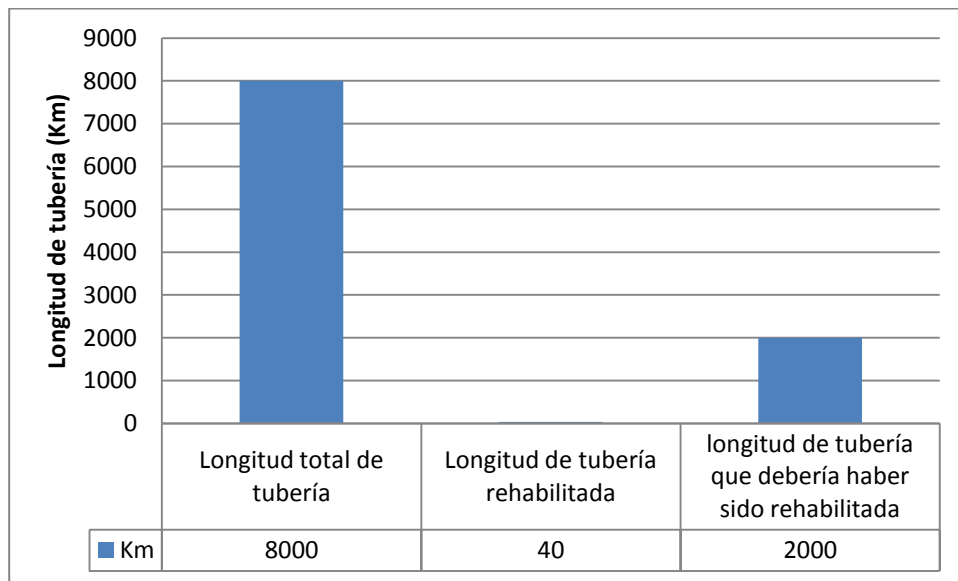
1.1 ANTECEDENTES

Actualmente, para el caso colombiano, y más específicamente bogotano, se ha descubierto que la red de acueducto cuenta con más de medio siglo en la mayoría de sus ductos, lo que ha generado que el 45% de los mismos se encuentre en estado crítico y colapsado como se puede ver en la Gráfica 1. Razón por la cual, llevar a cabo un proceso de rehabilitación y renovación masivo para la ciudad es urgente.



Gráfica 1. Estado de las tuberías de distribución de agua potable en Bogotá. (Gómez, 2012)

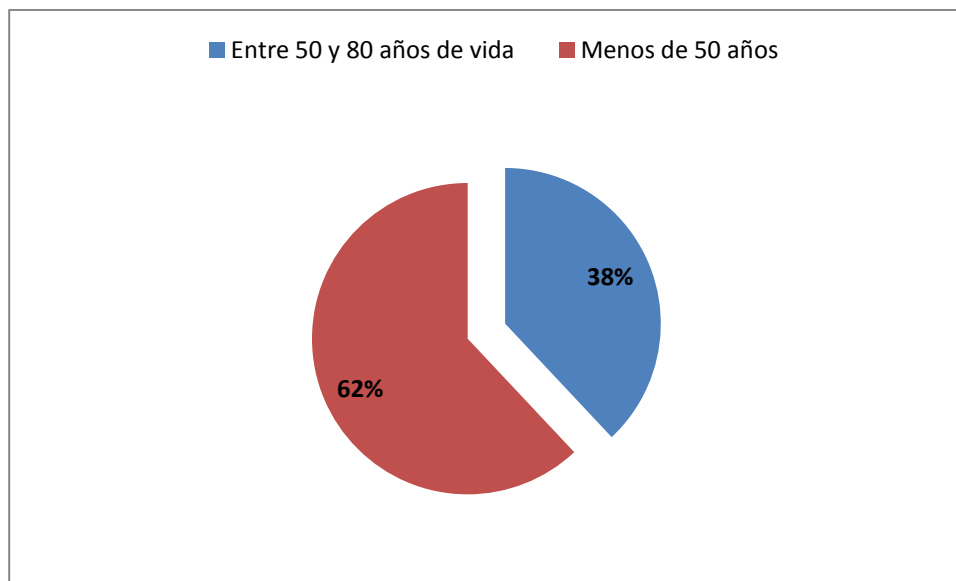
Para el año 2012, como se puede ver en la Gráfica 2, se tiene información de que en la ciudad se cuenta con alrededor de 8.000 Km de tubería de sistemas de agua potable instalada, de la cual sólo un 2% ha recibido el mantenimiento programado una vez fueron construidas.



Gráfica 2. Características de la red de acueducto en la ciudad de Bogotá. (Gómez, 2012)

Otro agravante que debe ser tenido en cuenta es la edad de las tuberías instaladas para el servicio de agua potable en toda la ciudad. La vida útil proyectada para una tubería instalada con métodos antiguos, y que seguramente no ha tenido las intervenciones necesarias para garantizar su óptimo funcionamiento, no debería ser mayor a los 50 años. Sin embargo, como se puede ver en la Gráfica 3, casi un 40% de la longitud total de la red

actual de acueducto en Bogotá tiene entre 80 y 50 años de haber sido instalada. Razón por la cual, esperar que la misma se encuentre en un estado óptimo para operar es muy poco probable.



Gráfica 3. Longevidad de las tuberías en Bogotá. (Gómez, 2012)

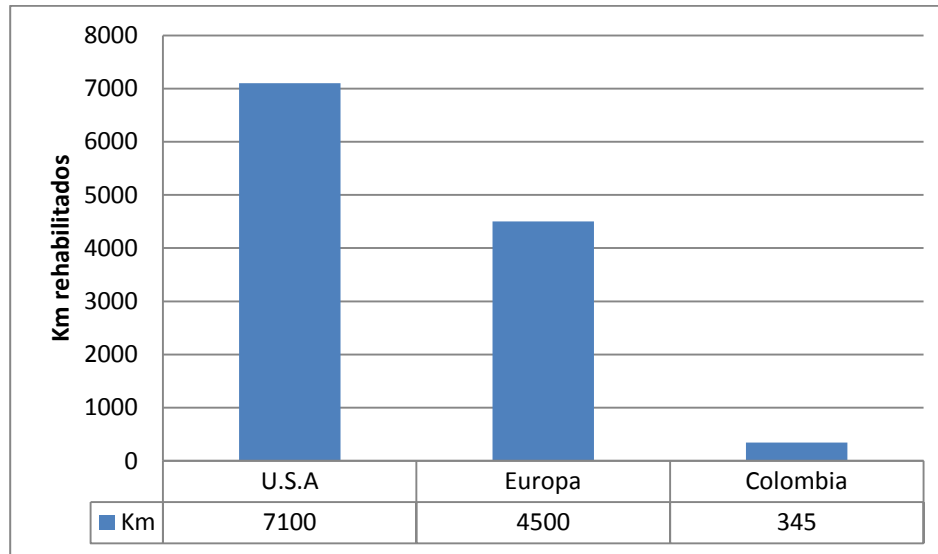
Finalmente, hay que tener en cuenta que actualmente en Colombia y Bogotá si se están llevando a cabo procedimientos de renovación y rehabilitación de tuberías de agua potable. Sin embargo, como se puede ver en la Gráfica 4, la utilización de metodologías sin zanja es casi nula en el territorio nacional, razón por la cual, es de esperarse que hayan interrupciones en el tráfico, suspensiones en el servicio de agua potable, daños en infraestructura aledaña y en el medio ambiente, cada vez que se lleve a cabo uno de

estos procedimientos, puesto que dichos fenómenos son características generadas al llevarse a cabo la abertura de una zanja en las zonas donde se quiera intervenir una tubería.

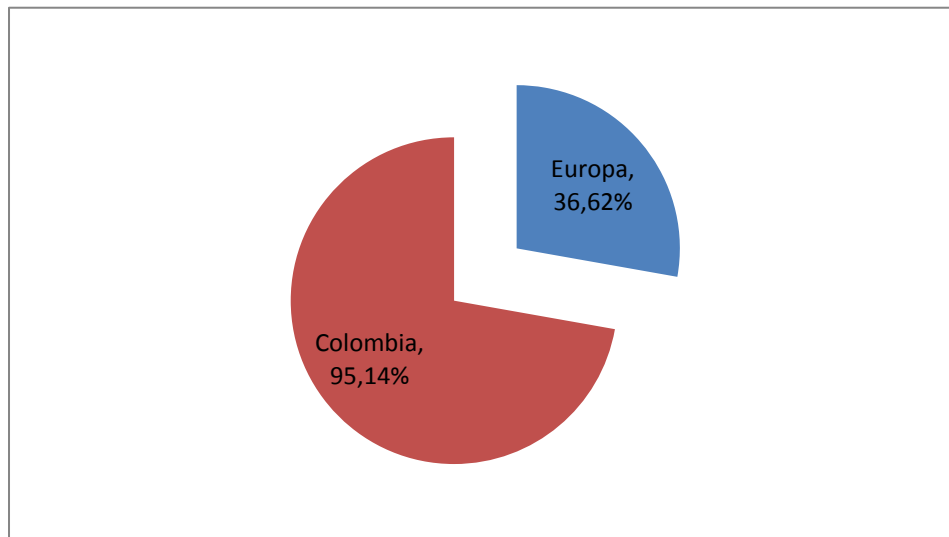


Gráfica 4. Porcentaje de uso de tecnologías sin zanja en Colombia.

Por otro lado, decir que el caso Colombiano es equivalente al estado actual de la utilización de tecnologías sin zanja a nivel mundial es erróneo, puesto que como se puede ver en la Gráfica 5, en Estados Unidos y Europa los kilómetros de tubería de sistemas agua potable que han sido rehabilitados y/o renovados por medio de metodologías sin zanja es mucho mayor al caso Colombiano.



Gráfica 5. Km rehabilitados a nivel mundial. (Acueducto de Bogotá, 2012)



Gráfica 6. Diferencia porcentual en uso de tecnologías sin zanja, en comparación a U.S.A.

Con base en la información anterior, se puede concluir que existe una diferencia porcentual muy grande en la adaptación y uso de metodologías sin zanja entre U.S.A, Europa y Colombia, lo que sin lugar a duda, da pie a generar interrogantes sobre cuáles pueden ser las razones para dicho atraso en el territorio nacional.

Una vez se ha demostrado que el uso de dichas metodologías es completamente factible, puesto que en los países del primer mundo su uso es más que aceptado, no solo para el caso de agua potable, sino de redes de alcantarillado y gas, se tiene como meta poder demostrar las grandes ventajas que tienen las tecnologías y metodologías sin zanja sobre la renovación tradicional con zanja, contribuyendo a disminuir el actual recelo con el que la industria Colombiana ve la inclusión de dichos procedimientos para llevar a cabo procesos de rehabilitación y revocación de sistemas de agua potable.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 GENERALES

- Estudiar cuáles son las metodologías y tecnologías a nivel mundial y local, que se han venido desarrollando a lo largo de los últimos 20 años. Cuáles son sus características principales, y bajo qué situación, su implementación puede ser más favorable.
- Contribuir proporcionando información veraz y suficiente, con el fin de generar un impacto positivo en la industria colombiana, por medio del cual se disminuya el escepticismo y aumente el uso de metodologías y tecnologías sin zanja en el país.

1.2.2 ESPECÍFICOS

- Determinar cuáles son las metodologías y/o tecnologías para la renovación y rehabilitación de sistemas de tuberías de agua potable sin zanja más promisorias, no sólo a nivel mundial, sino local.
- Identificar cuáles son las ventajas y desventajas de las tecnologías y metodologías más promisorias a nivel mundial y local.
- Investigar cuáles son los avances desarrollados y proyectados en un mediano plazo por los fabricantes a nivel mundial para cada una de dichas metodologías y tecnologías.

2. ESTADO DEL ARTE

Como primera consideración, es fundamental hacer una investigación exhaustiva a nivel mundial, con el fin de determinar cuáles son las metodologías desarrolladas durante los últimos 20 años, cuáles han desaparecido, cuáles se han mantenido y cuáles se proyectan como las más promisorias en un futuro.

Sin embargo, es esencial partir del hecho de que no todas las metodologías y tecnologías sin zanja para la renovación y/o rehabilitación de sistemas de agua potable están destinadas para cumplir la misma función, puesto que, dependiendo del estado de la tubería a ser intervenida, del presupuesto disponible para la obra, de la topografía y de las condiciones geotécnicas de la zona, cada contratista deberá, escoger el procedimiento que más le convenga.

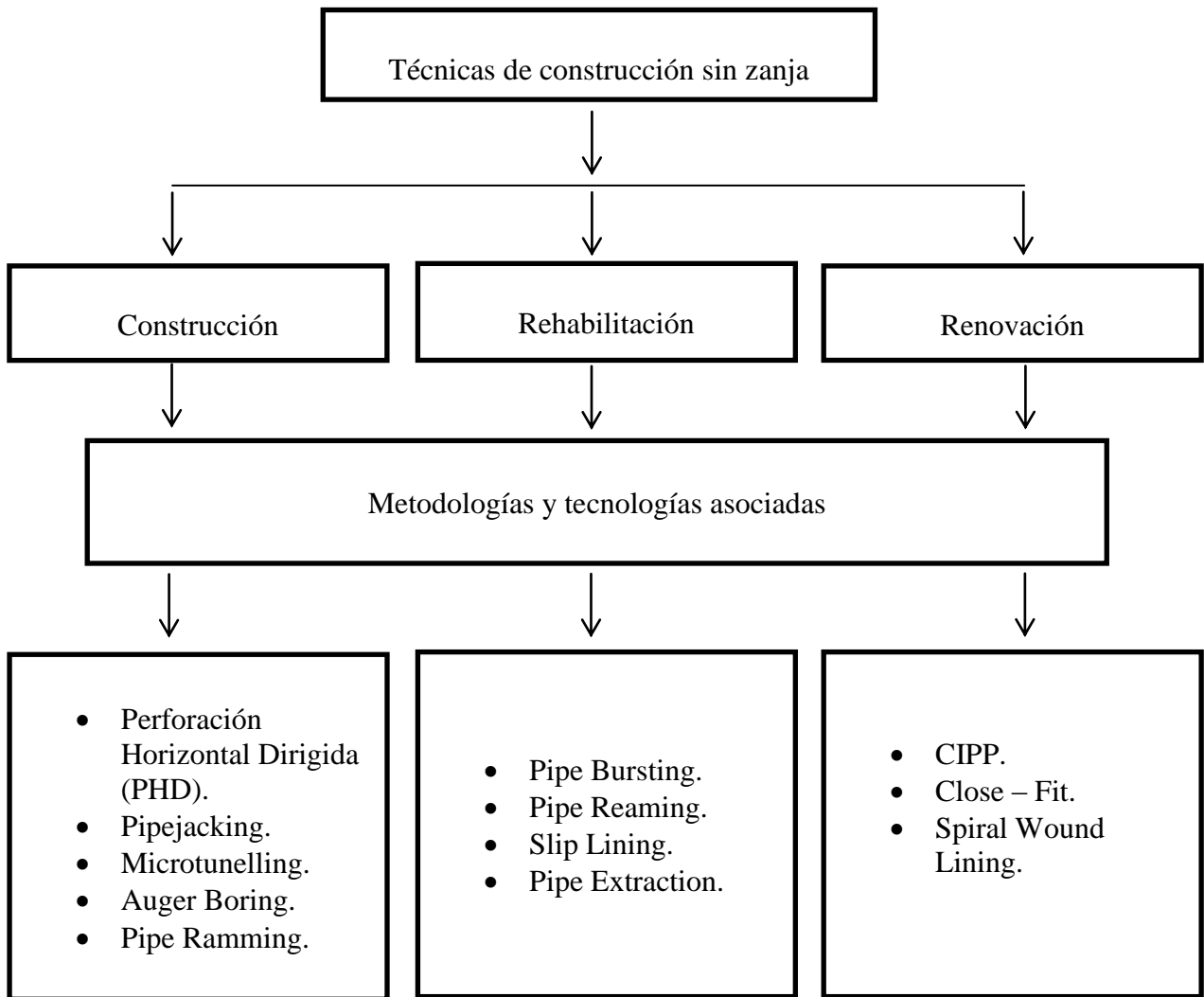
Existen tres grandes posibles escenarios para la utilización de dichas metodologías, estos son: renovación, rehabilitación y construcción. A continuación se mostrará cuáles son las características de cada escenario, las diferencias que existen entre sí, cuáles son las metodologías y tecnologías asociadas a cada uno y finalmente, de dichas alternativas, cuáles son las más populares a nivel local y mundial.

Construcción	Rehabilitación	Renovación
Es tenido en cuenta cuando no existe una tubería o red existente.	Es tenido en cuenta cuando el daño que ha sufrido la tubería existente no es muy considerable.	Es tenido en cuenta cuando el daño es grave o total.
	Mejora las características hidráulicas de la tubería.	Posiblemente se finalice con un aumento en el diámetro de la tubería.
	Mantiene la tubería existente	Destruye la tubería existente
	Reemplaza totalmente la tubería existente.	Aplicable cuando la reparación constante no es económicamente viable.

Gráfica 7. Construcción vs Rehabilitación vs Renovación. (Hidráulica, 2012)

Como se puede ver en la Gráfica 7, el objetivo final de lo que busque cada empresa en el momento de llevar a cabo alguno de los procedimientos sin zanja será lo que marque la pauta para escoger la metodología o tecnología apta para cada caso.

Es importante remarcar que el alcance del presente proyecto de grado se limita a renovación y rehabilitación. Sin embargo, se analizarán los posibles casos referentes a la construcción de nuevas redes de agua potables en el inicio de la investigación, para luego dar paso netamente al interés planteado. A continuación se mostrarán cuáles son los procedimientos asociados con cada caso.



Gráfica 8. Metodologías y tecnologías de construcción sin zanja. (ISTT)

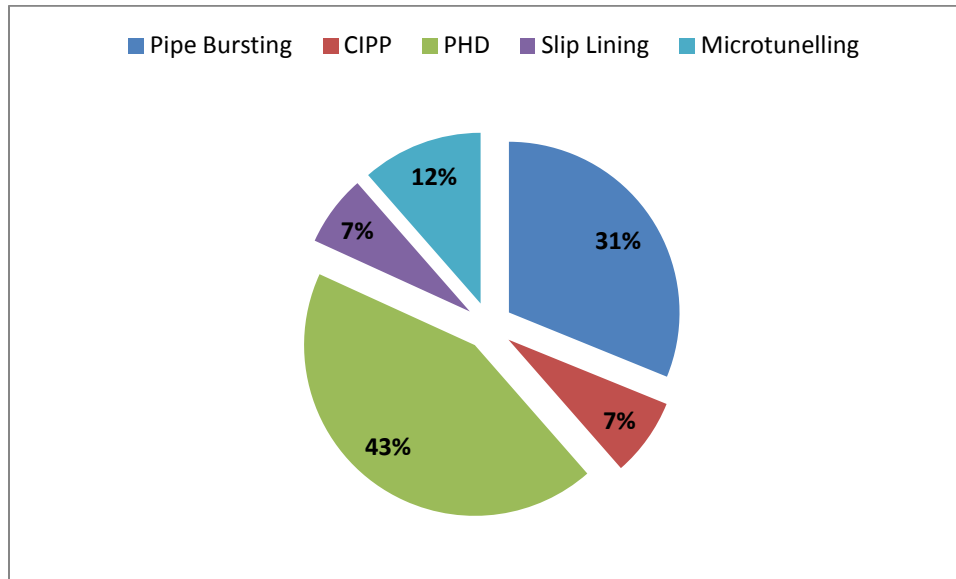
Una vez se identificaron cuáles de las metodologías y tecnologías son aplicables para el caso de renovación, rehabilitación y construcción de redes de sistemas de agua potable, se prosiguió a evaluar el uso de cada una a nivel local y mundial.

Para cumplir dicho objetivo, y a causa de la inexistencia de estadísticas consolidadas en Colombia y el mundo, se seleccionaron tres empresas Colombianas, Europeas y Estadounidenses, pioneras en la implementación de dichas tecnologías y con las cuales fue posible establecer contacto, y con base en su experiencia y kilómetros de tubería intervenida, se sacaron las estadísticas de uso de cada tecnología y metodología, así como el posible aumento y disminución de dicho uso, según la percepción de los representantes de cada empresa.

Para el caso Colombiano, la elección de dichas empresas se basó en la información disponible en la página del ICTIS (Instituto Colombiano de Tecnologías de Infraestructura Subterránea), en la sección de empresas afiliadas (Miembros Platino).

Tabla 1. Longitud de tubería intervenida. (LTDA, PAVCO, & TECNODUCTOS, Estadísticas de uso de tecologias sin zanja, 2012)

Colombia		
<i>Empresa</i>	<i>Tecnología o metodología</i>	<i>Longitud instalada (Km)</i>
PAVCO S.A.	CIPP	3.5
Treltec Ltda.	Pipe Bursting	10
	Microtunnelling	6.8
	PHD	14.5
TECNODUCTOS	Pipe Bursting	8.5
	Slip lining	4
	PHD	11.2
	CIPP	0.9



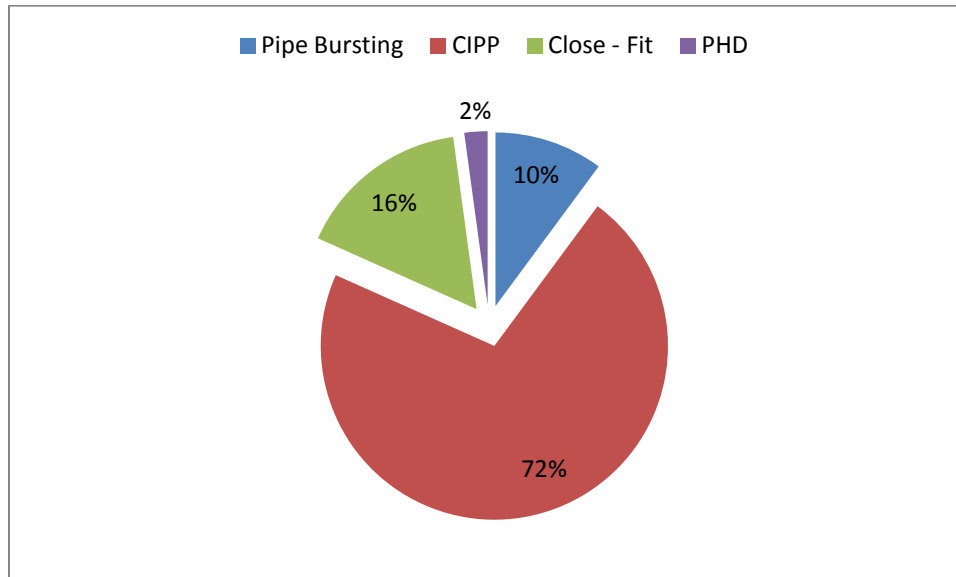
Gráfica 9. Porcentaje de uso de cada tecnología en Colombia.

Como se puede ver en la Gráfica 9, en Colombia existe un gran favoritismo por la PHD, seguido del Pipe Bursting, puesto que juntas, dichas metodologías abarcan casi la totalidad del mercado. Por otro lado, se puede evidenciar que procedimientos como el CIPP, Slip Lining y Microtunelling, no son muy tenidos en cuenta por parte de las empresas colombianas evaluadas.

Para el caso estadounidense y europeo, la elección de las empresas que servirían como escenario para realizar el análisis estadístico se basó en la información disponible en la página del ISTT (The International Society for Trenchless Technology), en la sección de empresas afiliadas (Europa y U.S.A).

Tabla 2. Longitud de tubería intervenida. (Technologies, Group, & Holding, 2012)

EUROPA		
<i>Empresa</i>	<i>Tecnología o metodología</i>	<i>Longitud instalada (Km)</i>
Karl Weiss Technologies	Pipe Bursting	10.5
	CIPP	55
Wavin Group	Pipe Bursting	5.5
	CIPP	33
	Close - Fit	25
Rabmer Holding	Pipe Bursting	7.5
	Close - Fit	12.5
	PHD	5
	CIPP	78

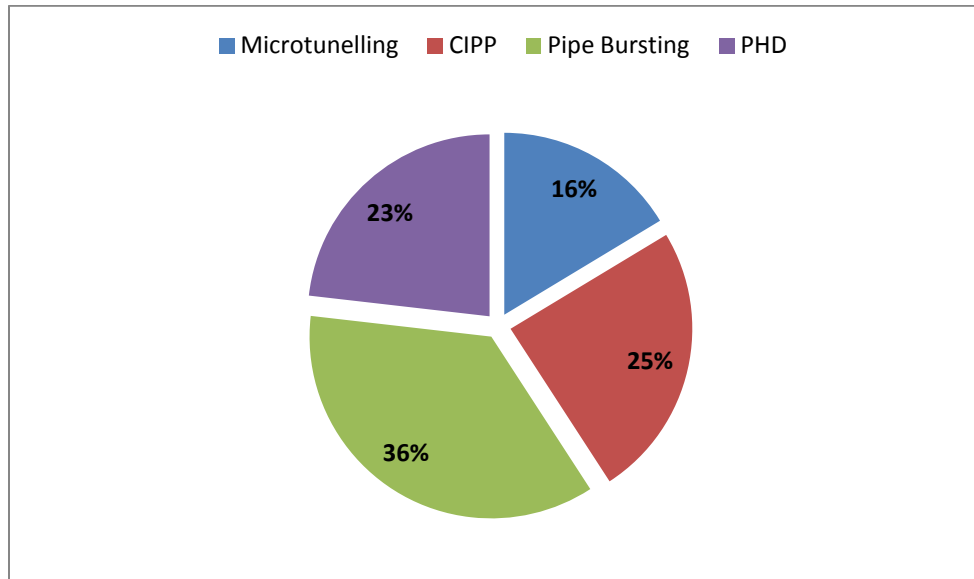


Gráfica 10. Porcentaje de uso de cada tecnología en Europa.

Como se puede ver en la Gráfica 10, en Europa existe una tendencia más que clara con respecto al favoritismo de los fabricantes estudiados. En un total del 72%, el CIPP es la metodología más usada en dicha zona del mundo. Estos datos son completamente contradictorios al caso Colombiano, puesto que tecnologías como la PHD o el Pipe Bursting, no tienen la popularidad evidenciada en el territorio nacional. Además de esto, es importante notar la inclusión de una tecnología que no está presente en el mercado Colombiano. Dicho procedimiento es el Close – Fit, el cual cuenta con una aceptación considerable en Europa y será descrito más adelante.

Tabla 3. Longitud de tubería intervenida. (Veatch, MWH, & McDonald, 2012)

U.S.A.		
<i>Empresa</i>	<i>Tecnología o metodología</i>	<i>Longitud instalada (Km)</i>
Black & Veatch	PHD	457.5
	Microtunelling	425.95
	Pipe Bursting	650
	CIPP	468
MWH	PHD	215.7
	CIPP	353.53
	Microtunelling	228.25
	Pipe Bursting	539.5
Hatch Mott McDonald	PHD	98
	CIPP	332.24
	Pipe Bursting	507
	Microtunelling	214.5

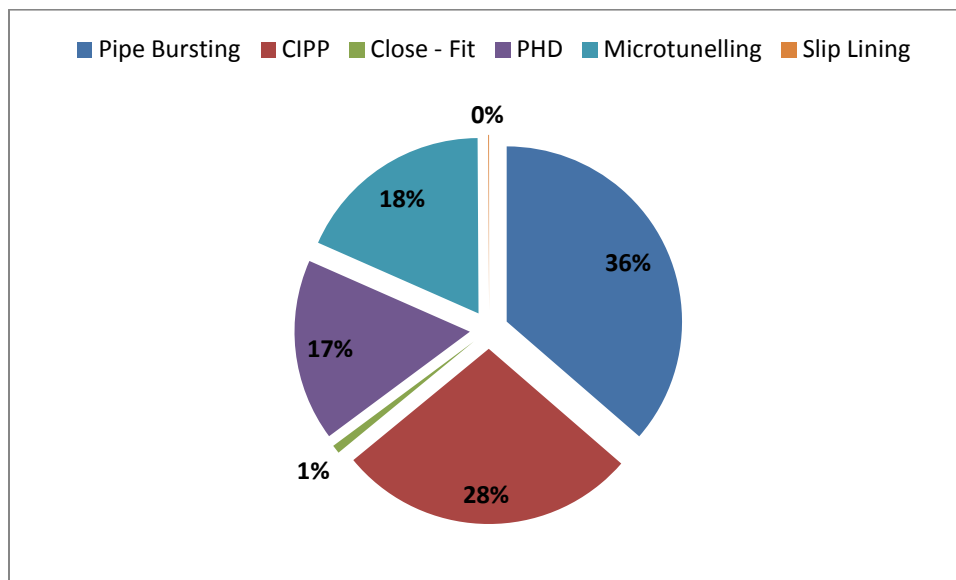


Gráfica 11. Porcentaje de uso de cada tecnología en U.S.A.

Finalmente, para el caso de Estado Unidos, como se puede ver en la Gráfica 11, el porcentaje de uso de cada tecnología para la rehabilitación y renovación de sistemas de agua potable es mucho más equitativo, en comparación al resto del mundo.

El Pipe Bursting se muestra como alternativa más usada por parte de las empresas escogidas como escenario investigativo. Sin embargo, es muy importante resaltar lo equitativo de la distribución entre la PHD y el CIPP, puesto que a pesar de ser procedimientos tan diferentes, tienen un porcentaje de uso muy parecido en Norteamérica.

Con base en la información anterior, se hallaron las estadísticas de uso para cada metodología y tecnología que sean aplicables para el caso de tuberías de sistemas de agua potable a nivel mundial, como se puede ver en la Gráfica 12.



Gráfica 12. Porcentaje de uso de cada tecnología a nivel mundial.

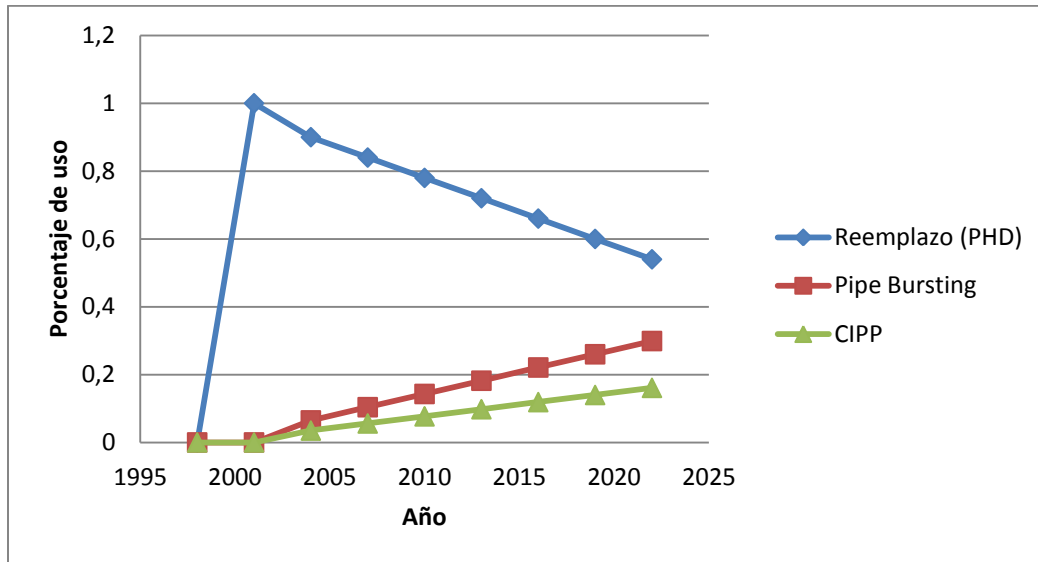
Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se puede concluir que la tecnología más usada a nivel mundial es el Pipe Bursting, seguido de la metodología del CIPP. Metodologías como la PHD y el Microtunelling presentan porcentajes de uso muy parecidos, mientras que el Slip Lining y el Close – Fit, no presentan un porcentaje de uso significativo, en comparación a las demás tecnologías y metodologías estudiadas.

2.1 PREFERENCIA EN EL USO DE LA PERFORCIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA (PHD) SOBRE LAS DEMÁS TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN Y RENOVACIÓN DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE EN COLOMBIA

Como se mencionó anteriormente, el alcance del proyecto tiene como fin enfocarse en las técnicas de renovación y rehabilitación de sistemas de agua potable. Sin embargo, dados los resultados anteriores, es importante hacer una investigación con el fin de determinar el por qué de la preferencia en la Industria Colombiana por el uso de la Perforación Horizontal Dirigida para llevar a cabo nuevas instalaciones de agua potable, sobre el uso de tecnologías y metodologías para desarrollar renovación y rehabilitación de redes existentes.

Una de las preguntas que surge una vez se analiza los resultados hallados en las Gráficas 9, 10, 11 y 12, es ¿por qué en el mercado Colombiano la PHD es el método sin zanja más usado, si en ninguno de los otros escenarios planteados tiene el mismo comportamiento?. Además, una vez se analiza la tendencia mundial, dicha metodología sólo presenta un porcentaje de uso cercano al 17%.

Para iniciar el proceso de investigación, se inició con la determinación del posible comportamiento que tendrá cada tecnología y metodología en el mercado Colombiano en los próximos años. Para tal fin, se hizo uso de las estadísticas que resultaron del Segundo Congreso Latinoamericano de Tecnologías Sin Zanja.



Gráfica 13. Tendencia de uso de cada tecnología y metodología en Colombia. (ICTIS, Tendencia de uso de cada tecnología y metodología en Colombia, 2012)

Como se puede ver en la Gráfica 13, a pesar de que el aumento en la tendencia de uso de tecnologías para renovación y rehabilitación de sistemas de agua potable, como lo son el Pipe Bursing y CIPP respectivamente, ha sido constante y se proyecta a aumentar en un futuro cercano, es la construcción e instalación de nuevas redes de acueducto, representada por la PHD, la técnica de intervención sin zanja más usada actualmente en Colombia, y la que se proyecta como más promisorio en los próximos 15 años.

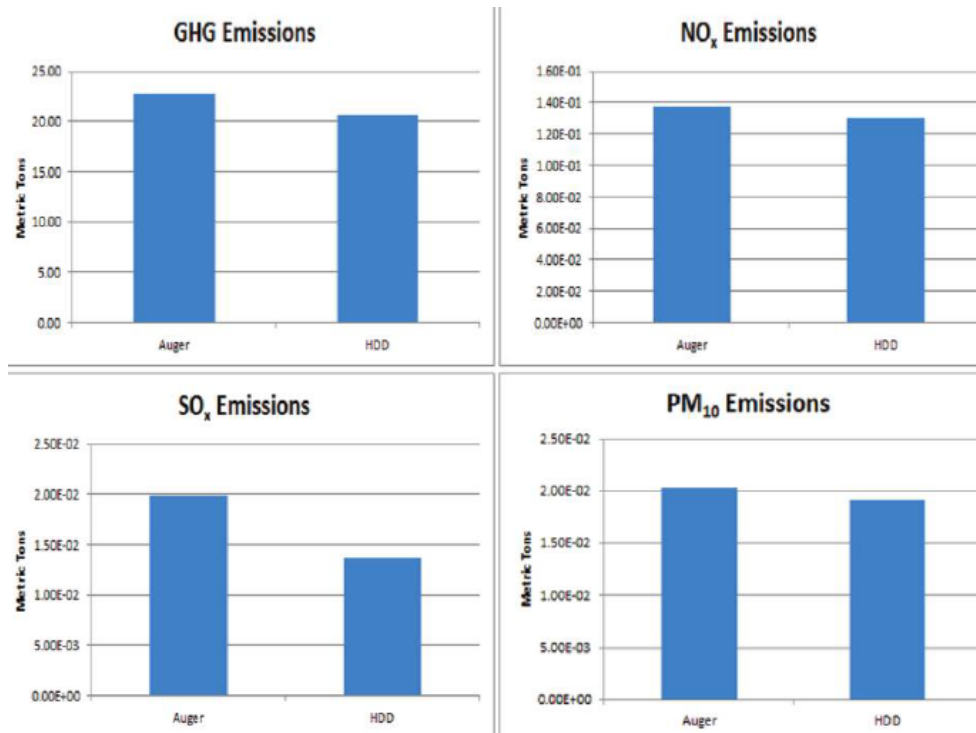
Para sustentar dicha afirmación, es de utilidad referenciar la investigación desarrollada por Michael D y Lubrecht LG (D & LG, 2012), quienes en su artículo llamado “Horizontal Directional Drilling: A Green and Sustainable Technology for Site Remediation” concluyen

cuatro afirmaciones principales de importancia, las cuales hacen referencia a las ventajas de la PHD sobre los demás técnicas de intervención de tuberías para agua potable sin zanja. Dichas ventajas son:

- Reducción en el consumo de energía durante la construcción.
- Reducción en el daño ambiental colateral.
- Ofrece beneficios en conservación de energía.
- Reduce mantenimiento durante operación.

Además, es importante, según los autores, tener cuenta la disminución en el impacto ambiental generado por el uso de dicha metodología, puesto que si se evalúan elementos como la generación de partículas de polvo, ceniza, hollín y cemento (PM10), emisión de gases como el Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂) y gases de efecto invernadero (GHG), se encontrará que dichos indicadores son menores para el caso de la PHD.

A continuación, por medio de la Gráfica 14, se ilustrará dicho comportamiento. Es importante resaltar que para llevar a cabo la comparación ilustrada, los autores tomaron como ejemplo la tecnología del Auger Boring, resaltando que el resultado final iba a ser equivalente a cualquiera fuese la tecnología o metodología usada para desarrollar el paralelo, y como se puede ver en los 4 recuadros, dicha técnica siempre presentó valores de emisión mayores a la PHD.



Gráfica 14. Emisiones tóxicas de la PHD vs Auger Boring. (D & LG, 2012)

2.1.1 AVANACES DE LA PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA (PHD)

Durante los últimos años ha habido diferentes avances en la industria de las metodologías y tecnologías sin zanja, especialmente para el caso de la PHD. Sin embargo, según Ming-Chang Wu, Pi-Cheng Tung y Ting-Ya Hsieh (Wu, Tung, & Hsieh, 2011), en su artículo denominado “Improvement of the horizontal directional drilling method by using an autonomous land vehicle with a radio direction finding system”, los autores explican como

la inclusión de un vehículo autónomo, capaz de recorrer la tubería y detectar zonas donde la perforación sería más sencilla, ha influenciado positivamente el uso de dicha metodología, puesto que con la inclusión del robot, se genera una reducción en el número de operadores considerable, así como en los costos laborales.

Además, la inclusión del carro automatizado previene frecuentes accidentes en el procedimiento, por lo que la seguridad de los operarios aumenta. Y finalmente, la estandarización y automatización del procedimiento incrementa, razón por la cual su aplicación es más sencilla.

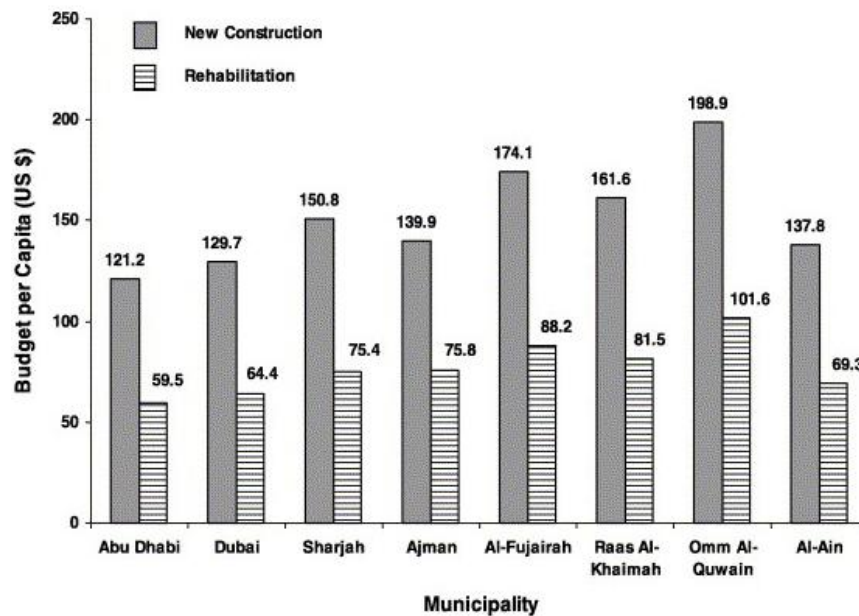
2.2 ESTADO ACTUAL DE LAS TECNOLOGÍAS SIN ZANJA EN ASIA

Para nadie es un secreto que el continente Asiático se ha convertido en un agente fundamental para la economía mundial durante los últimos años. Razón por la cual, se hizo una investigación acerca del estado en el que se encuentran las tecnologías sin zanja en dicho continente, su evolución, cuales son las más usadas y cuales se proyectan como las más prometedoras.

Para tal fin se tomo como escenario de investigación a los Emiratos Árabes Unidos y a la República Popular de China.

Para el caso de los Emiratos Árabes Unidos, según la investigación desarrollada por Essam K. Zanelidin, denominada “Trenchless construction: An emerging technology in United Arab

Emiratos (Zaneldin, 2006), el uso de los tecnologías y metodologías sin zanja han tenido una evolución considerable, puesto que desde el año 2006, se planeó invertir durante los próximos 5 años cerca de 15 billones de dólares en la instalación de nuevas tuberías de agua potable y la renovación de algunas otras ya existentes, todo mediante técnicas de construcción sin zanja. En la Gráfica 15 se ve dicha inversión para cada Emirato.



Gráfica 15. Inversión en técnicas sin zanja para cada Emirato. (Zaneldin, 2006)

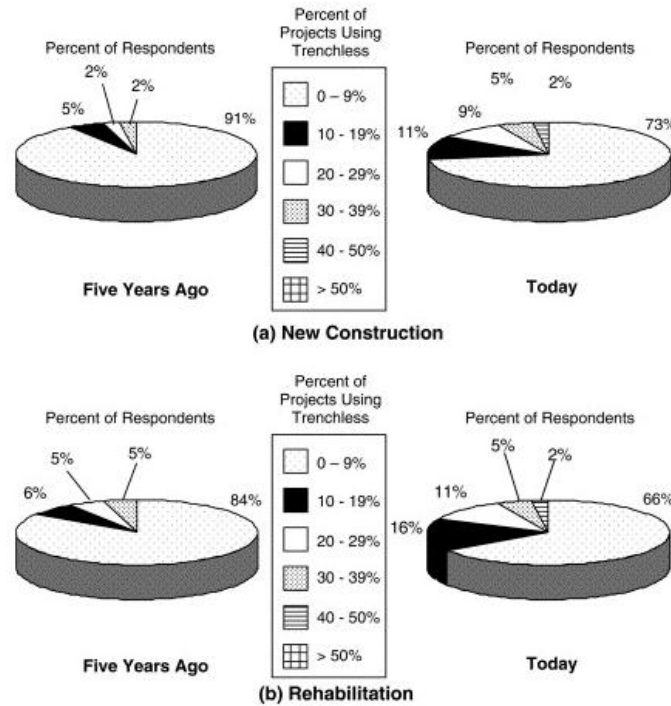
Como se puede evidenciar en la gráfica anterior, el Emirato en el que se ha presentado mayor inversión es Omm Al-Quwain, y a su vez, el que presento menor inversión fue Abu Dhabi, tanto para construcción como la rehabilitación. Sin embargo, en promedio la inversión fue de 151 millones de dólares por Emirato, lo que evidencia una inversión significativa y equitativa y se concluye que el uso de tecnologías y metodologías sin zanja en los Emiratos Árabes Unidos ha tenido un aumento significativo, puesto que con la inversión descrita, se espera que para finales del 2011 el uso de dichas técnicas haya aumentado en un 100%, con respecto al año 2006.

Otra consideración de importancia es la diferencia que existe entre la construcción de nuevas tuberías de agua potable y la rehabilitación de las mismas, ya que la diferencia de uso es considerable, y se podría concluir, que al igual que en el caso colombiano, en los Emiratos Árabes Unidos la primera opción ha sido llevar a cabo construcción de nuevas redes de tuberías de agua potable, en vez de rehabilitar las ya existentes.

Sin embargo, para hacer el estudio más efectivo, sería necesario tener en cuenta el número de tuberías con el que disponían hace cinco años en cada Emirato, con el fin de saber si el porcentaje rehabilitado es significativo con base a la longitud de tubería existente, o por si el contrario, la mayoría en inversión para construcción de nuevas redes fue causada por la inexistencia de redes de sistemas de distribución de agua potable.

La Gráfica 16 es de utilidad para comprender un poco mejor como ha sido el aumento en el uso de tecnologías para la construcción y rehabilitación de redes de agua potable en los Emiratos Árabes Unidos, puesto que en la misma se explica, por medio de intervalos de

uso, el porcentaje de proyectos en los que se han usado las técnicas descritas, y como ese porcentaje ha variado a lo largo de los últimos años.

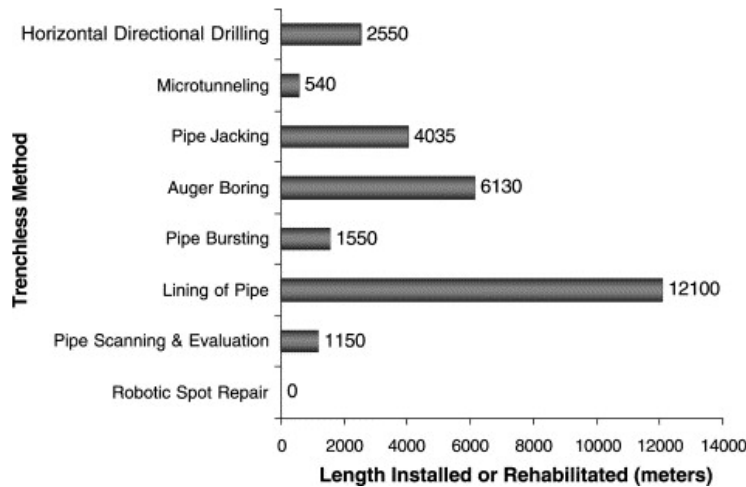


Gráfica 16. Porcentaje de proyectos usando tecnologías sin zanja. (Zaneldin, 2006)

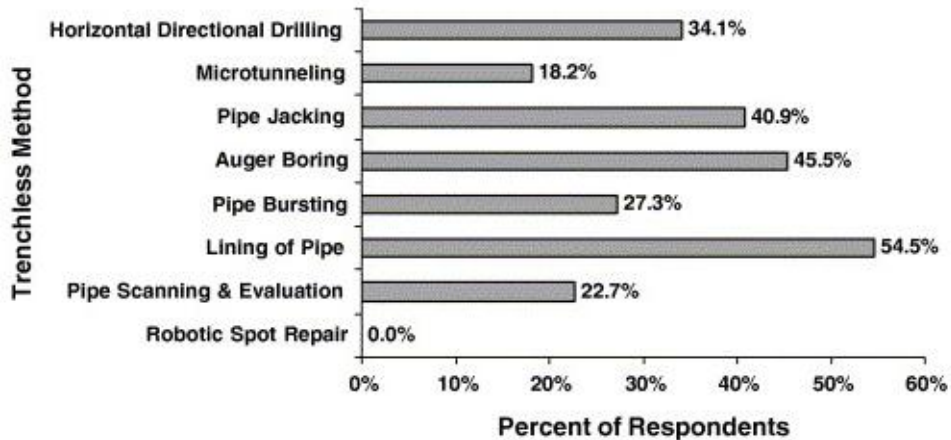
Como es claro, se puede concluir que durante los últimos cinco años, tanto para el caso de construcción como para el de rehabilitación, el porcentaje de proyectos en los que se usaron las tecnologías sin zanja ha aumentado.

A continuación, se muestra, con base en el aumento de uso descrito, cuáles son las metodologías y tecnologías sin zanja más usadas en los Emiratos Árabes Unidos, teniendo

en cuenta el criterio de longitud instalada o rehabilitada y el porcentaje de tecnología demandado.



Gráfica 17. Longitud de tubería instalada. (Zaneldin, 2006)



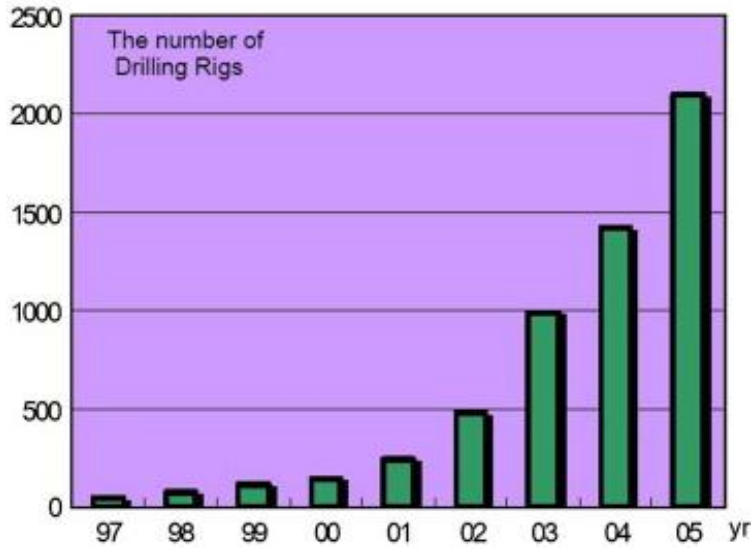
Gráfica 18. Porcentaje de tecnología demandada. (Zaneldin, 2006)

Teniendo en cuenta los resultados mostrados en las Gráficas 17 y 18, se puede concluir que la metodología de Lining of Pipe es la más usada en los Emiratos Árabes Unidos, puesto que presenta la mayor longitud de tubería intervenida, y a su vez el mayor porcentaje demandado.

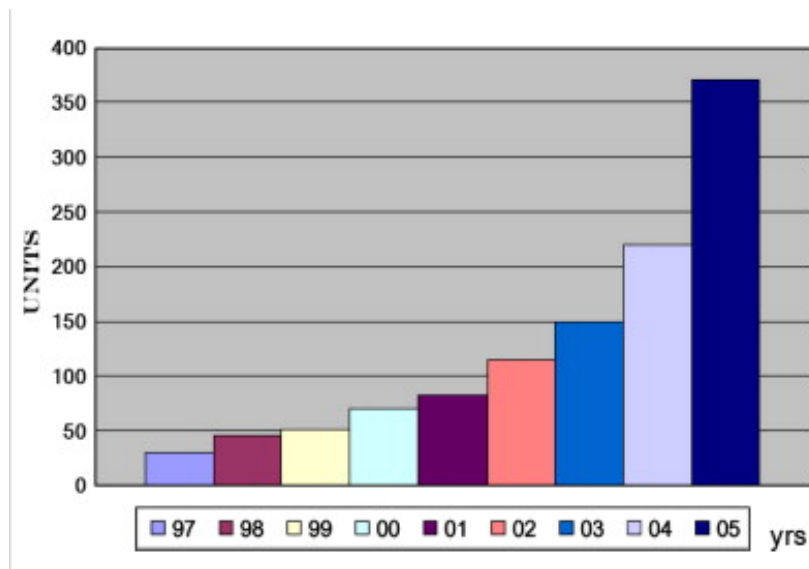
El anterior es un dato importante, puesto que Lining of Pipe es la misma metodología denominada como Close-Fit en el resto del mundo, por lo cual, es necesario empezar tenerla en cuenta como una de las más prometedoras a nivel mundial.

Por otro lado, con respecto al caso de la República Popular de China, se hizo uso de la investigación realizada por Baosong Ma y M. Najafi, denominada “Development and applications of trenchless technology in China” donde los autores explican por medio de investigaciones realizadas que el aumento en el uso de tecnologías y metodologías para la renovación, construcción y rehabilitación de sistemas de agua potable en China ha aumentado significativamente durante los últimos años (Baosong & M, 2008).

Para sustentar la tesis descrita, los autores hacen uso de estadísticas referentes al número de perforaciones horizontales dirigidas realizadas a través de los años, y como este número ha aumentado significativamente en el tiempo. Además estudian el aumento en la importación y construcción de máquinas para llevar a cabo procedimientos sin zanja. Para este caso, enfocan la investigación puntualmente en la maquinaria necesaria para realizar la metodología del Pipe Jacking.



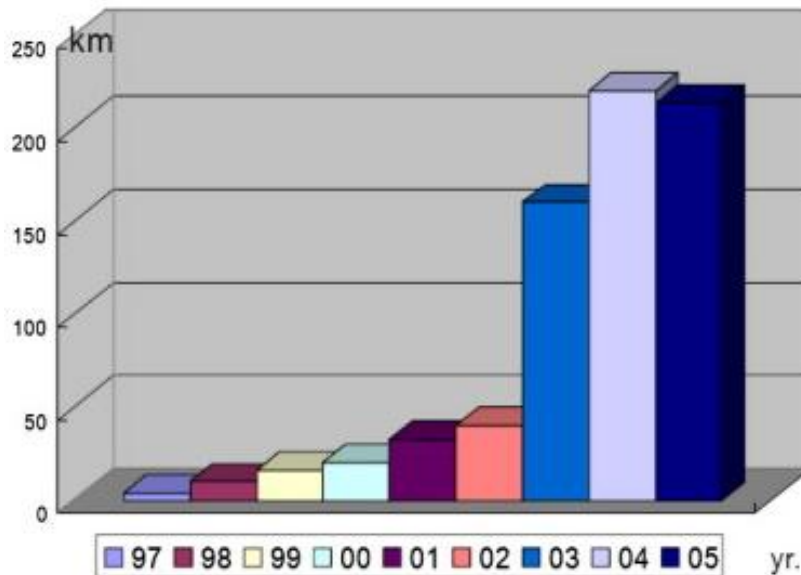
Gráfica 19. Número de perforaciones hechas a lo largo de los años. (Baosong & M, 2008)



Gráfica 20. Incremento de maquinaria para Pipe Jacking. (Baosong & M, 2008)

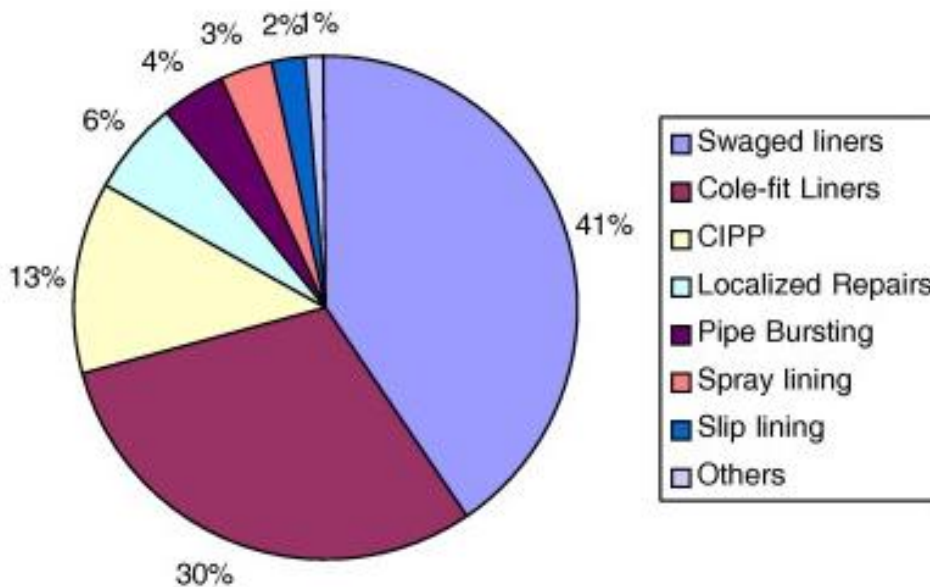
Como se puede ver en las Gráficas 19 y 20, el estudio descrito sólo se ve evidenciado hasta el año 2005. Sin embargo, los autores explican y suponen dicho comportamiento como constante, por lo cual, se espera que para el año 2015 estas estadísticas sean mucho más fuertes, y China pueda ser considerado como uno de los países a nivel mundial donde las metodologías y tecnologías sin zanja tienen la mayor cobertura.

Además de esto, se tiene información acerca de cómo ha evolucionado la cantidad de kilómetros intervenidos en China a lo largo de los últimos años. Por medio de la Gráfica 21 se puede concluir de que para finales del año 2005 la cantidad de Kilómetros intervenidos por medio de técnicas sin zanja había aumentado en un 2100%, con respecto al año base, dato completamente revelador y que justifica la tesis anteriormente planteada.



Gráfica 21. Longitud de tubería intervenida (Km). (Baosong & M, 2008)

Finalmente, una vez se ha concluido por medio del análisis estadístico de que China es en potencia uno de los países donde las metodologías y tecnologías sin zanja han evidenciado el mayor crecimiento durante los últimos 20 años, se procederá a concluir cuales de las técnicas estudiadas son las más usadas en dicho país, con el fin de concluir cuales de las mismas se plantean como las más promisorias a nivel mundial.



Gráfica 22. Porcentaje de uso de cada tecnología y metodología en China. (Baosong & M, 2008)

Como se puede ver en la Gráfica 22, con respecto a las tecnologías y metodologías que son aplicables para el caso de tuberías de agua potable, el Pipe Busting, seguido por el CIPP, son las técnicas más usadas en China. Por lo cual se puede concluir que en dicho país se tiene una preferencia de uso parecida a la de Europa y U.S.A.

2.3 TECNOLOGÍAS EMERGERNTES EN COLOMBIA Y EL MUNDO

A continuación se procederá a investigar cuales tecnologías están siendo desarrolladas actualmente en Colombia y el mundo, sus características principales y campo de acción.

2.3.1 COMPACT PIPE (PAVCO S.A.)

Compact Pipe es una tecnología que está siendo actualmente desarrollada por la empresa Colombiana PAVCO S.A. Dicho procedimiento ha demostrado ser útil para casos de renovación de sistemas de agua potable, gas y alcantarillado. Así mismo, dicha tecnología puede ser utilizada en los casos donde se quieran intervenir tuberías de acero, arcilla o asbestos.

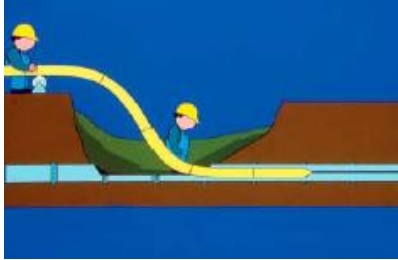
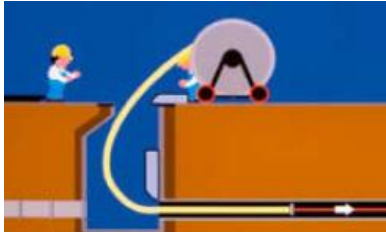
El procedimiento se fundamenta en la inserción de una tubería de polietileno de alta densidad en la tubería a ser renovada, teniendo como característica principal, que dicha tubería de polietileno se encuentra en un estado deformado cuando es insertada. Una vez la tubería está acomodada, se prosigue a aplicarle vapor de agua caliente, con el fin de darle a la tubería su estado inicial, aprovechando el efecto de memoria que tiene el polietileno dentro de sus características principales.

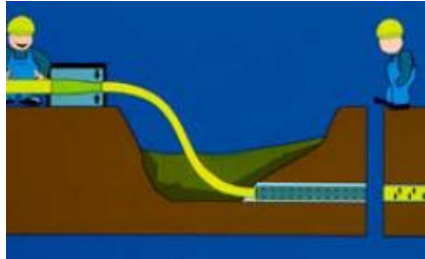
Una de las grandes ventajas que este procedimiento tiene, se fundamenta en las propiedades físicas que poseen los sistemas de tubería plásticos, ya que no son tóxicos y no tienen sabor, por lo que no representa un riesgo para la salud pública y tampoco afecta el sabor o calidad del agua potable pasando a través de ellos.

Además de las ventajas previamente descritas, esta tecnología tiene dentro de sus avances poder proveerle al usuario calidad y durabilidad igual a una red de tuberías nueva, desarrollar el procedimiento mediante una excavación limitada, facilidad en el proceso, puesto que es posible renovar hasta 600 m de tubería en una sola sesión y reducción al mínimo el impacto ambiental durante y después del procedimiento.

A continuación se explicará cada uno de los pasos a seguir para llevar a cabo el procedimiento.

Tabla 4. Proceso constructivo del Compact Pipe.

Descripción	ilustración
<p>El primer paso consiste en la inserción de la tubería doblada dentro de la tubería a ser renovada. Como se puede ver en la Ilustración 1, es necesario tener un control completo en este paso, puesto que la tubería de polietileno debe quedar perfectamente alineada con la tubería ser renovada.</p>	 <p>Ilustración 1. Inserción de la tubería. (WAVIN, 2012)</p>
<p>El segundo paso en el procedimiento es tal vez el más simple, puesto que una vez la tubería ha sido incrustada, simplemente debe ser halada hasta el otro extremo, por medio de maquinaria especializada (Ilustración 2).</p>	 <p>Ilustración 2. Alineamiento de la tubería. (WAVIN, 2012)</p>

<p>Finalmente, una vez la tubería ha sido alineada y halada, se procede a la aplicación de vapor caliente. Este paso es el más importante dentro del procedimiento puesto que hará que la tubería de polietileno retome su forma inicial y quede lista para entrar en funcionamiento.</p>	 <p>Ilustración 3. Tubería retomando su estado inicial. (WAVIN, 2012)</p>
---	---

A continuación por medio de las Ilustraciones 4 y 5 se procederá a mostrar el resultado final del procedimiento explicado.

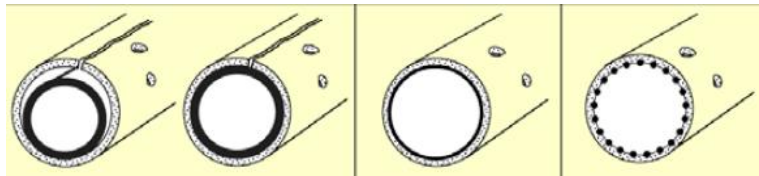


Ilustración 4. Corte transversal de tubería renovada. (WAVIN, 2012)

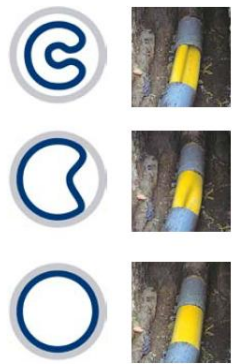


Ilustración 5. Corte longitudinal de tubería renovada. (WAVIN, 2012)

2.3.2 PROCESO JANSSEN (CI Pacific Trading Group S.A.)

El proceso Janssen es un procedimiento desarrollado por la empresa CI Pacific Trading Group, en el cual se inyectan robóticamente resinas de curado a presión en las cavidades de la línea domiciliaria y a su alrededor. Esto crea una unión estructural sólida y permanente, evitando la entrada de raíces, separación entre partes de la tubería y garantizando una unión permanente (S.A., 2012).

Dicho procedimiento tiene como característica principal la ausencia de materiales rígidos o tuberías para llevar a cabo la rehabilitación. A continuación, por medio de las Ilustraciones 5 y 6 se mostrará el resultado de procedimiento.



Ilustración 6. Tubería parcialmente sometida a Proceso Janssen. (S.A., 2012)

En la Ilustración 6 se ven las grietas y fugas en la tubería que está siendo rehabilitada, así como la resina de curado inyectada para solucionar dichos problemas.



Ilustración 7. Tubería totalmente sometida a Proceso Janssen. (S.A., 2012)

Como se puede evidenciar en la Ilustración 7, una vez se ha inyectado la totalidad de la resina, la misma se ha curado y las paredes de la tubería están reparadas, las grietas y fugas presentes anteriormente han sido eliminadas. Razón por la cual, se espera que una vez se complete el procedimiento, la capacidad hidráulica de la tubería vuelva a su estado normal y la misma pueda prestar un servicio por los próximos 50 años.

2.3.3 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Con base en la descripción, tanto del Compact Pipe como del Proceso Janssen, llegar a una conclusión acerca de cuál es la tecnología que tendrá mayor acogida a nivel local y mundial es difícil, puesto que los fabricantes aún no han publicado datos como el costo de los materiales y el procedimiento, además de la cantidad de excavación necesaria e impacto ambiental.

Sin embargo, lo que sí es posible es determinar las grandes ventajas que cada una de dichas alternativas podría generar en comparación a las metodologías y tecnologías previamente mencionadas. Con respecto al Compact Pipe, al ser una sola manga de tubería la que se está insertando en la tubería vieja, se eliminan errores de alineamiento en el procedimiento y se simplifica la labor de los operarios.

Por otro lado, el Proceso Janssen, tiene dentro de sus principales características la capacidad de llevar a cabo una rehabilitación manteniendo casi exacto el diámetro actual de la tubería afectada. Razón por la cual, problemas como afectar la capacidad hidráulica de la misma quedan descartados. Además de esto hay que tener en consideración la ausencia de máquinas pesadas en el procedimiento, lo que sin lugar a duda generará un costo mucho menor en comparación a algunas de las otras técnicas sin zanja existentes.

2.4 TECNOLOGÍAS MÁS PROMISORIAS EN COLOMBIA Y EL MUNDO

Gran parte de la investigación ha estado enfocada en determinar cuáles tecnologías y metodologías son las más promisorias a nivel mundial y local. Sin embargo, llegar a una conclusión determinada netamente por el análisis estadístico hecho no es completamente correcto, puesto que el uso de cada técnica se ve directamente influenciado por las características económicas, culturales y geográficas de cada lugar en el mundo.

Por esta razón, con el fin de complementar los datos estadísticos hasta ahora recopilados, se hará uso de la última conferencia desarrollada por la ISTT, donde los expertos mejor calificados a nivel mundial dan su opinión acerca del tema de estudio. Es importante aclarar que en esta etapa de la investigación el análisis se limitará a rehabilitación y renovación de sistemas de agua potable, dejando a la construcción de nuevas tuberías por fuera.

En primera medida, es importante popularizar el beneficio que han tejido las tecnologías sin zanja según Collins Orton, gerente general de TT Technologies. Dado que durante los últimos 20 años, la aplicación de las mismas ha permitido brindarles a los ciudadanos de U.S.A. y el mundo entero calidad permanente en su diario vivir. Dicho beneficio no puede ser ignorado, razón la cual, se proyecta un crecimiento del 30% en el uso de tecnologías sin zanja para los próximos 20 años (Orton, 2012).

Con respecto a cómo podría estar siendo dirigido el desarrollo de nuevas tecnologías y metodologías para la renovación y/o rehabilitación de sistemas de agua potable es fundamental tener en cuenta la opinión de John Jurgens, Ingeniero Civil y Profesor Emérito de la ciudad de Seattle, quien explica que el desarrollo de tecnologías diferentes a las conocidas es poco probable. Sin embargo, se espera que a medida que las necesidades humanas vayan aumentando, así mismo irán evolucionando las tecnologías más comunes (Jurgens, 2012).

Por otro lado, si no se tiene previsto que las tecnologías actuales tengan un cambio radical, ¿cómo puede tener un avance la industria? Dicho interrogante es completamente respondido por Lynn Osborn, Gerente de Aplicaciones de Insituform, quien explica que los materiales constituyen la parte más importante de las tecnologías sin zanja. Por lo tanto, se tiene pensado poder desarrollar formulas químicas para mejorar las resinas del CIPP, las cuales sean más amigables con el medio ambiente, y sobre todo más económicas. Por otro lado, los fabricantes del Pipe Bursting esperan seguir con el desarrollo de maquinaria y de materiales para las cuchillas, con el fin de automatizar el proceso y disminuir los errores en el mismo (Osborn, 2012).

Finalmente, con base en las estadísticas descritas en la parte inicial de la investigación y con las opiniones de los expertos descritos, se tienen como alternativas catalogadas a ser las tecnologías y metodologías más promisorias al Pipe Bursting, CIPP y Close – Fit. A

continuación se procederá a explicar cada procedimiento en detalle, las ventajas, desventajas, y avances proyectados por los fabricantes para cada alternativa.

2.4.1 PIPE BURSTING

El Pipe Bursting es un procedimiento de renovación de redes, tanto de acueducto como de agua potable. Para llevar a cabo dicha metodología es necesario empezar con la excavación de dos huecos pequeños, que idealmente, deberían tener una distancia de separación entre sí de cien metros lineales.

En la primera excavación se debe instalar todo el equipo de accionamiento, tales como la unidad de potencia y equipo de halado hidráulico (Ilustración 8 y 9). Una vez dicha maquinaria está posicionada, se corta la tubería existente en dicho tramo y se retira la fracción de tubo descubierto.



Ilustración 9. Equipo de accionamiento. (LTDA, Elementos del Pipe Busting, 2012)



Ilustración 8. Unidad de potencia. (LTDA, Elementos del Pipe Busting, 2012)

Posteriormente, es necesario instalar barras de acero en toda la sección de tubería a ser renovada. Dichas barras deben llegar hasta la segunda excavación, donde se le conectan las mismas a la cuchilla de corte; elemento destinado a realizar los cortes en la tubería a ser renovada, el cono expensor; el cual debe tener mayor diámetro que la tubería existente con el fin de permitir el ingreso de la nueva sección y el elemento de sujeción o Puller; destinado a generar hermeticidad en la tubería nueva y permitir que la misma queda en condiciones óptimas de funcionamiento. (Ilustración 10 y 11).

Estructura principal.

Barras de acero.

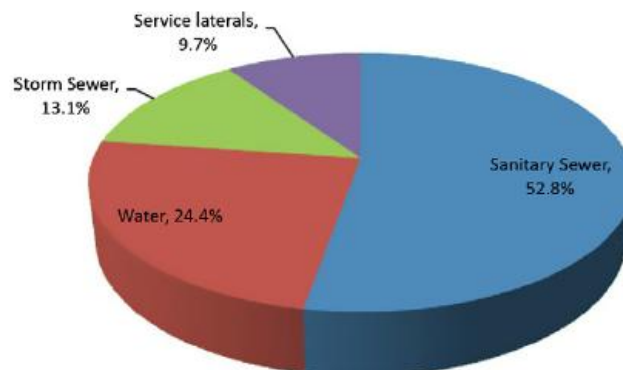


Ilustración 10. Barras de acero conectadas a estructura principal. (LTDA, Elementos del Pipe Busting, 2012)



Una vez se han conectado dichos elementos a las barras de acero, es necesario conectar la tubería de polietileno destinada a reemplazar la existente con la parte trasera del Puller, con el fin de proceder al halado de las barras, y en una misma operación, romper el ducto antiguo, expandir el orificio e introducir la tubería nueva. (LTDA, Procedimiento del Pipe Busting).

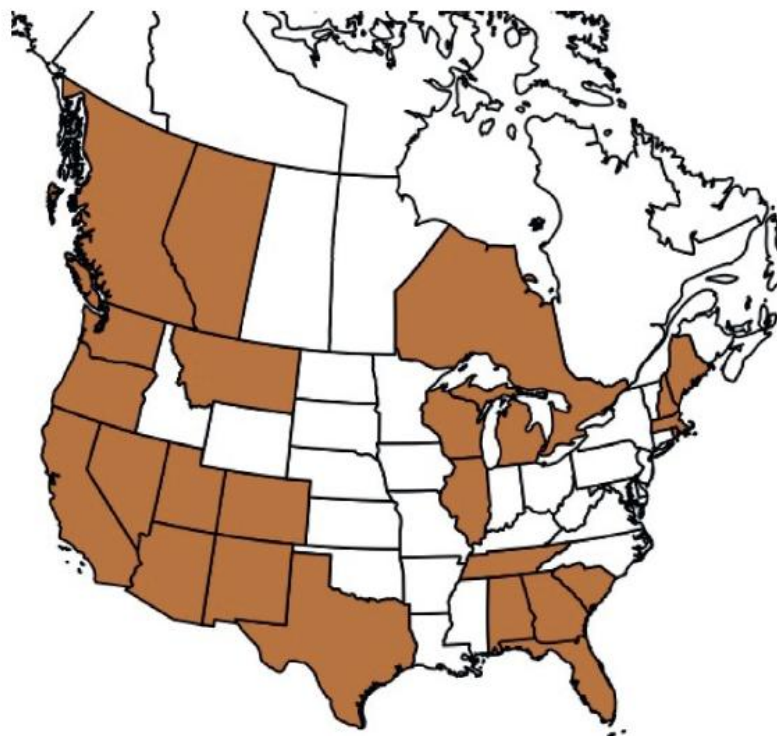
Una vez clarificado el procedimiento del Pipe Bursting, es importante aclarar que dicha metodología, a pesar de ser muy popular en sistemas de agua potable, tiene una popularidad mucho más notoria en sistemas de alcantarillado. Dicha afirmación se puede sustentar por medio del artículo escrito por Samuel Ariaratnam, Jason Lueke y John Michael denominado "Current trends in pipe bursting for renewal of underground infrastructure systems in North America" (Ariaratman , Lueke, & Michael, 2012), donde no solo explican las diferencias en el uso para alcantarillado y sistemas de agua potable del Pipe Bursting, sino como el mismo ha evolucionado en los últimos años para el caso de acueducto.



Gráfica 23. Demanda por servicio del Pipe Bursting en U.S.A. (Ariaratman , Lueke, & Michael, 2012)

Como se puede ver en la Gráfica 23, actualmente el uso de la tecnología descrita es mucho más popular para casos en los que se quieran intervenir sistemas de alcantarillado. Sin embargo, para el 2010, el Pipe Bursting aplicado a sistemas de agua potable estaba presente en 22 de los 50 estados Norteamericanos (Gráfica 24), y según los autores, se

espera que para finales del año 2018 el mismo este siendo aplicado en la totalidad del territorio estadounidense. Razón por la cual, no solo esperar que la popularidad de dicho procedimiento aumente para el caso de acueducto en los Estados Unidos es inevitable, sino que se puede tener completa seguridad de que el Pie Bursting será la principal opción para renovar sistemas de agua potable en dicho país durante las próximas décadas.



Gráfica 24. Regiones donde el Pipe Bursting ha sido aplicado con frecuencia (2010). (Ariaratman , Lueke, & Michael, 2012)

4.4.1.1 MITOS DEL PIPE BURSTING

Teniendo en cuenta que el Pipe Bursting es el procedimiento más popular a nivel mundial para renovación de sistemas de agua potable, han surgido algunas dudas o mitos acerca de su funcionamiento, explicadas por Matt Timberlake, en su artículo llamado “Pie Bursting Myths and Misconceptios” (Timberlake).

Mito número 1: El pipe Bursting es costoso.

Este mito surgió de los sobrecostos generados en proyectos en los cuales las longitudes a ser renovadas eran muy pequeñas. Razón por la cual, los contratistas no compraban equipos, sino que generalmente los alquilaban, por lo cual costos atribuidos al desplazamiento de los mismos eran generados y la cuenta final se inflaba más de lo deseado.

Sin embargo, si los contratistas compran la maquinaria y empiezan a desarrollar renovaciones de secciones de tubería considerable, de seguro cuando se adicionen la totalidad de costos atribuidos a cada proyecto, incluyendo beneficios sociales y ambientales, el verdadero costo de llevar a cabo una renovación con Pipe Bursting será mucho inferior a una desarrollada con el método común de zanja abierta.

Mito número 2: El Pipe Bursting solo debe ser usado cuando la tubería no puede ser excavada.

Contrario a la anterior afirmación, el Pipe Bursting puede ser usado en cualquier caso donde la tubería a ser reemplazada esté ubicada en una zona con alta densidad de tráfico

o donde se presenten riesgos ambientales críticos, en lugares donde, por razones económicas, la interrupción de actividades comerciales no pueda ser una opción y en casos en los que se necesite generar una reducción temporal en el horario de la obra.

Mito número3: El Pipe Bursting solo es práctico cuando se quiere aumentar el tamaño de la tubería existente.

Puede que el Pipe Bursting sea usado en la mayoría de los casos en situaciones en las que se quiera aumentar el diámetro de la tubería existente. Sin embargo, se ha demostrado que dicha práctica es muy útil, y genera un comportamiento de la tubería óptimo, cuando se llevan a cabo procesos de renovación en los que no se altera el diámetro de la tubería antigua.

Mito número 4: Si para llevar a cabo el procedimiento del Pipe Bursting es necesario realizar excavación, ¿por qué es denominado como un método sin zanja?

El Pipe Bursting es una metodología sin zanja puesto que una vez está completado el procedimiento, el nivel de excavación se puede reducir en un 95%, con respecto a los demás métodos con zanja abierta.

Mito número 5: El Pipe Bursting no es aplicable para casos de sistemas de agua potable.

Es cierto que la aplicabilidad del Pipe Bursting está en la mayoría de países limitada a tuberías de hierro, asbesto cemento y plástico. Sin embargo, dicha limitante no significa que no pueda ser utilizada en sistemas de agua potable.

Mito número 6: El Pipe Bursting puede levantar el suelo presente encima de la tubería renovada.

Como se describió anteriormente en el procedimiento del Pipe Bursting, una vez el cono expansor pasa a través de la tubería a ser renovada con el fin de permitir el ingreso de la nueva tubería, puede que las condiciones geotécnicas de la zona se vean afectadas, sin embargo en la mayoría de los casos el suelo se expandirá hacia arriba y hacia abajo homogéneamente, lo que hará que las condiciones del suelo se mantengan estables.

Es necesario tener en cuenta que para los casos donde se encuentren suelos incompresibles, o donde se tengan volúmenes de desplazamiento de la tubería mayores a la profundidad de cobertura de la misma, es posible que se genere levantamiento del suelo. Sin embargo dicho comportamiento puede ser previsto y tratado, por lo que no es un problema muy común cuando se llevan a cabo dichos procedimientos.

4.4.1.2 VENTAJAS

Una de las ventajas más populares que ofrece el Pipe Bursting sobre las demás metodologías y tecnologías para renovar o rehabilitar tuberías hace referencia a los beneficios sociales que dicha técnica ofrece. Según Shawn Ready, en su artículo titulado “Social benefits of Pipe bursting: A View From the Field” (Ready, 2012), dicha ventaja social hace referencia a la reducción en el uso de membranas, resinas y demás agentes que podrían ser tóxicos o dañinos para la salud humana.

Otras de las ventajas que ofrece dicho procedimiento son las siguientes:

- Reducción en el plazo temporal para llevar a cabo la obra.
- Es uno de las metodologías más económicas en el mercado, incluyendo la totalidad de técnicas estudiadas y la tradicional metodología de abertura de zanja.
- Permite aumentar el diámetro de la tubería a ser renovada.

4.4.1.3 DESVENTAJAS

Con respecto a las desventajas atribuidas a dicho procedimiento, existe una muy conocida, y de la cual la mayoría de constructores debe ocuparse una vez el procedimiento ha empezado. La referencia para el daño en redes aledañas a la tubería que ha sido renovada. Dicho daño se genera en casos en los que la información catastral de la zona es pobre, y se lleva a cabo la intervención de la tubería sin tener los cuidados necesarios. En esos casos, con el fin de prevenir el daño en dichas redes, es necesario hacer excavaciones adicionales, y el costo total de la renovación puede ser mucho mayor de lo planificado.

Otras de las desventajas atribuidas a dicho procedimiento son:

- Baja aplicabilidad cuando el alineamiento de la tubería presenta cambios significativos.
- Vibraciones atribuidas al equipo de halado pueden generar daños en la infraestructura aledaña.
- Se debe tener un plan provisional de conexiones, pues las mismas deben ser desconectadas mientras se lleve a cabo el procedimiento (MacKenzie).

4.4.1.4 AVANCES DEL PIPE BURSTING

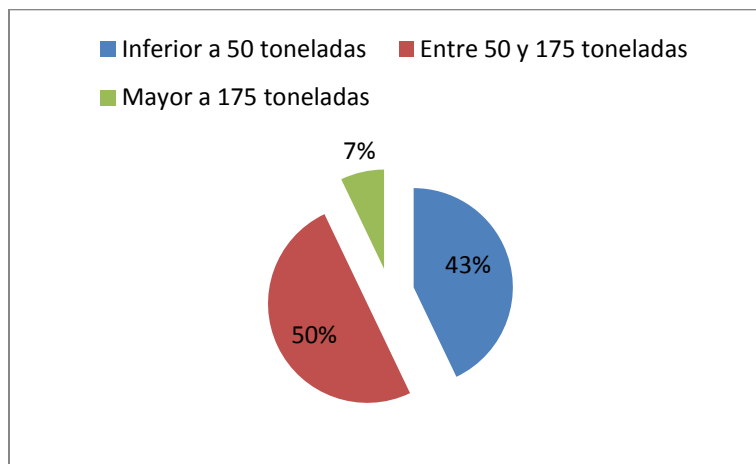
Actualmente, las empresas que llevan a cabo dicha técnica sortean un limitante técnico importante, y es que en países del Tercer Mundo, como Colombia, los avances tecnológicos desarrollados en las naciones industrializadas aun no son aplicables, generalmente por razones de costos. Razón por la cual, es necesario improvisar en muchos pasos del procedimiento y generar errores en el resultado del mismo.

Dentro del equipo del Pipe Bursting, uno de los elementos más importantes es la cuchilla de corte, puesto que está dispuesta con el fin de romper la tubería a ser renovada y permitir el paso de los demás componentes de dicho sistema. Sin embargo, actualmente en países como Colombia, sólo existen cuchillas con capacidad de corte para tuberías de asbesto cemento y polietileno. Por lo cual, cuando se quiere intervenir alguna tubería de algún otro material, de seguro se generaran problemas de corte atribuidos con el diseño de la cuchilla.

Por esta razón, uno de los avances proyectados en la industria para los próximos años, es el diseño y construcción de varios tipos de cuchilla, las cuales tendrán dentro de sus propiedades especiales la capacidad de corte, no solo de asbesto cemento y polietileno, sino de acero y cobre. Lo fundamental de dicho avance es la preocupación en la industria por mantener un precio competitivo, por lo cual esperar que su aplicación en países subdesarrollados sea un éxito es casi seguro (Ramírez, 2012).

Otro de los avances proyectados en la industria tiene que ver con el equipo dispuesto para llevar a cabo el halado de la tubería. Actualmente, dichas unidades de potencia están divididas en tres grupos: capacidad inferior a 50 toneladas, entre 50 y 175 toneladas y mayor a 175 toneladas de capacidad, donde cada capacidad depende del diámetro de tubería a ser renovada, teniendo en cuenta que a mayor diámetro la maquinaria será más costosa.

En el mundo, existe una tendencia de compra de maquinaria por precio, y no por necesidad y compatibilidad de proceso. Razón por la cual, la demanda de maquinaria no es homogénea, y se han presentado problemas recurrentes cuando se llevan a cabo renovaciones en tuberías con diámetros mayores a los que la maquinaria está diseñada para trabajar.



Gráfica 25. Demanda de maquinaria a nivel mundial. (Ariaratman , Lueke, & Michael, 2012)

Como se puede ver en la Gráfica 25, actualmente la demanda mundial está constituida, en más de un 90%, por máquinas diseñadas para intervenir tuberías hasta de 10 pulgadas (175 Toneladas).

Lo anterior es la razón principal para que los principales fabricantes a nivel mundial estén desarrollando sistemas de halado y unidades de potencia de alta capacidad a un precio más económico, con el fin de proporcionarle a los compradores la facultad de intervenir tuberías hasta de 18 pulgadas, sin generar un costo extremadamente elevado, en comparación al precio generado cuando se lleva a cabo la renovación de una tubería con diámetros de 3 hasta 10 pulgadas (Ariaratman , Lueke, & Michael, 2012).

4.4.2 CIPP

El curado de tubería in situ (CIPP), es una metodología usualmente usada para intervenir sistemas de alcantarillado, agua potable y gas. Dicha técnica debe ser efectuada siempre de noche, puesto que según el criterio técnico, leves alzas en la temperatura o pequeños rayos de sol que llegasen a afectar a la tubería podrían acelerar el curado, lo que generaría malformaciones en la misma.

Inicialmente, es fundamental llevar un proceso de remoción de impurezas y limpiado en la tubería existente, con el fin de remover corrosión y deterioro superficial en la misma. Una vez la tubería está en condiciones de intervenir, todas las conexiones laterales deben ser sacadas de operación, con el fin de facilitar el procedimiento.

Luego de haber desconectado las conexiones, forros de poliéster son fabricados, teniendo en cuenta la necesidad de que los mismos se adapten perfectamente a la sección de la tubería original.

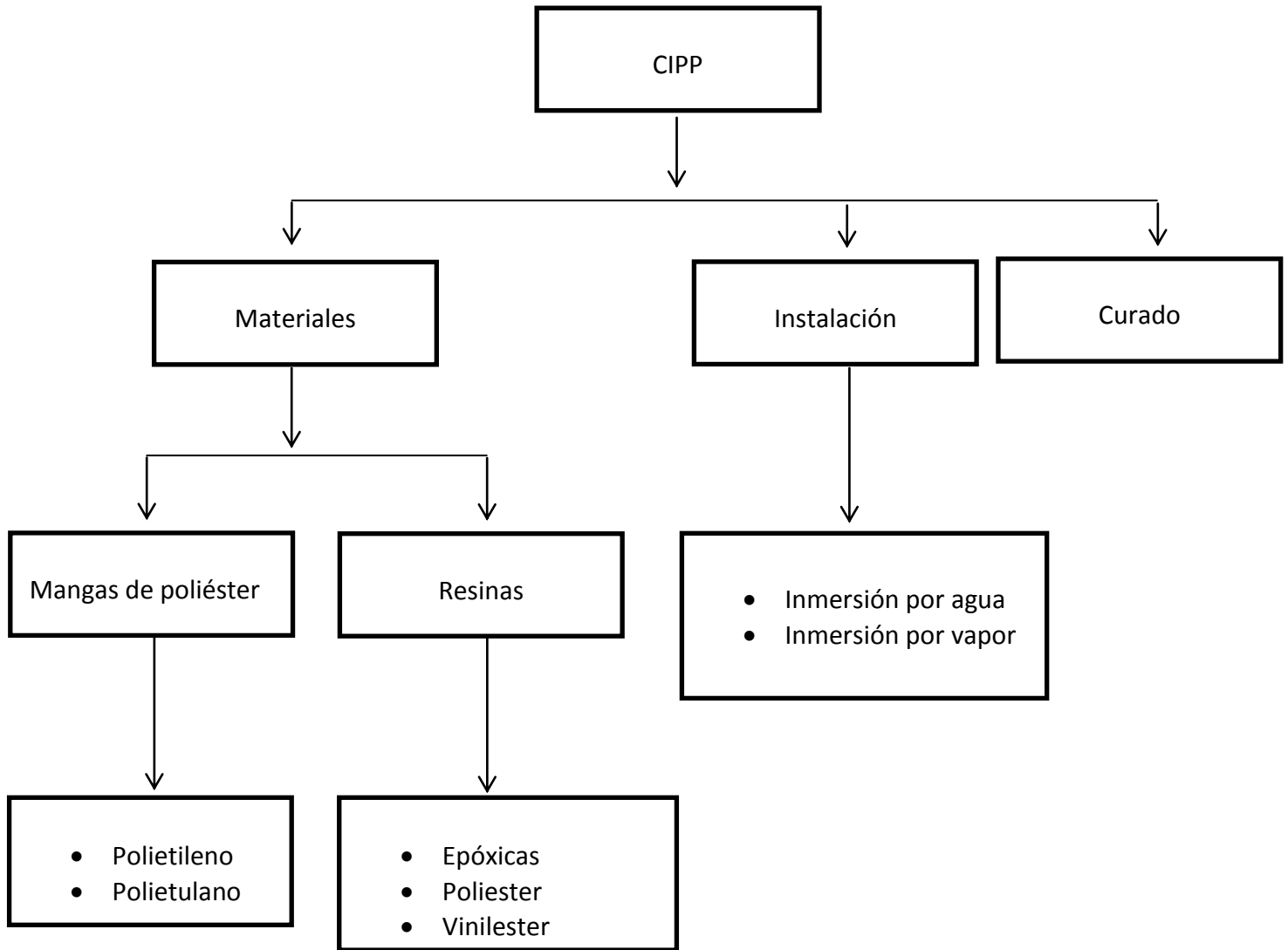
Una vez la fase de acondicionamiento y producción de materias primas está terminada, se procede a extender la totalidad de la manga de poliéster en una zona plana, con el fin de impregnar las resinas (impregnación).

Si las resinas que se tiene estipulado usar en el procedimiento son epóxicas, el proceso de curado debe ser a 120 grados centígrados durante 5 horas. Por otro lado, si las resinas usadas son de poliéster, el proceso de curado debe ser a 120 grados centígrados durante 14 horas.

Es importante tener en cuenta que las resinas, independiente de su tipo, deben mantenerse refrigeradas, como mínimo, 24 horas antes de su aplicación. De lo contrario, se podrían generar problemas en el proceso de curado.

Finalmente, una vez las resinas han sido propagadas en la totalidad del forro de poliéster, se procede a introducir dicha estructura en la tubería vieja por medio de máquinas de halado y potencia. Por último se hace uso de procesos de inmersión en agua o aire a temperaturas elevadas, con el fin de curar las resinas y permitir que la tubería quede en estado para empezar su uso cotidiano perfectamente.

A continuación, se hará uso de la Gráfica 26 para ilustrar los componentes de dicho procedimiento.



Gráfica 26. Componentes del CIPP (ICTIS, CIPP, 2012).

4.4.2.1 VENTAJAS

Pueden ser muchas las ventajas que la metodología en cuestión ofrezca sobre las demás. Sin embargo, existen dos características muy conocidas, y por las cuales dicha técnica se ha consolidado como una de las más usadas a nivel mundial.

La primera hace referencia a la necesidad de no llevar a cabo ninguna excavación durante la ejecución del procedimiento. Dicha característica le ha servido para ubicarse en la lista de metodologías más verdes, según la ISTT.

La segunda ventaja que el CIPP tiene para ofrecer es el tiempo que la obra necesita para ejecutarse. En comparación a otras de las tecnologías y metodologías más usadas a nivel mundial, como lo son el Pipe Bursting y Close-Fit, el curado de tuberías in situ ofrece una reducción temporal de casi el 20%, por lo cual las interrupciones en tráfico y movilidad se ven considerablemente disminuidas.

4.4.2.2 DESVENTAJAS

La metodología de curado in situ puede generar problemas ambientales severos, tal como lo explica BM Donaldson en su artículo denominado “Environmental Implications of Cured-in-Place Pipe Rehabilitation Technology” se ha demostrado que al cabo de un año, los residuos de las resinas usadas para curar la tubería exceden 0,1 mg/L, lo que es superior al límite de contaminantes establecido por la Agencia para la Protección Ambiental (Donaldson, 2012).

Las razones para que se generen dichos problemas pueden ser; mala preparación de la resina, déficit en el tiempo de curado y algún grado de permeabilidad en las paredes de la tubería. Como consecuencia directa de dichos residuos, estados como Virginia en U.S.A., han prohibido el uso del CIPP, y en algunos casos, han modificado partes del procedimiento, con el fin de permitir su uso.

Adicionalmente, hay que tener en cuenta que dicho procedimiento exige un conocimiento técnico avanzado. Los operarios deben tener un conocimiento completo de los compuestos químicos y del proceso de curado. Razón por la cual, no solo el proceso de interventoría se hace más costoso, sino la misma aplicación de la metodología en muchos casos es económicamente inviable.

4.4.2.3 AVANCES DEL CIPP

Inicialmente, es importante hacer referencia a los tipos de resina que actualmente existen en el mercado para llevar a cabo el proceso del CIPP.

Tabla 5. Servicio ambiental y resinas para curar tuberías. (Kozman & Technik, 2012)

<i>Servicio ambiental/Resina</i>	Poliéster	Vinilester	Epóxicas
General	X	X	X
Industrial		X	X
Altas presiones		X	X
Altas temperaturas		X	X

Como se pueden ver en la tabla 5, de los tres tipos de resina existentes, sólo la Vinilester y Epóxica ofrecen una aplicabilidad completa, mientras que las resinas de Poliéster, a pesar de tener un uso general, no presentan una aplicabilidad específica.

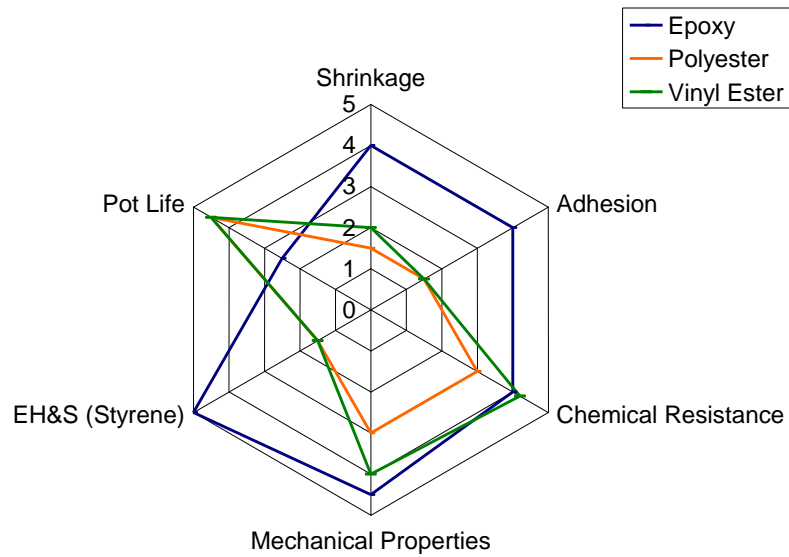
Con respecto a las características de cada resina, se puede concluir que las resinas de Poliéster y Vinilester se caracterizan por tener una buena reactividad, aunque es de tener en cuenta que las propiedades mecánicas de cada muestra son inferiores al promedio, por lo que la resistencia química de la resina se ve seriamente afectada.

Además, el curado de dichas resinas está determinado en un intervalo extenso de temperatura, por lo que llevar un control se hace más difícil. Y finalmente, se considera que dichos compuestos sufren de una polimerización radical, lo que da lugar a moléculas de gran peso, siendo difícil su estabilización (Kozman & Technik, 2012).

Las características expuestas anteriormente han ocasionado que se trate de avanzar en el uso de resinas epóxicas, puesto que las últimas ofrecen ventajas considerables como:

- Extrema resistencia a la corrosión.
- Extrema resistencia contra una amplia gama de químicos (ácidos, bases y solventes).
- Versatilidad en su proceso de curado (Curado de ambiente y curado a calor).
- Muy buena adhesión a metales, concreto y polímeros.
- Muy estable bajo cualquier rango de temperatura.
- Mejora la durabilidad del sistema.
- Minimiza impacto ambiental.

Si se llegasen a comparar las resinas de uso cotidiano (Poliéster y Vinilester), con las resinas epóxicas, actualmente desarrolladas por los fabricantes a nivel mundial, se encontrarían los siguientes resultados:



Gráfica 27. Comparación de cada resina. (ICTIS, CIPP, 2012)

Como se puede ver en la Gráfica 27, si se evalúan características como adhesión, resistencia química, propiedades mecánicas y contracción, las resinas epóxicas presentan cualidades mucho más avanzadas que las resinas de Vinilester y poliéster. Por otro lado, si se compara el tiempo de curado, es evidente que las resinas epóxicas presentan un límite temporal inferior a las demás.

Las anteriores razones han hecho que actualmente se fabriquen resinas epóxicas en gran cantidad, puesto que no solo presentan ventajas sobre las demás resinas, sino que hacen del CIPP un procedimiento calificado y muy apreciado por la industria de tecnologías sin zanja. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta que el costo de dichas resinas es muy elevado, por lo que a pesar de presentar muchos beneficios, no son viables para gran cantidad de fabricantes y usuarios de dicha tecnología.

4.4.3 CLOSE – FIT

La metodología del Close-fit o Slipinning modificado consiste en la instalación de tuberías de polietileno en tres fases diferentes; inicialmente, es necesario doblar la sección transversal de la tubería mediante procesos térmicos, teniendo en cuenta que dicha sección volverá a su estado normal aprovechando el efecto de memoria que tiene el polietileno; posteriormente se procede a insertar la tubería en estado deformado dentro de la tubería existente, para finalmente, darle su forma original mediante inyección de vapor a altas temperaturas. De esta forma la tubería queda completamente adherida a las paredes de la antigua sección (Ávila Lemus, 2012).

4.4.3.1 VENTAJAS

- Como no es necesario hacer un cambio completo de la tubería dañada, los rendimientos temporales y económicos de la obra son mayores.
- El daño a tuberías existentes, andenes e infraestructura adyacente se ve reducido, ya que las excavaciones son mínimas y no es necesaria la utilización de equipo dinámico para la instalación de la tubería de polietileno.

- Se genera una reducción considerable en los materiales de desecho, así como en su transporte y acumulación en botaderos (MacKenzie).
- Se pueden lograr instalaciones de hasta 800 m en una sola sesión.

4.4.3.2 DESVENTAJAS

Con respecto a las desventajas que dicho procedimiento genera, existe una muy popular, la cual es causante, en gran parte, de que exista escepticismo en algunos contratistas y no se vea al Close-Fit como una alternativa indicada en muchos casos.

Dicha desventaja es la reducción en diámetro que se genera en la nueva tubería, lo que podría ser una causa directa de la disminución en la capacidad hidráulica de la red, lo que no solo afectaría el comportamiento de la tubería rehabilitada, sino que afectaría a todas las personas que se beneficien con el suministro de agua diariamente.

Sin embargo, existen opiniones divididas acerca de este concepto, según Barber ME, Bakeer RM y Sever VF, en su artículo denominado “Effect of close-fit on the hydraulic capacity of a pressurized pipeline”, la capacidad hidráulica de una red rehabilitada mediante la metodología del Close-Fit no se ve afectada, puesto que con base en numerosas pruebas de laboratorio, para una tubería que presente condiciones de deterioro significativas, dicha alternativa es una metodología de intervención ideal, ya que puede disminuir su diámetro, pero disminuye significativamente la rugosidad relativa en

las paredes internas de la tubería y optimiza el paso del agua a través de la misma (Barber, Bakeer, & Sever, 2012).

Además de lo anterior, es necesario tener en cuenta que:

- Cuando existen cambios significativos en el alineamiento de la tubería la metodología no es aplicable (MacKenzie).
- Es necesario siempre hacer un análisis de capacidad de flujo, independiente de la reducción en diámetro no se considera pueda afectar el comportamiento de la red.

4.4.3.3 AVANCES DEL CLOSE – FIT

Con respecto a los avances que dicha metodología ha presentado en los últimos años, no es mucha la información disponible, puesto que el proceso es muy simple y no se han logrado hacer modificaciones que alteren positivamente el mismo.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que los fabricantes del Close-Fit tienen como principal objetivo seguir investigando las propiedades químicas del Polietileno, ya que como es conocido, dicho compuesto es el polímero más simple y uno de los plásticos más conocidos y usados a nivel mundial. Razón por la cual, si se llegasen a investigar y posteriormente explotar completamente cada una de sus características, el proceso de reducción y expansión del mismo se optimizaría, se reducirían tiempos de obra y se reconducirían costos (Pérez, 2012).

5 CONCLUSIONES

A pesar de que el uso de las nuevas metodologías y tecnologías para la renovación y/o rehabilitación de sistemas de agua potable ha presentado un aumento significativo en los últimos 10 años, es preocupante el atraso existente en Colombia, puesto que el uso de dichas técnicas apenas se está evaluando e implementado en algunos casos aislados.

Estados Unidos es el país donde se ha presentado, no solo el mayor porcentaje de uso de dichas metodologías, sino el mayor crecimiento de las mismas a lo largo de los últimos 15 años.

Todas las metodologías y tecnologías estudiadas son alternativas aptas para llevar a cabo trabajos de renovación y rehabilitación de sistemas de agua potable, e independientemente de cuales sean las más populares a nivel mundial, todas son diferentes, y su uso depende de características sociales, económicas y topográficas de la zona en donde se piense llevar a cabo el procedimiento.

Con base en los datos estadísticos presentados, y en las consideraciones expuestas por los expertos entrevistados, el Pipe Bursting, el CIPP y el Close-Fit, son las metodologías más promisorias, no solo a nivel local, sino mundial. Lo anterior se concluye, no solo con base al porcentaje de uso de dichas técnicas en U.S.A. Europa, Asia y Colombia, sino en los avances proyectados en la industria para dichas técnicas, puesto que se espera que dichos progresos permitan que la popularidad de las metodologías propuestas aumente considerablemente en un mediano y largo plazo.

Teniendo en cuenta las alternativas que ofrece la construcción sin zanja (instalación de nuevas redes, renovación y rehabilitación), se concluye que para el caso Colombiano, la alternativa preferida por los constructores es la instalación de nuevas redes, representada por el elevado porcentaje de perforaciones horizontales dirigidas llevadas a cabo en el país, dejando como última opción procesos de renovación y/o rehabilitación como el Pipe Bursting y CIPP.

La aplicación de metodologías y tecnologías sin zanja es fundamental para lograr llevar a cabo obras en las cuales se tenga como objetivo principal mantener ininterrumpido el comercio actual de la zona en donde se está llevando a cabo el procedimiento. Además, la aplicación de dichas técnicas es fundamental para mantener niveles ambientales óptimos, puesto que las mismas contribuyen, no solo a reducir los niveles de excavación, sino a reducir los niveles de contaminación generados en procesos muy usados como el de zanja abierta.

6 RECOMENDACIONES

Se recomienda tener en cuenta el uso de las metodologías descritas para llevar a cabo procedimientos de renovación y rehabilitación de sistemas de agua potable, puesto que en comparación a la técnica de zanja abierta, las metodologías expuestas reducen el costo total de la obra, no generan interrupciones en el tráfico de la zona y presentan índices de contaminación inferiores.

Adicionalmente, es fundamental que en la Industria Colombiana se genere una cultura que beneficie el uso de dichas metodologías. Lo anterior es fundamental para dejar de lado el escepticismo actual existente hacia la aplicación de dichas técnicas, se aumente el número de obras en donde su uso sea un requisito, y se favorezcan a las industrias y transeúntes que día a día ven como su cotidianeidad se ve afectada por obras donde se llevan a cabo procesos de zanja abierta.

Finalmente, es importante no descartar ninguna alternativa cuando se esté llevando a cabo un proceso de renovación y rehabilitación, puesto que a pesar de que el Pipe Bursting es el procedimiento más versátil y económico, no necesariamente es aplicable en la totalidad de casos, por lo cual, es necesario tener conocimiento de la totalidad de metodologías, con el fin de tener un criterio técnico suficiente, por medio del cual se pueda concluir cuáles metodologías presentaran un funcionamiento óptimo, y bajo qué condiciones.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Acueducto de Bogotá. (2012). *Estadísticas de uso de tecnologías sin zanja*. Bogotá.
- Ariaratman , S., Lueke, j., & Michael, J. (2012). Current trends in pipe bursting for renewal of underground infrastructure systems in North America. *Tunnelling and Undergroud Space Technology* .
- Ávila Lemus, C. (2012). *NUEVAS METODOLOGÍAS Y TECNOLOGÍAS PARA LA RENOVACIÓN /REHABILITACIÓN DE TUBERÍAS EN SISTEMAS DE AGUA POTABLE*. Bogotá.
- Baosong, M., & M, N. (2008). Development and applications of trenchless construction in China. *Tunnelling and Undergroud Space Technology* .
- Barber, M., Bakeer, R., & Sever, V. (2012). Effect of close-fit on the hydraulic capacity of a pressurized pipeline. *Tunnelling and Undergroud Space Technology* .
- D, M., & LG, L. (2012). Horizontal Directional Drilling: A Green and Sustainable technology for Site Remediation. *Enviromental Science&Technology* .
- Donaldson, B. (2012). Environmental Implications of Cured-in-Place Pipe Rehabilitation Technology . *Enviromental science&technology* .
- Gómez, Y. (7 de Agosto de 2012). La red de acueducto y alcantarillado de Bogotá tiene más de medio siglo. *El Tiempo* .
- Hidráulica, X. C. (2012). Renovación vs Rehabilitación.
- ICTIS. (2012). CIPP. *Segundo congreso Latinoamericano de tecnologías sin zanja*. Bogotá.
- ICTIS. (2012). Tendencia de uso de cada tecnología y metodología en Colombia. *Segundo congreso Latinoamericano de tecnologías sin zanja*. Bogotá.
- ISTT. (s.f.). ISTT Diagram. *Underground Construction Techniques* .

Jurgens, J. (2012). What Are the Trenchless Experts' Thoughts about How the Industry Has Grown? *Trenchless Magazine* .

Kozman, D., & Technik, R. (2012). 21st Century Resin Alternatives for Pipe Rehabilitation .

LTDA, T. (2012). *Elementos del Pipe Busting*. Bogotá.

LTDA, T. *Procedimiento del Pipe Busting*. Bogotá.

LTDA, T., PAVCO, & TECNODUCTOS. (2012). *Estadísticas de uso de tecnologías sin zanja*. Bogotá.

MacKenzie, A. *Viabilidad de las nuevas metodologías para la renovación y rehabilitación de tuberías*. Bogotá.

Orton, C. (2012). What Are the Trenchless Experts' Thoughts about How the Industry Has Grown? *Trenchless Magazine* .

Osborn, L. (2012). What Are the Trenchless Experts' Thoughts about How the Industry Has Grown? *Trenchless Magazine* .

Pérez, M. (2012). *Entrevista PAVCO S.A.* Bogotá.

Ramírez, E. (2012). *Entrevista*. Bogotá: Treltec TLDA.

Ready, S. (2012). Social benefits of pipe bursting: A View From the Field. *International Pipe Bursting Association* .

S.A., C. P. (2012). *Proceso Janssen*.

Technologies, K. W., Group, W., & Holding, R. (2012). *Longitud de tubería intervenida*. ISTT.

Timberlake, M. (s.f.). Pipe Bursting Myths and Misconceptions. *International Pipe Bursting Association* .

Veatch, B. &, MWH, & McDonald, H. M. (2012). *Estadísticas de tubería intervenida*. ISTT.

WAVIN. (2012). *Compact Pipe Design manual Pressure*.

Wu, M.-C., Tung, P.-C., & Hsieh, T.-Y. (2011). Improvement of the horizontal directional drilling method by using an autonomous land vehicle with a radio direction finding system. *AUTOMATION IN CONSTRUCTION* .

Zaneldin, E. K. (2006). Trenchless construction: An emerging technology in United Arab Emirates. *Tunnelling and Underground Space Technology* .