

# **RIESGOS PREVISIBLES EN LA REHABILITACIÓN DE TUBERIAS DE ALCANTARILLADO**



## **AUTOR**

JUAN MANUEL GÓMEZ LÓPEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

## **INGENIERIA CIVIL**

Director:

**KELLY ANDREA RODRIGUEZ POLO**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA**

**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**

**BOGOTÁ, 16 FEBRERO 2021**

## **Resumen:**

Este ensayo busca desde una óptica muy cercana al proceso constructivo de una tecnología reciente en Colombia para la rehabilitación de redes de alcantarillado denominada método SPR-EX, dar a conocer la importancia que tiene en Colombia la adopción de esta tecnología para la rehabilitación de redes de alcantarillado y que las partes interesadas en la rehabilitación de redes de alcantarillado, especialmente en el método SPR-EX, adopten una serie de lineamientos que les permita evitar desvíos en los resultados esperados, así como el cumplimiento de las normas y especificaciones técnicas. Para ello, se contextualiza detalladamente sobre el proceso constructivo y se aplican herramientas que hacen parte del análisis de riesgos con el fin de identificar los riesgos previsibles que hacen parte del proceso constructivo. Con herramientas como la norma técnica colombiana NTC – ISO 9001 -2015 se establecen los lineamientos básicos para tratar de mitigarlos, todo ello debido a que la normativa y regulación nacional recién se está adecuando para el uso de una tecnología que tiene el potencial de convertirse en el principal método de rehabilitación de redes en Colombia debido a su costo relativamente bajo frente a otros competidores del mercado.

*Palabras Clave: Tecnología sin zanja, Rehabilitación de redes de alcantarillado, Método SPR-EX, Riesgos previsibles, Norma técnica Colombiana NTC – ISO 9001 -2015. CIPP-GPR.*

## **Introducción**

Según Pannirselvam, M., Shu, L., Griffin, G., Philip, L., Natarajan, A., & Hussain, S. (Eds.). (2018). Spiral wound Liners es una tecnología para la rehabilitación de redes de alcantarillado usada comúnmente en Australia, Japón y Estados Unidos de América. Spiral wound Liners tiene más de 30 años de historia, su tecnología fue originada en Australia en los años 80 y mejorada en Japón en esta misma década, en 1996 fue introducida en Estados Unidos de América, llegando a rehabilitar más de 900 kilómetros de tubería y en el mundo se han rehabilitado más de 6000 kilómetros de tubería. De acuerdo a minuta de contrato 1-01-33100-01324 de 2017 consultada a través del sistema de información de licitaciones

“SIL” de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, se pretenden desde el año 2018 rehabilitar más de 20 kilómetros con esta tecnología.

Con tan solo dos años de la implementación de la tecnología sin zanja para la rehabilitación de las redes de alcantarillado, denominada Spiral wound Liners método SPR-EX, hasta ahora se están adaptando los requerimientos y especificaciones en términos locales, al consultar la norma técnica de la EAAB NS-170 que establece las especificaciones técnicas para tres métodos de rehabilitación entre ellos SPR-EX, se evidencia que el documento fue creado el 02 de octubre de 2018 y el contrato 1-01-33100-01324 de la EAAB en el cual se adopta esta tecnología, fue adjudicado en diciembre de 2017). Por lo anterior se requiere que las partes interesadas en este método cumplan las especificaciones técnicas y los estándares de calidad para garantizar el éxito y permanencia de esta tecnología en Colombia. Como parte del aseguramiento de la calidad en este ensayo se abordan los posibles riesgos previsibles asociados al proceso constructivo, y con herramientas como la NTC ISO 9001 (2015), se determina el tratamiento para mitigarlos.

Se preguntarán entonces ¿Qué es el riesgo?, según con De Leon, J. G. M. P. (2007). El riesgo, se entiende como la combinación entre probabilidad y frecuencia de que ocurra un evento específico de consecuencias o impacto no deseable en cualquier campo de aplicación. De acuerdo con De Leon, J. G. M. P. (2007). La administración del riesgo, permite identificar, evaluar, tratar y monitorear el riesgo con el fin de mitigar la ocurrencia de un evento no deseado y de su impacto. Como parte de este ensayo y de la administración del riesgo se identificarán los riesgos previsibles que hacen parte del proceso constructivo “Método SPR-EX” y se determina el tratamiento de las causas que pudieran generar la ocurrencia de los riesgos, dejando de lado la evaluación del riesgo por no contar con datos necesarios para su análisis, de igual forma este ensayo no pretende la implementación de un sistema de gestión o metodología debido a su complejidad y extensión para este ensayo.

Para la identificación de los riesgos, primero se debe conocer el contexto en el cual se desarrolla, para este caso el contexto es el proceso constructivo del método SPR-EX, de allí se partirá con las metodologías para la identificación de causas- efecto, como la espina de pescado y los cinco por qué, para así exponer los posibles escenarios y su tratamiento con

el apoyo de las herramientas previstas en la norma técnica colombiana NTC ISO 9001. (2015).

¿y qué importancia tiene todo esto?, la rehabilitación de redes de alcantarillado hace parte del saneamiento básico de una ciudad y por lo tanto también hace parte de la salud de una población, de acuerdo a la minuta de contrato 1-01-33100-01324 de 2017 consultada a través del sistema de información de licitaciones “SIL” de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, el método SPR-EX es un 40% más económico con respecto a la tecnología sin zanja CIPP-GRP usualmente empleada para la rehabilitación de redes de alcantarillado para los mismos diámetros de tubería, adicional a ello, el método SPR-EX representa un menor impacto ambiental con respecto a su competidor CIPP-GRP como se puede evidenciar al comparar los materiales involucrados en la fabricación según la norma técnica ASTM F1697. (2008) “Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Profile Strip for Machine Spiral-Wound Liner Pipe Rehabilitation of Existing Sewers and Conduit” y ASTM F2019. (2003). “Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Pulled in Place Installation of Glass Reinforced Plastic (GRP) Cured-in-Place Thermosetting Resin Pipe (CIPP)” respectivamente. Lo anterior representa que esta tecnología tiene el potencial para expandirse por todo el país, de allí la importancia de conocer el proceso constructivo y los riesgos previsibles con el ánimo de evitar desvíos en la calidad del producto terminado.

## **TECNOLOGÍA SIN ZANJA - SPIRAL WOUND LINERS - MÉTODO SPR-EX**

Con el paso de los años las tuberías de la red de alcantarillado ubicadas en las ciudades envejecen y pierden su capacidad de trabajo, por lo que requieren de intervenciones de remplazo, reparación y/o renovación de la infraestructura para recuperar su funcionalidad. De acuerdo a Shammass, N. K., & Wang, L. K. (2010), los deterioros pueden ser causados por grietas, asentamientos, intrusión de raíces de árboles, y otras perturbaciones que se desarrollan por el funcionamiento propio de la tubería, adicional a ello se genera la infiltración de aguas en la tubería creando un aumento de la carga hidráulica que empeora en temporada de lluvias. Según Najafi, M. (2008), Las alcantarillas y drenaje se encuentran entre los elementos cruciales para el funcionamiento sanitario de una ciudad, es decir, que

son de vital importancia para el saneamiento básico y la salud de personas, por lo cual es necesario generar planes que permitan mantenimientos preventivos y correctivos.

Para la rehabilitación de las redes de alcantarillado, como parte de los mantenimientos correctivos, de acuerdo a Shammass, N. K., & Wang, L. K. (2010), se cuenta con el método tradicional de excavación a zanja abierta y el uso de tecnologías sin zanja como Sliplining, Tubería curada en sitio (CIPP) y Sipral Wound Liners, entre otros, la ventaja de estos métodos con respecto al método tradicional a zanja abierta, son el empleo de la tubería existente como un anfitrión, lo cual genera menor impacto ambiental y del tráfico.

La tecnología sin zanja Spiral wound Liners según Parcher, M. J. (1997), consiste en el revestimiento de la tubería huésped con una cinta continua, fabricada de PVC o HDPE y extruida con una junta que, al ser enrollada mecánicamente, reviste la tubería anfitriona. De acuerdo a la sección transversal del interior de la tubería, existen tres métodos derivados de esta tecnología que se diferencian fundamentalmente en la máquina para enrollado de la cinta y en el proceso de aplicación, que puede ser con la máquina de bobinado estática o en movimiento, adicional al proceso de bobinado, en dos de los tres métodos se requiere de una lechada de mortero para eliminar el espacio anular entre la tubería huésped y la nueva tubería.

SPR-EX, por sus siglas en inglés Sewer Pipes Rehabilitation - Expansion, es uno de los tres métodos derivados de la tecnología Spiral wound Liners para la rehabilitación de tuberías de alcantarillado sin zanja (Ver figura 1), Según Fujii, S. (1992). el 7 de abril de 1992 este método fue patentado en Estados Unidos bajo la patente número 5101863 por la empresa australiana Rib Loc Australia Pty. Ltd. Posteriormente fue desarrollado por la empresa japonesa Sekisui Chemical Co.Ltd. bajo el nombre de SPR-EX, Según Interflow. (2006). el método SPR-EX se caracteriza por trabajar en tuberías huésped de sección transversal circular con diámetros entre las 6 y 42 pulgadas y con presencia de flujo hasta de un 25% con respecto a la sección transversal de la tubería, la máquina de bobinado SPR-EX permanece estática en el punto inicial del tramo de tubería, y el proceso de expansión produce que la tubería enrollada reduzca el espacio anular entre la tubería anfitriona y la tubería enrollada, por lo que no requiere de inyección de lechada de mortero.

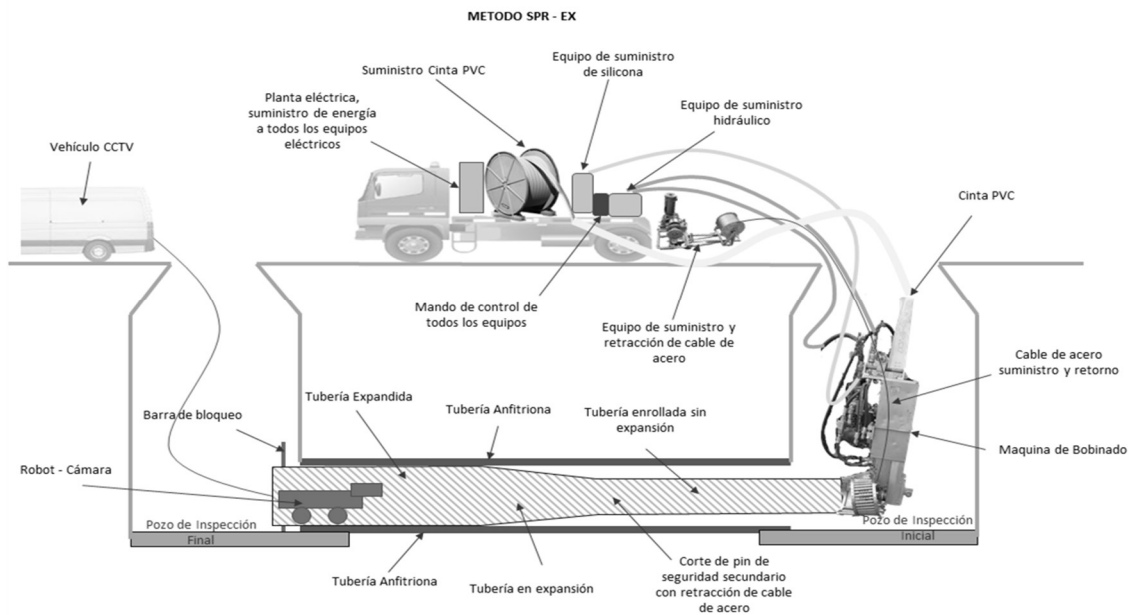


Figura 1. Método SPR-EX. Fuente: Propia

El siguiente proceso constructivo, es producto de la recopilación de información contenida en la norma técnica NS-170. (2018) “Requerimientos de Construcción para la rehabilitación de redes de alcantarillado con revestimiento enrollado en espiral (Spiral Wound) EAAB”, ficha técnica del fabricante Sekisui Chemical Co.Ltd. (2018). “Machine spiral wound pvc liner using the SPR™ EX method”, la norma técnica ASTM F 1741. (2002). “Installation of Machine Spiral Wound Poly (Vinyl Chloride) (PVC) Liner Pipe for Rehabilitation of Existing Sewers and Conduits”;

A continuación, se describe el proceso constructivo del Método SPR-EX como parte de la administración del riesgo con el fin de establecer el contexto que permitirá entender los posibles escenarios que desencadenarían en un producto no conforme.

### Procedimiento previo a la instalación:

1. limpieza preliminar: del interior de la tubería a rehabilitar con el fin de eliminar sedimentos, piedras sueltas y cualquier otro material que pueda interferir con la inspección por circuito cerrado de televisión CCTV a través de un robot, para esta

actividad se deberá contar con un vehículo dotado con sistema de succión y presión de agua, del tipo Vactor.

2. Inspección con robot con circuito cerrado de televisión CCTV: del estado de la tubería de acuerdo a criterios y requisitos de la norma técnica NS-058, 2020 EAAB “Aspectos técnicos para la investigación y clasificación de redes de alcantarillado con equipos de CCTV”.

Aquí se identifican y evidencian el tipo de fallas que presenta la tubería, así como las conexiones entrantes presentes, también se tomaran decisiones de tipo técnico de la viabilidad y método de rehabilitación. Es necesaria la correcta calibración de la sonda de medición del equipo al ingresar en la tubería para que la información recolectada sea precisa, los planos de detalle y videos generados serán relevantes en los procesos posteriores a la instalación para la apertura de las conexiones existentes.

Para esta actividad se requiere de muy poca presencia de flujo, si es necesario se deberá obturar las entradas a flujo que pudieran generar aumento en los niveles de del flujo en el tramo a inspeccionar. La imagen de la cámara y el video generado deben ser de alta calidad, de acuerdo a la norma técnica EAAB NS-170, si la imagen no es buena se deberá realizar un cambio del equipo y una nueva inspección.

El vehículo para la inspección por CCTV estará dotado de planta eléctrica de soporte, computadoras, y lo más importante un robot (*Ver figura 1*) con: luces led,

Cámara oscilo giratoria con zoom, Sonda transmisora para localización en la superficie, Medición de distancia e inclinación.



*Figura 1. Robot de Inspección. Fuente: <http://www.panatec-agua.com>*

3. Eliminación de Obstrucciones: Consiste en perfilar la tubería existente con un robot que cuenta con una maquina fresadora (*ver figura 2.*), la cual permite eliminar excesos de concreto, piedras depósitos de sedimentos sólidos, perfilar desplazamientos radiales o longitudinales en las juntas de la tubería (ASTM 1741-02, Se consideran obstrucciones cuando son superiores al 12.5% del diámetro interno de la tubería, generalmente se presentan en las juntas entre tubo y tubo que conforman una tubería) , conexiones penetrantes, depósitos de grasa adheridos a la pared interna de la tubería y cualquier imperfecto que pudiera causar problemas en la instalación. El vehículo para esta actividad debe estar dotado con un compresor, planta eléctrica, computadora y robot de fresado con cabeza de rotación de 360 grados.

Cuando exista una obstrucción que no pueda ser eliminada por el robot con fresadora, o cuando exista una pérdida de la línea longitudinal con respecto a la horizontal que represente una pendiente negativa en la tubería e impida el correcto flujo, se deberá realizar reparación puntual del tramo con excavación a zanja abierta.

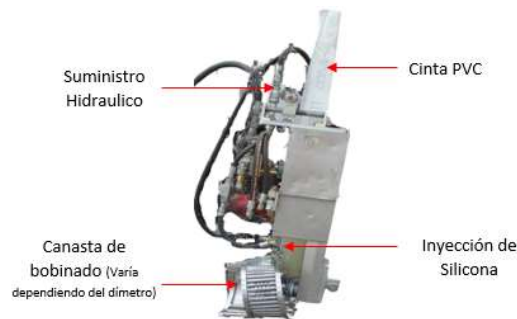


*Figura 2. Robot con fresadora. Fuente: <http://www.panatec-agua.com/robots-fresado.php>*

4. Inspección por CCTV del tramo a rehabilitar: con este paso se realiza la liberación para la instalación, la tubería debe estar libre de objetos extraños, sedimentos, piedras, grasas adheridas a las paredes de la tubería, materiales sueltos, raíces. Según requerimientos de NS-170. (2018) literal 4.3.5, Si existen infiltraciones de agua al interior de la tubería debido a nivel freático u otras causas como tubería de agua potable fisurada u otras redes aledañas que pudieran estar generando la infiltración, estas deberán subsanarse y repararse, también las conexiones erradas deberán ser taponadas antes de la instalación. Los tramos que presentan curvas leves pueden ser rehabilitados con SPR-EX, Si el tramo presenta varias curvas deberá consultar con el fabricante de la cinta. La tubería podría sufrir pandeos y deformaciones durante la instalación que causarían la pérdida del material (Cinta PVC, cable de acero y Silicona) de no tenerse en cuenta estos aspectos.

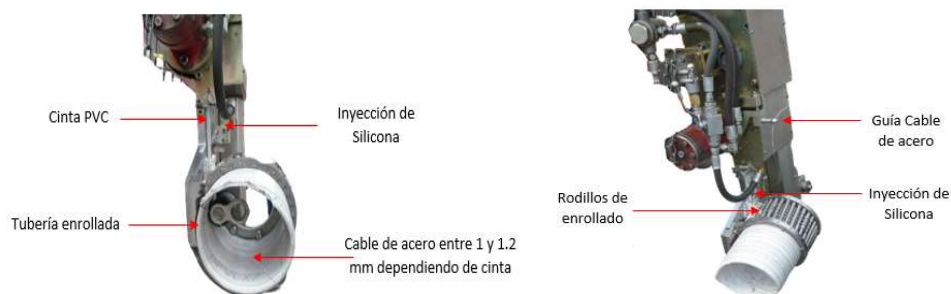
### **Procedimiento de Instalación Spiral wound Liners – Método SPR-EX.**

1. Preparación de la máquina de bobinado: antes de ingresar la máquina de bobinado (*Ver figura 3*) al pozo de inspección inicial, se toma la cinta de PVC del carrete, y se realizar un corte en cuña en el extremo, luego se inserta la cinta en la máquina de bobinado junto con el cable de acero. según la norma técnica NS-170. (2018). la cinta debe estar fabricada bajo la ASTM F1697 y ASTM F2562.



*Figura 3. Preparación Inicial Máquina de bobinado SPR-EX. Fuente: Propia*

2. Inyección de Silicona: Revisar la inyección de silicona: La fuente no debe estar obstruida, así como la boquilla de inyección ubicada en la máquina de bobinado.
3. Prueba de funcionamiento de bobinado: Realizar un enrollado previo para verificación de conexiones optimas en la máquina de bobinado (*Ver figura 4*) y tomar de muestra de tubería enrollada para envió a laboratorio, de acuerdo a NS 170. (2018). la muestra debe cumplir con los criterios de aceptación descritos en la ASTM D2412 y debe superar los parámetros de diseño requeridos en las memorias de cálculo y planos de ingeniería de detalle.



*Figura 4. Enrollado previo máquina de bobinado SPR-EX. Fuente: Propia*

4. Ubicación de máquina de bobinado en pozo: Ingresar la máquina de bobinado en el pozo de inspección inicial y ubicarla frente a la tubería huésped (*ver figura 5*), realizar las correcciones de nivelación de la máquina de bobinado, para que una vez inicie el enrollado de la cinta, esta ingrese sin dificultad y no se generen fricciones que podrían generar desgaste prematuro de la pared externa de la tubería enrollada largo del tramo.



*Figura 5. Máquina de bobinado en pozo de inspección Inicial. Fuente: Propia*

Al interior del pozo de inspección se encontrará un operario vigilante y atento de las correcciones y correcto funcionamiento de la máquina de bobinado, por lo cual se recomienda seguir y acatar todas las recomendaciones de seguridad y salud en el trabajo para espacios confinados.

5. Inspección CCTV durante el proceso: Ingresar el robot de inspección con CCTV en el extremo opuesto al que se encuentra la máquina de bobinado o pozo de inspección final.
6. Enrollado de la tubería: Iniciar con el enrollado de la cinta por medio de la máquina de bobinado y en compañía del robot con CCTV, corregir nivelación y orientación de la máquina de bobinado para evitar que se generen fricciones indeseadas con las paredes internas de la tubería huésped que pudieran generar desgaste en la tubería enrollada, se debe monitorear constantemente el enrollado de la cinta y el estado del cable de acero.
7. Bloqueo para expansión: Una vez se ha llegado con el enrollado de la cinta hasta el pozo de inspección fina, según Sekisui Chemical Co.Ltd. (2018). se recomienda dejar un excedente de al menos 40cm para que un operario ingrese al pozo de inspección final y genere un bloqueo el extremo de la tubería enrollada con el fin de aplicar torsión e iniciar con la expansión. Este bloqueo se hace realizando dos perforaciones en el excedente de tubería que permitan pasar una barra de acero que servirá de palanca para aplicar la torsión (*ver figura 6*).



*Figura 6. Proceso de bloqueo con barra para inicio de expansión. ISTT. (2013).*

8. Expansión: Para iniciar la expansión primero se debe realizar la retracción del cable de acero por medio de cabrestante, para que comience a cortar el pin de seguridad secundario de la cinta PVC permitiendo que la tubería se amplíe y tome el diámetro interno de la tubería huésped (*Ver figura 7*). Durante la expansión la máquina de bobinado continuara enrollado cinta y aplicando par de torsión hasta lograr que la tubería enrollada elimine el espacio anular entre esta y la tubería huésped.

Se debe dejar una separación prudente (Dependerá de las recomendaciones del fabricante de la cinta de PVC y el diámetro de la tubería) entre el corte del pin de seguridad secundario y el inicio de la expansión, para que la tubería tenga el tiempo suficiente para acomodarse y eliminar el espacio anular.



*Figura 7. Perfil de tubería con corte de cable de acero. Sekisui Chemical Co.Ltd. (2020).*

9. Corte y perfilado de los extremos: Terminada la expansión, se procede en el pozo de inspección inicial a cortar y separa de la máquina de bobinado la cinta. En ambos extremos de la tubería se deberá cortar el exceso de tubería y dejar perfilado para el posterior sello. Finalmente se retirar la máquina de bobinado del pozo de inspección.

10. Inspección CCTV de la tubería: Realizar inspección con robot CCTV del estado actual de la instalación de la tubería. La inspección debe realizarse sin presencia de flujo o con muy poco flujo y conforme a La norma técnica NS- 073. (2018) “Instalación y condiciones de recibo de redes de alcantarillado” la cual establece los criterios de aceptación. De acuerdo a la norma técnica NS-170. (2018). el contratista deberá entregar un video con imagen nítida y de alta definición, así mismo deberá realizar un escaneo del perfil de la tubería con láser, para su posterior revisión y aceptación.

### **Procedimiento Posterior a la instalación.**

1. Prueba de estanqueidad y hermeticidad: de acuerdo a ASTM F1741. (2002), se puede realizar una prueba de exfiltración que consiste básicamente en sellar los dos extremos de la tubería y llenarla de agua para reportar las perdidas. El otro método es el de aire comprimido por presión positiva, que consiste en sellar los dos extremos de la tubería llenarla con aire y reportar las perdidas. Para los criterios de aceptación se debe consultar la norma técnica NE-012. (2006) EAAB “Pruebas de estanqueidad en redes de alcantarillado”.
2. Perforación para la apertura de conexiones laterales y superiores existentes: este trabajo se realiza con el mismo equipo y vehículo empleado en la eliminación de obstrucciones. Esta actividad dependerá de los planos de detalle elaborados en la inspección con CCTV en el proceso previo a la instalación.
3. Instalación de sellos en conexiones perforadas: de acuerdo a la norma NS 170. (2018) se puede realizar con inyección de resina epoxica, o con un sombrerete elaborado en fibra de poliéster o fibra de vidrio impregnado con resina epoxica por medio de equipo especializado.
4. Instalación de sellos en los extremos de la tubería (pozo de inspección inicial y final): elaborados con poliuretano expandible de alta densidad para trabajos en

condiciones de humedad, adicional a ello, remates contra las paredes de la tubería existente con mortero de baja permeabilidad sobre todo cuando la tubería existente presenta campana y no espigo al inicio de la tubería.

5. Inspección final de la tubería con CCTV: para liberación y entrega del tramo rehabilitado.

## **COMPARACIÓN FRENTE A TECNOLOGÍA SIN ZANJA CIPP-GPR**

Para poder conocer las ventajas de la tecnología SPR-EX, es necesario hacer un comparativo con una de las tecnologías de rehabilitación de tuberías ampliamente usadas como lo es CIPP o técnica de tubería curada en sitio, que también hace parte de las rehabilitaciones de tuberías de alcantarillado de la EAAB. Como la tecnología CIPP tiene varias derivaciones, nos centraremos en describir el proceso de instalación con tecnología CIPP con GRP para diámetros entre 4 y 60 pulgadas, de acuerdo a lo dispuesto en ASTM F 2019. (2003) “Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Pulled in Place Installation of Glass Reinforced Plastic (GRP) Cured-in-Place Thermosetting Resin Pipe (CIPP)”, la norma técnica NS 152. (2020.) “Consideraciones de construcción en la técnica de tubería curada en sitio”.

### **Proceso de Instalación con CIPP - GRP**

1. Obturación y manejo de aguas del flujo aguas arriba: para obtener un tramo en condiciones secas. Tener en cuenta los requisitos de las normas técnicas NS-069 “Manejo de aguas en actividades de construcción y manejo de redes” y NS-106 “Tapones para obturación, manejo de aguas y verificación de estanqueidad en redes de alcantarillado”. La técnica de bombeo es la más utilizada para la tecnología CIPP junto con la obturación. De acuerdo a NS 106 el tapón debe estar diseñado para soportar una presión mínima de inflado de 22 psi.
2. Ingresar en el pozo de inspección final y con la ayuda del robot de inspección (*Ver figura 1*): al interior de la tubería trasladar una cuerda guía hasta el pozo de inspección inicial (retirar el robot).

3. Unir la punta de cuerda guía ubicada en el pozo de inspección inicial al cable de acero del cabrestante e iniciar a alar la cuerda guía hasta que el cable de acero del cabrestante se encuentre en el pozo de inspección final.
4. Alistamiento del revestimiento: en un extremo de la manga previamente impregnada de resina, realizar una conexión a un gancho (*Ver figura 8.*) para transmitir la tensión por el alado y unir al gancho del cable de acero del cabrestante. De acuerdo a ASTM 2019. (2003) dependiendo de la longitud de la manga se deberá realizar varios dobleces en la longitud de la manga antes de ingresarla al pozo de inspección para facilitar su inserción en la tubería existente.



*Figura 8. Conexión en manga para alado. Fuente: propia.*

5. Ubicar en el fondo de ambos pozos de inspección, a media altura de la tubería a rehabilitar ubicar rodillos guía anclados a las paredes del pozo, que servirán para facilitar la inserción y guiar el alado de la manga impidiendo que friccionen con partes del pozo o de la tubería existente al ingresarla.
6. Iniciar alado de la manga por medio del cabrestante, de acuerdo a NS 152. (2020) se dejará entre 30 y 60 cm de excedente (*Ver figura 9*) en cada extremo para la ubicación de las válvulas de tapón e inflado.



*Figura 9. Excedente en manga. Fuente: propia*

7. Teniendo extendida y ubicada la manga al interior de la tubería a rehabilitar, se procede a cortar en ambos extremos la manga dejando entre 30 y 60 cm, luego tomar la cuerda guía que viene al interior de manga (es de fabrica) y unirla a un carrete de cuerda ubicada en el pozo de inspección final, Ubicados en el pozo de inspección inicial alar la cuerda del interior de la manga hasta lograr que la cuerda del carrete llegue hasta este punto.
8. Instalar en ambos extremos una manga de calibración en los 30 o 60 cm excedentes para impedir deformaciones y conservar la forma de tubo en este punto. en el pozo de inspección final unir válvula de tapón a la manga previniendo que el cable guía pase por la válvula y garantizando un sello hermético.
9. Ubicados en el pozo de inspección inicial, unir la cuerda guía al tren de luces, conectar tren de luces a cable viajero previniendo que este pase por la válvula con tapón, comprobar conexión y correcto funcionamiento e insertar al interior de la manga, para ello se deberá apoyar con el alado de la cuerda guía desde el otro extremo de la manga. Si es necesario inyecte aire comprimido al interior de la manga para facilitar la actividad.
10. Una vez se ha ubicado el tren de luces al interior de la manga, se une la válvula con tapón a la manga, garantizando sello hermético entre la válvula y la manga.
11. Inyectar aire comprimido al interior de la manga a través de una conexión en la válvula ubicada en el extremo o pozo de inspección inicial (*ver figura 10*) y apoyándose de otro compresor en el extremo opuesto, este último para grandes diámetros y/o longitudes extensas. Se debe contar con un compresor que cumpla con los requisitos de trabajo mínimos, debido a que este operara durante toda la instalación una vez inicia el inflado de la manga hasta terminar el curado. De acuerdo a ASTM F2019. (2003) el fabricante de la manga determinara los valores

mínimos y máximos del inflado de la manga para que esta no sufra deformaciones por falta de presión, ni fatiga por excesos de presión.



*Figura 10. Montaje de válvula e inyección de aire. Fuente: propia*

12. Expansión de la manga completamente, se realiza inspección completa del tramo con la cámara que se encuentra acoplada al tren de luces, una vez se verifique el correcto estado de inflado de la manga y que esta no presenta embobamientos, arrugas, u otro tipo de imperfección al interior, se inicia el curado de la manga en sitio con rayos UV, por medio del tren de luces que emite rayos ultravioletas. El tiempo de curado dependerá de la potencia de las luces y el diámetro de la tubería. De acuerdo a ASTM F2019. (2003), las luces deben operar en un rango entre los 200 y 400 nanómetros.

Nota: Al iniciar este paso será irreversible el proceso.

13. Una vez terminado el curado en sitio con rayos ultravioleta, se procede a retirar las válvulas con tapón en ambos extremos, se retira el tren de luces, la cuerda guía y se retira el revestimiento de protección interno que vine de fabrica con la manga.
14. Realizar corte de los excedentes en los extremos de la tubería, este material excedente servirá como muestra para los ensayos de laboratorio, los cuales deberán cumplir con los requerimientos de la ASTM F2019. (2003)
15. Realizar inspección con robot CCTV del estado actual de la instalación de la tubería. La inspección debe realizarse sin presencia de flujo o con muy poco flujo, La norma técnica EAAB NS 073. (2018) “Instalación y condiciones de recibo de redes de alcantarillado” establece los criterios de aceptación. De acuerdo a la norma técnica EAAB NS-170. (2018), el contratista deberá entregar un video con imagen

nítida y alta definición, así mismo deberá realizar un escaneo del perfil de la tubería con láser, para su posterior revisión y aceptación.

#### 16. Retiro de obturación y del equipo para manejo de aguas.

Si pensarán en rehabilitar una red de alcantarillado de 12 pulgadas de diámetro, ¿Qué tecnología escogerían, SPR-EX ó CIPP-GRP?, ambas tecnologías son una buena opción, sin embargo, la tecnología SPR-EX presenta más bondades al momento de realizar la rehabilitación de la red de alcantarillado, una de estas es que CIPP-GRP se debe instalar en un ambiente libre de flujo, a diferencia de SPR-EX que se puede instalar a flujo o contraflujo y en presencia de niveles de agua, claro está, no se recomiendan niveles elevados puesto que no se podría realizar una adecuada inspección CCTV durante el proceso de instalación, no se podrían ver obstáculos ocasionales al interior de la tubería como lo son las piedras arrastradas por el flujo que podrían afectar la instalación.

SPR-EX es una tecnología flexible, lo que quiere decir, que en cualquier parte del proceso de instalación se puede suspender la actividad sin perjuicio de llegar a perder parte de la tarea realiza debido a que la máquina de bobinado puede suspender el proceso en cualquier momento, a diferencia de CIPP-GPR que una vez se inicia la actividad debe ser consecutiva y terminada.

Con SPR-EX, cuando falla el material al interior de la tubería durante la expansión por factores adversos como la avería de un equipo o problemas con el material (cinta PVC, silicona, etc) este se puede retirar y comenzar de nuevo la instalación, a diferencia de CIPP-GRP, que una vez se ha iniciado el curado de la manga no hay marcha atrás, y cualquier falla en el material después del curado que no permita una posterior reparación puntual, deberá ser rehabilitado por completo con zanja abierta, puesto que la tubería no admitiría más revestimientos adicionales sin generar afectación significativa en la reducción del diámetro nominal de la tubería y pérdida de la carga hidráulica.

De acuerdo a la ASTM F2019. (2003) durante la instalación del CIPP-GRP se debe tener un compresor trabajando en el proceso de expansión de la manga y hasta terminar el curado. Lo anterior no representa un problema en tramos de corta longitud, pero si se

rehabilita un tramo de gran longitud como lo es una tubería de 100 metros, demanda una gran exigencia del equipo compresor, que, de llegar a fallar durante el curado ocasionaría la pérdida del material y se tendría que rehabilitar este tramo a zanja abierta. Con SPR-EX se elimina este problema por que en su proceso es flexible y su proceso se puede detener u reanudar sin perjuicio de perdidas en el material.

Ambas tuberías aumentan la capacidad hidráulica mejorando el coeficiente de rugosidad de Manning de la tubería a rehabilitar que generalmente son en materiales como gres – arcilla o concreto, sin embargo, la tecnología con SPR-EX tiene un punto en contra respecto a CIPP-GRP, porque el espesor de pared para un CIPP-GRP se encuentra entre 3.00 mm y 3.70 mm dependiendo de las capas que componen la manga, mientras que en SPR-EX de acuerdo a la ASTM 1697 “Standard Specification for Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Profile Strip for Machine Spiral-Wound Liner Pipe Rehabilitation of Existing Sewers and Conduit” la altura mínima del perfil de la cinta PVC es de 5.5mm.

Otra ventaja no menos importante, es el costo, de acuerdo a la minuta del contrato No. 1-03-33100-01324-2017 de la EAAB, tenemos que el costo de instalación por metro lineal con tecnología sin zanja CIPP-GRP para una tubería a rehabilitar de 8 pulgadas es de \$1.048.187,00 COP, mientras que para la misma tubería a rehabilitar con tecnología sin zanja SWLP SPR-EX es de \$ 507.640,00 COP que equivalen al 40% del costo de una rehabilitación de tubería con CIPP-GRP.

## **RIESGOS PREVISIBLES ASOCIADOS AL PROCESO CONSTRUCTIVO SPR EX:**

De acuerdo con la Organización Internacional de Normalización ISO 9001 (2015). El enfoque basado en riesgos ayuda a prever las causas que pudieran generar un desvío en los resultados planificados, obteniendo como resultado un producto no conforme. Con base en lo anterior, se emplea la administración o gestión del riesgo con el fin de mitigar y controlar las posibles causas que desencadenarían en efectos no deseados.

según con De Leon, J. G. M. P. (2007). El riesgo, se entiende como la combinación entre probabilidad y frecuencia de que ocurra un evento específico de consecuencias o impacto

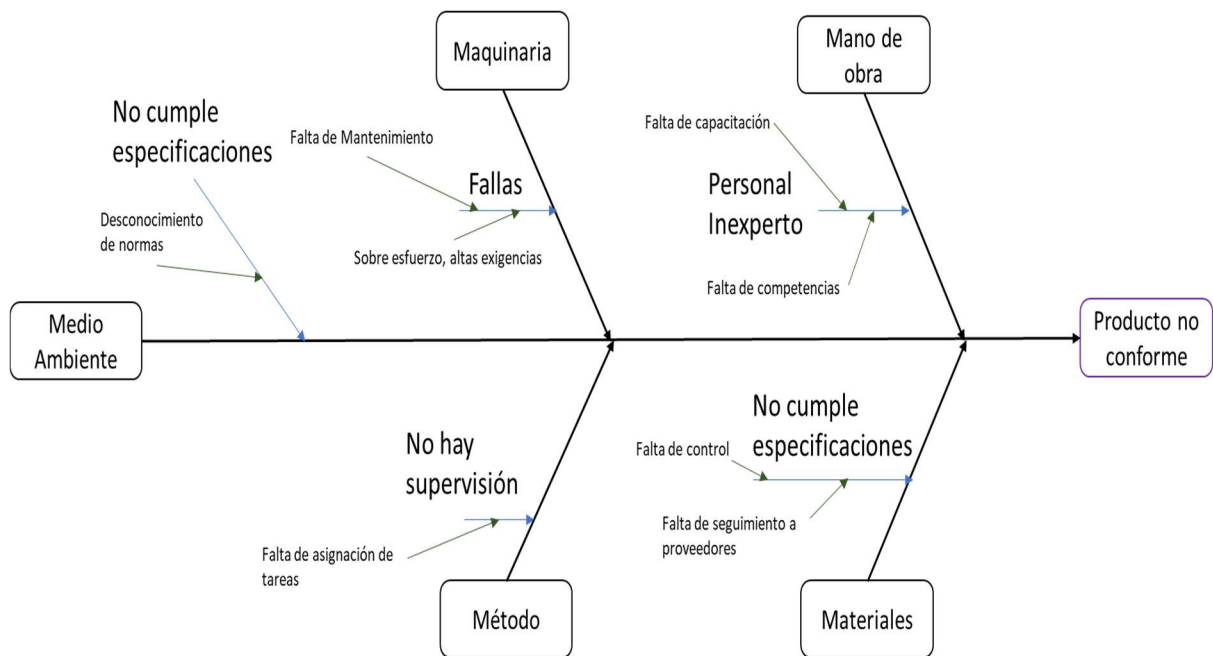
no deseable en cualquier campo de aplicación, de tal forma que el riesgo se encuentra enmarcado por una serie de causas que pueden desencadenar en impactos o efectos no deseados. los riesgos previsibles, son entonces, eventos que se pueden prever desde la etapa de planeación y antes de la ejecución del proceso constructivo, de acuerdo con Besterfield, D. H. (2019). Los riesgos previsibles en la etapa de planeación se abordan desde una perspectiva intuitiva y con base en la experiencia.

Anteriormente se contextualizo el proceso constructivo SPR-EX como primer paso para identificar los riesgos previsibles, ahora que se tiene una visión más amplia de lo que involucra el proceso, a continuación se emplea la metodología de causa – efecto conocida como “los 5 por qué”, para realizar el primer diagnóstico, este método consiste en tomar los resultados o efectos indeseados y a través de las actividades que componen el proceso detectar las posibles causas que pudieran generar estos efectos, se inicia con una pregunta que desencadena en otra y así sucesivamente:

- ¿Por qué se ocasionaría un producto no conforme?, como se puede observar en el proceso constructivo SPR-EX, hay tres grandes grupos de ingredientes que podrían originar en un desvío de los resultados planificados, la materia prima, el personal que desarrolla la actividad y finalmente la maquinaria y equipos, una sola o la combinación de varios ingredientes podría poner en riesgo la ejecución.
- ¿Por qué la materia prima ocasionaría un producto no conforme?, como se evidencia en el proceso constructivo, la materia prima se refiere a la cinta continua de PVC para el enrollado, la silicona para el sello hermético y el cable de acero para el corte del pin de seguridad secundario. Un primer escenario sería una cinta continua de PVC que no ha pasado por controles de calidad y no cumple con las especificaciones de fabricación determinadas en la ASTM F1697 y ASTM F2562 en las cuales se incluye un mal almacenamiento, este ultimo de acuerdo con la experiencia en campo desencadeno en una cinta quebradiza que al ser enrollada genero reprocesos en la instalación; un segundo escenario puede ser la silicona fuera de especificaciones, expirada o a punto de caducar; por último, un cable acerado que no cumple las especiaciones técnicas o que por su almacenamiento ha pasado por un desgaste en sus fibras.

- ¿Por qué el personal ocasionaría un producto no conforme?, dentro del proceso constructivo se evidencian varios operarios, siendo los principales: el que acompaña la cámara de CCTV, el que vigila la máquina de bobinado al interior del pozo de inspección y otro que controla desde afuera en el vehículo la instalación. Lo primero que se viene a la mente con base en la experiencia como causa de un efecto no deseado, es la capacitación y entrenamiento del personal, otro posible escenario es la rotación del personal y finalmente la idoneidad del personal que desempeña la labor. En este punto se considera el mayor riesgo para el proceso al ser tan resiente en Colombia el personal que desarrolla la labor hasta ahora está tomando experiencia.
- ¿Por qué la maquinaria y equipo ocasionaría un producto no conforme?, con base en la experiencia cercana a la tecnología SPR-EX, se evidencio que la falta de mantenimiento en la máquina de bobinado y del equipo para la inyección de silicona desencadenaron en problemas durante el proceso de instalación. Por otra parte, la máquina de bobinado no cuenta con sensores que determinen que el enrollado de la cinta sea el ideal y el especificado.

Ahora que se tiene una visión de las causas, desde una perspectiva intuitiva y deductiva, se emplea el diagrama de Ishikawa para ampliar los componentes de las causas. Este método consiste en seleccionar un efecto como eje principal, y establecer unos grupos o categorías que están involucradas con el efecto (causas primarias) y de allí partir a establecer los subtemas de cada categoría (Causas secundarias), así sucesivamente hasta llegar a la causa raíz. Para la aplicación de este método nos enfocaremos en las causas que generarían producto no conforme, es decir, las actividades que pudieran conllevar a un desvío en el objetivo del proceso constructivo de rehabilitar una tubería de alcantarillado.



Se tiene entonces los riesgos previsibles como el no cumplimiento de especificaciones, la falta de supervisión, fallas en los equipos y maquinaria, así como personal inexperto como las causas principales que pudieran llévanos a un desvío de los resultados deseados. De acuerdo con la cercanía que se ha tenido con el proceso constructivo y desde un punto de vista empírico los riesgos de mayor prevalencia son las fallas en la maquinaria por falta de planes de mantenimiento tanto preventivos como correctivos y la falta de experiencia del personal, este último sin duda por ser una tecnología recientemente implementada.

### ¿Cómo Mitigar Estos Riesgos Previsibles?

Con el fin de asegurar la calidad abordando los riesgos previsibles, como primera medida, para controlar las posibles causas de un producto no conforme y obtener la trazabilidad de la rehabilitación de redes de alcantarillado método SPR-EX, es necesario la implementación de listas de chequeo como herramienta para el control de la calidad, como:

- Listas de verificación de las actividades.
- Listas de chequeo de las maquinarias y equipos empleadas en las actividades.
- Listas de verificación de los insumos y materiales que hacen parte del proceso constructivo.
- Actas de liberación y entrega de actividad a clientes internos y externos.

Como segunda medida, es necesario la aplicación de los lineamientos de la norma técnica NTC – ISO 9001 (2015). con el fin de tener una herramienta que sirva de horizonte para corregir y eliminar las probables causas y poder tratarlas en conjunto, a continuación, se nombran los lineamientos más relevantes para mitigar las causas:

Todas las actividades del proceso constructivo método SPR-EX, requiere de supervisión y control, por tal motivo es necesario la aplicación de los requisitos de calidad 8.5.1 “Control de la producción y de la prestación del servicio” que hacen parte de la NTC – ISO 9001 (2015). Aquí se recomienda tener etapas de medición de las actividades para la verificación del cumplimiento de los procesos, así como la infraestructura adecuada para la operación de los procesos y la implementación de acciones preventivas para eliminar o prevenir errores humanos.

De acuerdo con Besterfield, D. H. (2019). Solo el 15% de los problemas de calidad son asociados al personal que ejecuta la labor, para corregir los defectos de calidad que se pudieran originar por falta de personal idóneo para la labor, falta de experiencia y desconocimiento de especificaciones, es necesario implementar los lineamientos dispuestos en la NTC-ISO 9001 (2015). Requisitos 7.2 “Competencia”, en este punto se debe generar un documento del perfil al cargo donde se asegure la competencia del personal por medio de su educación, experiencia y formación, así mismo se deben generar espacios de capacitación y formación con el fin de afianzar y fortalecer las capacidades del personal.

Para prevenir los riesgos por falta de mantenimiento de equipos y maquinaria, equipo mal calibrado, fallas en equipo y maquinaria durante la operación de instalación de con el método SPR-EX, es necesario implementar los lineamientos establecidos en el literal 7.1.3 “Infraestructura.” que hace parte de la NTC-ISO 9001 (2015). De igual manera los equipos y maquinarias deben identificarse e implementar listas de verificación del

estado actual. También se debe generar un manual de procedimiento para cada máquina que incluya los planes de mantenimiento preventivos y correctivos.

La información producto de la aplicación del numeral 8.5.1 “Control de la producción y de la prestación del servicio”, 7.2 “Competencia”, y 7.1.3 “Infraestructura.” deberá ser documentada conforme a los requisitos 7.5 “información documentada” de la NTC-ISO 9001 (2015). con el fin de implementar una trazabilidad que permita detectar la probabilidad de ocurrencia de las causas descritas anteriormente y poder generar planes de control y evaluación de las acciones correctivas.

Por último, es necesaria la aplicación de los lineamientos del literal 10. “Mejora” de la NTC-ISO 9001 (2015). para garantizar que la organización, compañía u empresa a cargo de la rehabilitación con el método SPR-EX, dirija su esfuerzo a la satisfacción del cliente a través de la implementación de acciones de mejora para que el producto pueda exceder las expectativas del cliente, esto implica corregir, prevenir y reducir los efectos indeseados dentro del proceso constructivo. Como una oportunidad de mejora para el proceso constructivo tenemos que la máquina de bobinado no cuenta con sensores en el punto de enrollado para indicar si las condiciones de trabajo son idóneas y el proceso va de acuerdo a lo planeado, esta actividad depende del operario que se encuentra vigilante de la maquina al interior del pozo de inspección, por ello y para corregir posibles errores humanos es necesario dotar a la máquina de bobinado con sensores que indiquen si el enrollado se está realizando conforme a las indicaciones y especificaciones.

## **Conclusiones.**

Se abordaron los riesgos previsibles y sus herramientas para mitigarlos de acuerdo a una óptica cercana al proceso, con estas herramientas se podrá obtener mejores resultados en la planeación y ejecución del proceso constructivo para así asegurar la calidad de una tecnología recientemente empleada en Colombia.

La tecnología SPR-EX, se encuentra en su fase inicial en Colombia con tan solo 2 años de implementación, la adopción de los lineamientos de calidad anteriormente descritos

sirve como herramienta para evitar desvíos en los resultados esperados. De igual manera se logra obtener una trazabilidad del producto permitiendo realizar control de calidad y seguimiento en cada una de las actividades.

El enfoque del pensamiento basado en los riesgos ayuda a la compañía a identificar las causas que se pudieran representar pérdidas económicas y resultados no deseados, con la aplicación de los requisitos de calidad de la NTC-ISO 9001 (2015). se aporta valor y calidad al proceso constructivo método SPR-EX, sin embargo, para que los requisitos de calidad sean exigibles a toda la compañía y no solo al proceso constructivo, es necesario que la empresa a cargo de la rehabilitación de redes de alcantarillado por el método SPR-EX, adopte un sistema de gestión que permita extender los estándares de calidad a toda la organización.

La tecnología SPR-EX, al ser un 40% más económica que la tecnología para rehabilitación de tuberías de alcantarillado sin zanja método CIPP-GRP para los mismos rangos de diámetros, sin duda permitirá realizar la renovación de más metros de tubería, beneficiando a más comunidades y garantizando el saneamiento básico en la ciudad. Sin lugar a duda esta tecnología tiene el potencial para posicionarse en unos años como la principal tecnología sin zanja para la rehabilitación de redes de alcantarillado en Colombia, de allí la importancia que la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y demás ciudades interesadas en su implementación, exijan a sus contratistas la implementación de planes de calidad para la ejecución de este método de rehabilitación con el fin de fortalecer las políticas de calidad en Colombia y evitar desvíos en la planeación.

Cuando consultamos normas técnicas como la NS-170. (2018) de EAAB o la ASTM 1741. (2002). suelen confundir al lector al describir procesos que se pensarían son una sola metodología, pero que al ir mas afondo nos está hablando de dos o más, de tal forma que aquí se obtiene una descripción completa y detallada de la instalación para la tecnología SPR-EX, que espero allá servido de guía para las personas que quieran entender detalladamente proceso de rehabilitación de red de alcantarillado sin zanja abierta y la importancia de este tipo de tecnología.

## Referencias Bibliográficas:

- ASTM F 1697. (2008). Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Profile Strip for Machine Spiral-Wound Liner Pipe Rehabilitation of Existing Sewers and Conduit<sup>1,2</sup>
- ASTM F 1741. (2002). Installation of machine spiral wound poly (vinyl chloride) (pvc) liner pipe for rehabilitation of existing sewers and conduits.
- ASTM F 2019. (2003). Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Pulled in Place Installation of Glass Reinforced Plastic (GRP) Cured-in-Place Thermosetting Resin Pipe (CIPP)
- Besterfield, D. H. (2019). Control de calidad.
- De Leon, J. G. M. P. (2007). *Introducción al análisis de riesgos*. Editorial Limusa.
- Fujii, S. (1992). Rehabilitating underground pipes With expanding helically wound Lner.
- NTC-ISO 9001. (2015). Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos.
- Interflow. (2006). Trenchless Technology for the Rehabilitation Of Deteriorated Pipelines.
- ISTT. (2013). The spiral wound pipeline rehabilitation technique for pipe networks: an application and experience in moscow city.
- Minuta de Contrato 1-01-33100-01324 de 2017, Recuperado de: <https://www.acueducto.com.co/waspre/SILWeb/publicsil.html>
- Najafi, M. (2008). An asset management approach for drainage infrastructure and culverts. Midwest Regional University Transportation Center, University of Wisconsin, Madison.
- NS 152. (2020). “Consideraciones de construcción en la técnica de tubería curada en sitio” EAAB.
- NS 170. (2018). Norma técnica: Requerimientos de Construcción para la rehabilitación de redes de alcantarillado con revestimiento enrollado en espiral (Spiral Wound) EAAB.
- Palma, R. J. C., Merizalde, C. K. B., & Flores, F. M. F. (2018). Sistema de gestión y control de la calidad: Norma ISO 9001: 2015. RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento, 2(1), 625-644.

- Panatec. (2020). Soluciones tecnológicas para el ciclo integral del agua. [Figuras: 1 y 2]. Recuperado de: <http://www.panatec-agua.com/> .
- Pannirselvam, M., Shu, L., Griffin, G., Philip, L., Natarajan, A., & Hussain, S. (Eds.). (2018). Water Scarcity and Ways to Reduce the Impact: Management Strategies and Technologies for Zero Liquid Discharge and Future Smart Cities. Springer.
- Parcher, M. J. (1997). Wastewater collection system maintenance. CRC Press.
- Sekisui Chemical Co.Ltd. (2018). Machine spiral wound pvc liner using the SPR™ EX method.
- Sekisui Chemical Co.Ltd. (2020). Pulling the Cutting Wire. [Figura 7, 11 y 12]. Recuperado de: <https://sekisuispra.com/the-sprex-expansion-process/>.
- Shammas, N. K., & Wang, L. K. (2010). Fair, Geyer, and Okun's, Water and Wastewater Engineering: Water Supply and Wastewater Removal. John Wiley and Sons.