



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

AVANCES EN LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS SIN ZANJA PARA LA INSTALACIÓN, SUSTITUCIÓN Y REHABILITACIÓN DE ADUCTORAS

Msg. Ing. Natalia Catarino (*)

Estudios y Proyectos de Agua – Gerencia de Agua Potable – OSE.
Ingeniera Civil H/A. Máster en Gestión Eficiente del Agua Urbana.

Ing. Martín Delgado

Líneas de Aducción – Gerencia Metropolitana - OSE.
Ingeniero Civil H/A.



TEMA: 2

Dirección del autor principal (*): Obras Sanitarias del Estado (OSE) - Carlos Roxlo1275 – Montevideo, Uruguay - Tel.:1952 Int. 2547 – e-mail: ncatarino@ose.com.uy

RESUMEN

En este trabajo se presentará, en primera instancia las dificultades cada vez más complejas a las cuales se enfrenta la definición de un proyecto de una nueva aductora o la sustitución de una tubería existente con el método de instalación tradicional con zanja a cielo abierto, por falta de espacio en la faja pública. Asimismo, se compartirá la experiencia adquirida a nivel de la Administración de las Obras Sanitarias del Estado (OSE), respecto a la instalación de aductoras sin zanja, en este caso concreto con la ejecución de una troncal de PEAD DN 400 y L=3.6km realizada en su totalidad por perforación horizontal teledirigida. Por último, se realizará una evaluación preliminar respecto a la sustitución/rehabilitación de aductoras con tecnologías sin zanja, para la definición de una prueba piloto en una tubería de Fibro Cemento (FC) DN 250 con el sistema pipe bursting.

Palabras Clave: abastecimiento de agua potable, aductoras, gestión del agua potable, instalación sin zanja, rehabilitación, sustitución, perforación horizontal teledirigida, pipe bursting, relining.

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es mostrar los avances realizados dentro de OSE principalmente en las aductoras del sistema metropolitano de agua potable, en relación a las tecnologías de instalación, sustitución y/o rehabilitación de tuberías sin zanja, debido a la dificultad para encontrar trazas viables para implantar nuevas tuberías en la faja pública con el método tradicional.

INTRODUCCIÓN

La infraestructura de agua potable debe ser mantenida y ampliada constantemente, es por esto que se tiene el requerimiento de nuevas tuberías hacia las zonas con incremento de demanda y la necesidad también de que la infraestructura antigua deba ser sustituida o rehabilitada, con el fin de garantizar su correcto funcionamiento.

Por otro lado, se contempla la dificultad en las áreas urbanas para concebir una traza viable para un nuevo servicio, siendo esto una tarea cada vez más compleja. Las aceras están ocupadas por diversos servicios: UTE, ANTEL (telefonía- fibra óptica), gas, cable, saneamiento con las respectivas conexiones domiciliarias, agua potable (troncales, distribución, conexiones), columnas, etc., y la existencia de árboles. A su vez las calzadas además de contar con servicios de saneamiento (entre otros), en caso de estar pavimentadas tienen requerimientos de reposición de las Intendencias cada vez más exigentes, y en las vías principales de tránsito no se permite el corte de las mismas para trabajos a zanja abierta.



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

En el caso de zonas rurales, en donde las trazas típicas de grandes tuberías son paralelas a las rutas nacionales, el MTOP tiene requerimientos que se han ido rigidizando con el tiempo en donde se explicita que la traza debe ser implantada en la faja para servicios, delimitada entre el límite de propiedad (LP) y 2 metros, sin excepciones. Habitualmente se tiene como dificultad adicional que ese espacio cuenta con instalaciones de otros servicios, principalmente: UTE, ANTEL (fibra óptica), gas, columnas, etc., y árboles.

Por lo expuesto, en zonas con requerimiento de incremento en la aducción donde lo habitual era proyectar obras de nuevas tuberías instaladas a cielo abierto implantadas en la faja pública (con eventuales cruces de calzada tuneleados) y en áreas urbanas con requerimiento de sustitución/rehabilitación de tubería en donde la primer opción era realizar un nuevo tendido en paralelo al existente a cielo abierto, estas acciones no son posibles de llevar a cabo actualmente para muchos de los proyectos.

ALCANCE

El presente trabajo se basa principalmente en las acciones desarrolladas dentro del sistema metropolitano de abastecimiento de agua potable de OSE, para las aductoras (tuberías con DN mayor a 200).

Se aclara que la rehabilitación consiste en mejorar las condiciones de la tubería existente, mientras que la sustitución implica instalar una nueva tubería (y en algunos casos destruir la existente en el proceso). Se describe brevemente cada una de las tecnologías para la instalación, sustitución y rehabilitación de tubería a la cual refiere este estudio:

- Zanja a cielo abierto: instalación tradicional utilizada para nuevo tendido de tubería. Consiste en realizar una zanja con las dimensiones determinadas en base a la infraestructura a colocar y las condiciones del terreno, reacondicionar la zona de apoyo de la tubería, colocar la misma y rellenar según las especificaciones determinadas en el proyecto ejecutivo (PE), en base al material, suelo, operación, etc.
- Perforación horizontal teledirigida (tuneleo): instalación sin zanja utilizada para ejecutar un nuevo tendido. Sistema de perforación hidráulica, que se basa en la utilización de un cabezal con sonda para direccionar el tendido, barras de acero, cabezales de expansión, y cabezal de acople para ingreso de la tubería.
- Pipe bursting: sustitución de tubería sin zanja que consiste en romper la tubería existente y colocar un nuevo tendido (usualmente en PEAD). Se basa en un equipo hidráulico, barras, cabezal con cuchillo de corte expansivo y cabezal de acople para ingreso de la tubería.
- Rehabilitación de tubería (relining): existen diversos métodos, como ser la inserción de un conducto/manga dentro del tubo existente y un sistema de acople del mismo en el tubo, algunos requieren curado (puede ser con agua caliente, aire y/o UV) y otros únicamente un acondicionamiento (inflado con aire). Pueden tener diferente condición estructural (soportar esfuerzos externos o no). Para aductoras (sin conexiones domiciliarias) uno de los sistemas utilizados es el denominado relining HPL (High Pressure Laminate), el cual consiste en la colocación de un conducto flexible tricapa con sistema de acondicionamiento con aire, diseñado específicamente para alta presión.

ANTECEDENTES

La utilización de tecnologías que permitan instalar, rehabilitar o sustituir tuberías sin la necesidad de realizar zanja a cielo abierto, surgen en la década de los 60 en Japón seguido por Europa Occidental y EEUU (Mackenzie, 2003). En la década de los 80 se funda la Asociación Internacional de Tecnologías sin zanja y el Instituto Internacional para Tecnologías sin zanja (ISTT), para fomentar la utilización de este tipo de tecnologías para la infraestructura subterránea de servicios públicos.

En Uruguay, se cuenta con antecedentes de instalación y sustitución sin zanja para tuberías de agua potable, los cuales se detallan a continuación:

- Tuneleos de corta longitud (cruces). Hasta el momento la primer alternativa para la instalación de una nueva tubería es a cielo abierto, priorizando encontrar una traza apta para esto. También es la primera alternativa para la sustitución de tuberías, realizar un nuevo tendido a cielo abierto, quedando la tubería “vieja” fuera de servicio, desafectada pero NO retirada de la vía pública. Para tramos críticos de la

15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país
 instalación, en la actualidad se usa comúnmente la instalación con tuneleo teledirigido, esto es específicamente para cruces de rutas, cruces de calles o en acera cuando se debe proteger las raíces de los árboles (por ejemplo). Para el caso de conexiones domiciliarias y tramos cortos en DN menores (75 - 110 mm por ejemplo) se utiliza el tuneleo no dirigido neumático (TOPO).

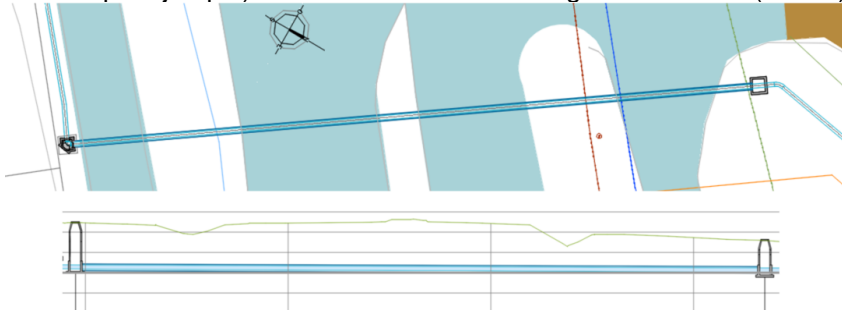


Figura 1: Proyecto y ejecución cruce Ruta Interbalsearia – Troncal Horneros. Vaina PEAD SDR 11 PE 100 DN 630 – tubería PEAD SDR 17 PE 100 DN 400. L=0.07km. Año 2024.

- Tuneleos para distribución. En lo que refiere al sistema metropolitano, desde mediados del 2015 la IM ha tenido como requerimiento para la aprobación de la traza de redes de distribución (DN 75-110-160 principalmente) en acera con árboles y poco espacio disponible, que los tendidos se hagan “con tuneleo” para evitar afectaciones a las raíces, un ejemplo de esto es la LPI20741-21 con 0.7 km de tendido por tuneleo DN 65-200 y ampliaciones. Actualmente se está ejecutando 0.6 km en PEAD DN 110 y 75 por tuneleo teledirigido en San Martín y las inmediaciones de Domingo Aramburú.



Figura 2: PEAD SDR 17 PE 100 DN 110, calle San Martín, Distribución – OSE. Año 2024.

- Sustitución. En Maldonado se tiene amplia experiencia con el sistema pipe bursting para redes de distribución (menores a 200mm), desde los años 2000 se utiliza esta tecnología hasta la actualidad principalmente para sustituir tuberías de FC por PEAD DN 75. Actualmente está en ejecución la LPI 24306-23 con más de 15 km previstos para rehabilitación sin zanja de DN 75 (principalmente) hasta 250mm por este método.

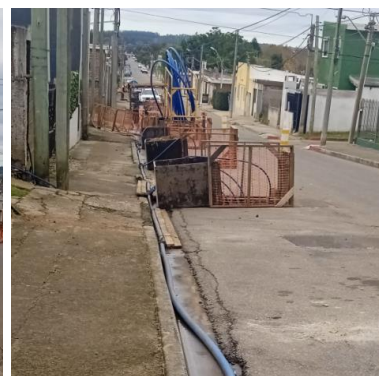


Figura 3: Sustitución FC DN 75 por PEAD DN 75 SDR 17 PE 100 DN 75, UGD. Año 2024.

15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

Los antecedentes enumerados son para tuberías de distribución (hasta 200 mm) o aductoras en longitudes de no más de 100m por ser principalmente cruces de calles o rutas. Es por esto, el interés y la particularidad de los casos prácticos que se desarrollarán. En lo que refiere a rehabilitación de tuberías de agua potable con relining, no se cuenta con antecedentes a nivel nacional.

CASOS PRÁCTICOS

Se presentarán 2 casos prácticos en los cuales por falta de espacio en la faja pública no es posible realizar instalaciones a cielo abierto. El primer caso trata de la necesidad de implantar una nueva aductora para abastecer una zona con demanda insatisfecha de Barros Blancos-Canelones, y el segundo de una tubería en operación de FC que data de los años 80, la cual presenta frecuentes roturas y se debe sustituir (o rehabilitar) en Ciudad Vieja - Montevideo. Ambas aductoras pertenecen al sistema metropolitano de abastecimiento de agua potable.

Caso Práctico 1

El primer caso, es de una aductora de DN 400, cuya traza se definió paralela a la Ruta 8 en Canelones. Se contrató por licitación pública (LPI 19.972-19) el PE y ejecución de la misma. En el marco del desarrollo del proyecto, debido a la ubicación de los servicios existentes en la faja pública (detectados en los cateos) y al requerimiento del MTOP de colocar la nueva tubería en la faja de servicio definida entre el LP y 2 m, se debió realizar la ejecución de la totalidad de la tubería de DN 400 por tuneo teledirigido, con el fin de implantar la tubería debajo de los servicios existentes respetando su ubicación en la faja definida por el MTOP (incluido en zonas con calles de servicio). Esta obra ejecutó un total de 3.6km de aductora en DN 400 con tecnología sin zanja, lo cual significó un hito para la Administración.



Figura 4: Traza troncal Ruta 8 e implantación en el margen Norte (vista hacia Pando).

La traza se había proyectado sobre el margen norte de la Ruta 8, en donde las principales interferencias subterráneas identificadas fueron: UTE (media tensión), ANTEL (fibra óptica) y otros servicios de agua (PVC 200 y PVC75). Se muestran esquemas de los cateos realizados en distintas ubicaciones en la etapa de PE, en donde se visualiza la dificultad para poder realizar una zanja a cielo abierto para instalar la nueva tubería entre el LP y 2 m. Considerar que adicionalmente a lo indicado en los esquemas se contaba con la existencia de columnas de servicios aéreos y árboles.

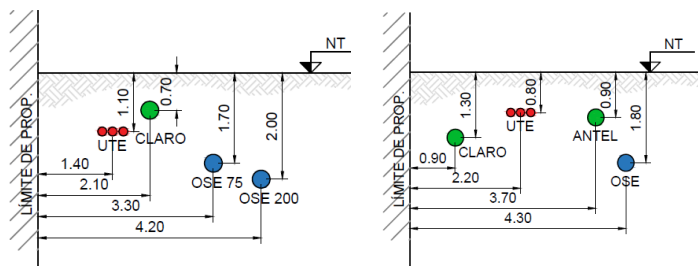


Figura 4: Cateos de infraestructura subterránea existente en Ruta 8.

15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

Como alternativa se analizó frente a UTE la posibilidad de cortar el suministro del cable de media tensión (30 kv), con el fin de poder realizar la zanja en condición segura e instalar la infraestructura, pero UTE indicó que este servicio abastecía a Pando y Barros Blancos sin contar con respaldo, por lo que esta opción no era posible. Otra alternativa fue evaluar tramo a tramo y solicitar al MTOP considerar una excepción en algunas zonas de la traza (máxima distancia solicitada entre LP al eje de la tubería 3.5m), en una zona donde había entre 10 y 15m entre el LP y el borde de pavimento (BP), y en algunos casos calles de servicio. No se obtuvo respuesta positiva al pedido. Se analizaron también trazas alternativas y posibilidades de servidumbres para la instalación de la infraestructura sin éxito. Ante las dificultades relacionadas con las exigencias de otros organismos y la necesidad de avanzar con la instalación de la aductora, se consideró como alternativa modificar el método de instalación de la tubería, optando por la perforación horizontal teledirigida.



Figura 5: Instalación tubería PEAD DN 400 SDR 17 PE 100 con tuneleo teledirigido. Año 2023.

El principal ajuste en el PE fue respecto a la pendiente mínima, desde el proveedor de la tecnología se indicó que se recomendaba una pendiente mínima de 0.6% para garantizar la correcta ejecución. En las aductoras la pendiente mínima se indica en base al criterio del valor mínimo constructivo (para zanja a cielo abierto está establecido en 0.3%). Se observó que en la ejecución por tuneleo no era sencillo lograr esa pendiente (0.3%) y mantenerla en el tramo (por más que está dentro del rango del equipo) y con 0.6% no se tuvieron inconvenientes. Para la tapada mínima también se deben considerar los criterios recomendados para este método con el fin de asegurar no tener afectaciones en la superficie, en este caso la tapada mínima estaba establecida en 1.20 m por criterio del MTOP, y este fue el valor adoptado y validado. Para el resto de los criterios, ubicación de válvulas de aire, desagües, salidas, etc., no se consideraron diferencias técnicas en comparación con la instalación tradicional.

En lo que refiere a costos el cambio de tecnología de instalación implicó un incremento en el precio básico de la obra asociada a la troncal de PEAD 400 del 23%, sin embargo generó un ahorro de aproximadamente el 14% en rubros de remoción y reposición que no fueron ejecutados. Por lo que el incremento neto del costo se puede considerar del 9% respecto al presupuesto original. Se debe considerar que con el cambio de tecnología se viabilizó la instalación que permitió dar solución al abastecimiento de la zona.

Esta tubería de PEAD 400 SDR 17 PE 100 fue finalizada a mediados de este año (2024) y puesta en servicio recientemente, con los resultados esperados (funciona correctamente), solucionando el déficit de abastecimiento en parte de la zona de Barros Blancos.

Como principales aprendizajes se destaca: los tiempos de obra fueron adecuados, instalándose unos 300m de tubería por semana. Las principales dificultades fueron la realización de las cámaras para la ubicación de los aparatos (válvulas de aire y desagüe) y la búsqueda de pérdidas en los casos que las pruebas hidráulicas no dieron resultados positivos, ya que al no existir terreno removido en zanja hay mayor dificultad para encontrarlas. Se observa como dificultad adicional el acceso a la infraestructura una vez esté puesta en operación (por debajo de los otros servicios), aunque es de esperar que para una intervención puntual (una nueva interconexión o una reparación) se podrá trabajar con los cuidados necesarios para preservar la seguridad del personal.

15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

Caso Práctico 2

El segundo caso práctico trata de dos aductoras de FC DN 250 que datan de la década de los 80, denominadas Troncal Convención y Troncal Durazno, ubicadas sobre las calles que dan nombre a las mismas en la Ciudad Vieja en el departamento de Montevideo. Estas tuberías están implantadas en vereda, presentando continuas roturas debido a su material constitutivo. La traza de estas troncales cuenta con la particularidad que en cada cruce de calle tienen como interferencia el colector Arteaga.

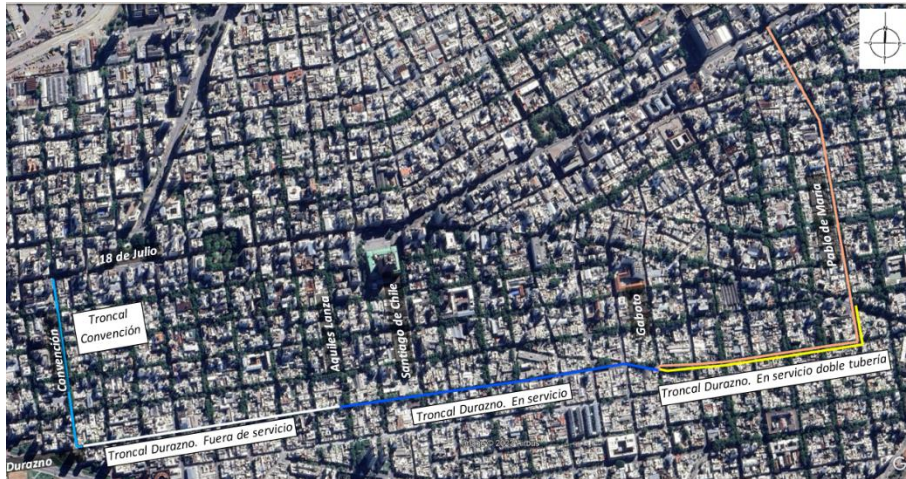


Figura 6: Ubicación troncal Durazno y Convención. Esquema y cateo cruce troncal Durazno (vaina acero D 500) con colector Arteaga. Durazno esq. W. F Aldunate.

Debido a la dificultad para sustituir a cielo abierto en acera en paralelo a la existente (sustitución habitual) por la presencia de muchos servicios (OSE, saneamiento, columnas, árboles y principalmente cableado de UTE), y la necesidad de mantener el cruce de la tubería con la red Arteaga, ya que no hay espacio sobre el colector e ir por debajo profundiza mucho la instalación, es que se realiza un estudio de alternativas para poder realizar la sustitución/rehabilitación de estas aductoras.

En primera instancia se analizó la zona de intervención, con el fin de buscar una nueva traza alternativa, que evite tener las interferencias con la red Arteaga. Esto no fue exitoso, ya que hacia el lado Sur de 18 de Julio hay red Arteaga de gran porte en todas las calles y las mismas se incrementan conforme se minimiza la distancia a la rambla. Debido a que no se visualizó que pueda realizarse la sustitución de la forma tradicional, se investigan y analizan opciones no convencionales de rehabilitación/sustitución sin zanja. Las alternativas analizadas fueron: sustituir por el sistema pipe bursting (con experiencia a nivel local) y rehabilitar por el sistema relining HPL con proveedor en Buenos Aires. Estas tecnologías se describieron anteriormente (ver Alcance). Se muestra a continuación un cuadro comparativo resumen del análisis realizado.

	Sistema de rehabilitación/sustitución	
	RELINING (HPL)	PIPE BURSTING
Capacidad hidráulica	La tubería instalada HPL (manga) tiene Dinterno 225mm, lo que representa mayor área efectiva que el tubo PEAD, teniendo mejor capacidad hidráulica.	La tubería instalada PEAD SDR 17 PE 100 DN 250 tiene Dinterno 220.6mm
Interferencia red Arteaga	Quedaría rehabilitado el cruce interiormente.	Se deberá hacer intervención interna retirando manualmente el FC 250 y colocando el nuevo tramo de PEAD 250. En los casos que no se cuente con vaina, se deberá intervenir el colector
Experiencia	Tecnología probada en Argentina, no a nivel local.	Tecnología probada por UGD, con buenas recomendaciones en diámetros menores. Hay dudas respecto a las juntas de reparación existentes en la traza.
Intervenciones /Reparaciones	Intervenciones más complicadas sobre la manga, con conector a brida que es un suministro de costo elevado, no hay experiencia local en el mantenimiento ni reparaciones.	Tubo de PEAD 250 sin dificultades (convencional para OSE).

15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

Sistema de rehabilitación/sustitución	
	PIPE BURSTING
Costo	Muy costosa. Referencia 840 U\$S/m (más de 4 veces el costo del pipe bursting)
	Referencia 200 U\$S/m, en base a estimación según información del proveedor.

Tabla 1: Comparación tecnologías

Del análisis realizado surge que ambos métodos son aplicables, y se define realizar una prueba piloto, con énfasis en los costos y experiencia local (en tecnología e instalación resultante) se optó por utilizar el sistema pipe bursting. Para realizar esta prueba se recomienda utilizar el tramo fuera de servicio de la troncal Durazno desde Convención hasta Julio Herrera y Obes (L= 0.2 km) con el fin de visualizar las dificultades de la ejecución.

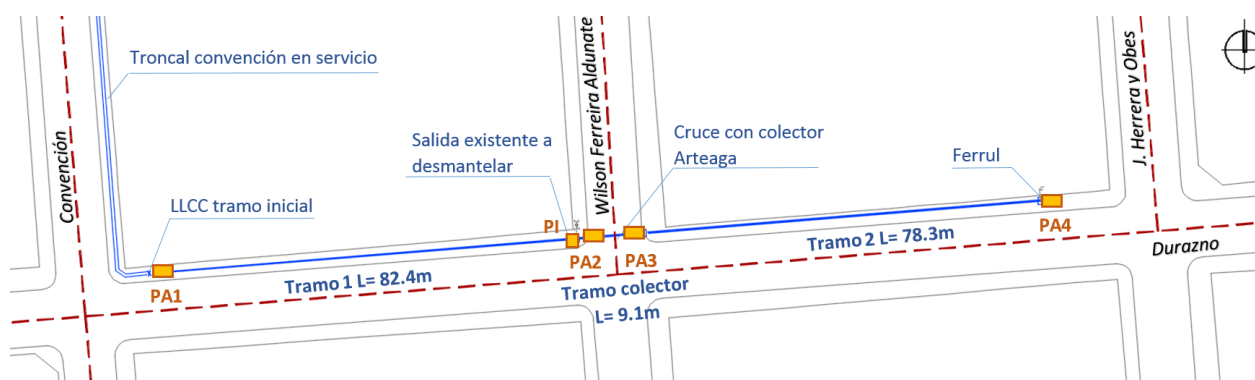


Figura 7: Prueba Piloto troncal Durazno – tramo fuera de servicio.

La intervención prevista requiere de 5 pozos de ataque y/o intervención, ubicados según la Figura 7, con la siguiente descripción:

- Pozo ataque 1 – PA1. Dimensiones aprox. 3.0 x 1.30 m en donde se ubicará la máquina y se realizará el ingreso de barras para la sustitución del tramo 1 (entre Convención y Wilson Ferreira Aldunate).
- Pozo de intervención - PI. Sobre la salida de servicio existente en tramo 1, para retirar la pieza (T de hierro).
- Pozo ataque 2 –PA2. Al final del tramo 1, en calzada. Servirá de control de la intervención en la red Arteaga y de ingreso del tubo de PEAD para el tramo 1. Dimensiones aprox. 3.0 x 1.30 m, más un escalón que permita el ingreso del tubo con un radio de curvatura adecuado.
- Pozo ataque 4 –PA4. Al final del tramo 2, en donde se ubicará la máquina y se realizará el ingreso de barras para la sustitución del tramo 2 (entre J. Herrera y Obes y Wilson Ferreira Aldunate), dimensiones aprox. 3.0 x 1.30 m. Este pozo de ataque se ubicará sobre la cámara de Ferrul existente.
- Pozo ataque 3-PA3. En calzada sobre Wilson Ferreira y Aldunate. Servirá de control de la intervención en la red Arteaga y de ingreso del tubo de PEAD para el tramo 2. Este pozo será similar al PA2.

Intervención prevista.

Sobre la tubería existente dentro del colector Arteaga, se realizará un trabajo independiente al resto de la sustitución con el fin de no afectar la infraestructura (colector Arteaga y vaina del servicio agua potable). Para esto, dado que se podrá acceder desde ambos lados a la vaina (pozos de ataque 2 y 3), se cortará el tubo de FC y se retirará manualmente, para luego ingresar el tubo de PEAD. Este tramo quedará a la espera, para unirse posteriormente por cupla con el tramo 1 y 2 a cada lado.

Las tareas de sustitución por sistema pipe bursting consisten en:

- Colocar la máquina en pozo de ataque 1.
- Pasaje de barras desde pozo de ataque 1 hasta pozo de ataque 2.



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

- En paralelo se deberá soldar por termofusión el tubo PEAD 250 en la longitud del tramo 1, y dejar el tubo de PEAD en espera.
- Colocación del expansor y elemento cortante e ingreso de nueva tubería de PEAD desde pozo de ataque 2 al 1.
- Repetir el mismo procedimiento en el tramo 2. Colocar la máquina en pozo de ataque 4.
- Pasaje de barras desde pozo de ataque 4 hasta pozo de ataque 3.
- En paralelo se deberá soldar por termofusión el tubo PEAD 250 en la longitud del tramo 2, y dejar el tubo de PEAD en espera.
- Colocación del expansor y elemento cortante e ingreso de nueva tubería de PEAD desde pozo de ataque 3 al 4.

Actualmente se está a la espera de contar con los permisos definitivos con la IM y las coordinaciones internas con el proveedor de la tecnología para ejecutar la prueba piloto. En función de los resultados obtenidos, se evaluará si este método de sustitución es el adecuado para la intervención en tubería de FC 250 y en caso de ser exitoso se deberá proceder a realizar los recaudos para licitar la sustitución del resto de la troncal.

CONCLUSIONES.

El espacio en faja pública está cada vez más limitado y las instalaciones existentes (en servicio o no) tienen un gran valor agregado por el espacio que ocupan. Esta situación continuará empeorando y se tendrá cada vez más dificultad para poder realizar instalaciones convencionales de nuevas tuberías (a cielo abierto). Adicionalmente las Intendencias y el MTOP tienen requerimientos cada vez más estrictos respecto a la ubicación de servicios en las vías públicas, por lo que encontrar una traza viable para una nueva instalación será cada vez más un desafío y las ejecuciones por tuneleo deberán ser implementadas con frecuencia, al día de hoy ya es un requerimiento impuesto para varias trazas.

Por otro lado, OSE tiene gran cantidad de tuberías en funcionamiento antiguas que deberá sustituir, y gran cantidad de tuberías enterradas fuera de servicio, por lo que los sistemas de rehabilitación/sustitución de tuberías sin zanja utilizando el espacio ocupado por la infraestructura existente, se visualiza como un tema de aplicación actual y futura. En el mercado se están desarrollando nuevas tecnologías para poder acompañar estos requerimientos, por lo que se deberá continuar en el camino de avanzar en el aprendizaje de la aplicación de las mismas.

AGRADECIMIENTOS

Ing. Carolina Leao, Paola Debuglio. Y Javier Ferreira por la información de la ejecución de la troncal Ruta 8. Ing. Carlos Di Giovanni, Ing. Juan Cattaneo e Isabel Hernández, por la valiosa información brindada. Ing. Guillermo Fuica, por la información de la experiencia de la UGD respecto a la aplicación de pipe bursting. Julio Lourtet - Concierto SA, Jorge Bunge - Lusalco SA, Leonardo Filippelli - INSUR, Juan Cruz - Forever Pipe, por la colaboración en la información de las tecnologías y aplicaciones. Ing. Margarita Pintos, Ing. Pía Aschieri, Ing. Nicolás Cunha, Lucía Villarreal y Dora Cancela.

REFERENCIAS

- 1 Serrano, 2018, *Tecnologías más promisorias para renovar y rehabilitar tuberías de distribución de agua potable.*
2. Mackenzie, 2003, *Viabilidad de las nuevas tecnologías para la renovación y rehabilitación de tuberías en redes de acueductos en Colombia.*