

**ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y  
ECONÓMICA, DEL USO DE NUEVOS SISTEMAS DE  
INSTALACIÓN Y/O REEMPLAZO DE TUBERÍAS, SIN  
EXCAVACIÓN DE ZANJAS, PARA CONDUCCIONES DE  
AGUA POTABLE.**

**PATRICIA MARIN IBARRA  
COD. 1982041**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2.004**

**ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y  
ECONÓMICA, DEL USO DE NUEVOS SISTEMAS DE  
INSTALACIÓN Y/O REEMPLAZO DE TUBERÍAS, SIN  
EXCAVACIÓN DE ZANJAS, PARA CONDUCCIONES DE  
AGUA POTABLE.**

**PATRICIA MARIN IBARRA  
COD. 1982041**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniera Civil**

**Director  
JORGE GÓMEZ SÁNCHEZ  
Ingeniero Sanitario**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2.004**

#### DEDICATORIA:

A Dios, por brindarme la oportunidad de lograr mis objetivos, acompañada de buenos seres humanos.

A mis padres. Todo lo que soy y todo lo que puedo llegar a ser, se lo debo a ellos.

A mi familia por su cariño.

A mis amigos, por su comprensión y apoyo incondicional.

## AGRADECIMIENTOS:

El autor expresa sus agradecimientos a:

Ingeniero Jorge Gómez Sánchez, Director del proyecto, por su orientación y apoyo a lo largo de esta investigación.

Ingeniero Luís Fernando Mesa, Director técnico EXTRUCOL S.A., por su iniciativa en la realización de este documento, y por su generosa colaboración.

Ingeniero Jorge E. Castellanos, Jefe de aseguramiento de calidad EXTRUCOL S.A., por su interés, colaboración y asesorías en los temas tratados.

Edgar Cuadros, Nelson Sánchez y Adriana Jiménez, Laboratoristas EXTRUCOL S.A., por la asesoría brindada durante la investigación.

Ingenieros Laura Y. Martínez, Javier Morales y José Andrés Fernández, por su colaboración y sugerencias en el desarrollo de este documento.

La Escuela de Ingeniería Civil, por brindarme las herramientas y conocimientos necesarios, para realizar este proyecto con satisfacción.

## RESUMEN

### TITULO\*:

ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA, DEL USO DE NUEVOS SISTEMAS DE INSTALACIÓN Y/O REEMPLAZO DE TUBERÍAS, SIN EXCAVACIÓN DE ZANJAS, PARA CONDUCCIONES DE AGUA POTABLE.

### AUTOR:

MARIN IBARRA, Patricia\*\*

### PALABRAS CLAVES:

Rehabilitación, reemplazo y nuevas instalaciones de tuberías, Factibilidad económica, Perforación, Polietileno, Técnicas Trenchless,

### DESCRIPCIÓN:

El avance tecnológico ha permitido el surgimiento de nuevas técnicas que favorecen el trabajo subterráneo, conocidas como Tecnología Trenchless. Con este nombre se definen una serie de métodos de construcción que no requieren la excavación de zanja. Estos sistemas, se vienen ejecutando hace varios años en Estados Unidos y algunos países de Europa, con excelentes resultados, y su éxito radica en la eliminación de casi todos los problemas generados por la excavación, y el manejo de tierra en áreas urbanas.

En el mundo existe una gran variedad de técnicas sin zanja, aplicadas a la rehabilitación, reemplazo e instalación de nuevas conducciones. Bajo este concepto, se realizó una clasificación general de los sistemas trenchless más utilizados, destacando en cada uno su funcionamiento básico, y las ventajas que produce.

Considerando estos principios, y la factibilidad de empleo en el territorio nacional, se seleccionaron las técnicas más convenientes, y teniendo en cuenta algunos proyectos realizados, se evaluó económicamente la aplicación de estos sistemas, frente al método convencional de corte abierto de zanja.

En el desarrollo de esta investigación, se logró determinar la existencia de las organizaciones internacionales dedicadas a esta tecnología, y las empresas proveedoras de equipos y herramientas trenchless.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Ingeniería Civil, Gómez Sánchez Jorge

## ABSTRACT

**TITLE\*:**

STUDY OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY, THE USE OF NEW SYSTEMS OF INSTALLATION AND/OR REPLACEMENT OF PIPES, WITHOUT EXCAVATION OF DITCHES, TO POTABLE WATER CONDUCTIONS.

**AUTHOR:**

MARIN IBARRA, Patricia\*\*

**KEY WORDS:**

Trenchless Techniques, Rehabilitation, Replacement, Installation, Feasibility

**DESCRIPTION:**

The technological advance has allowed the sprouting of new techniques that favor the underground work, well-known like Trenchless Technology. With this name a series of construction methods is defined that do not require the ditch excavation. These systems, have been coming executing for several years in the United States and some countries of Europe, with excellent results, and its success is in the elimination of almost all the problems generated by the excavation, and the earth handling in urban areas.

In the world a great variety of techniques without ditch exists, applied to the rehabilitation, replacement and installation of new conductions. Under this concept, a general classification of the used systems trenchless, emphasizing in each one its basic operation, and the advantages was made more that produces.

Considering these principles, and the feasibility of use in the national territory, the most advisable techniques were selected, and considering some made projects, economically evaluated the application of these systems, as opposed to the conventional method of opened cut of ditch.

In the development of this investigation, it was managed to determine the existence of the international organizations dedicated to this technology, and the companies suppliers of equipment and tools trenchless.

---

\* Grade project.

\*\* Physics Mechanics Engineering Faculty, Civil Engineering, Gómez Sánchez Jorge

## CONTENIDO

|                                           | Pág. |
|-------------------------------------------|------|
| INTRODUCCIÓN                              |      |
| TECNOLOGÍA TRENCHLESS                     | 3    |
| ANTECEDENTES                              | 8    |
| A. SISTEMAS DE TECNOLOGÍA TRENCHLESS      | 12   |
| 1. REHABILITACIÓN                         | 12   |
| 1.1 TÉCNICAS DE REPARACIÓN LOCALIZADAS    | 13   |
| 1.1.1 Chemical Stabilisation              | 12   |
| 1.1.2 Joint Sealing & Testing             | 13   |
| 1.1.3 Resin Injection Systems             | 14   |
| 1.1.4 Patch Repair Systems                | 15   |
| 1.1.5 Robotic Repair Systems              | 15   |
| 1.1.6 Rerounding                          | 18   |
| 1.2 TECNICAS LINING                       | 19   |
| 1.2.1 Cement Mortar Lining Systems        | 20   |
| 1.2.2 Epoxy Spray Lining Systems          | 21   |
| 1.2.3 Cure In Place Pipe Lining           | 23   |
| 1.2.4 Sliplining                          | 25   |
| 1.2.5 Swage & Die Draw Lining             | 30   |
| 1.2.6 Rolldown                            | 30   |
| 1.2.7 Deformed Pipe Lining                | 30   |
| 1.2.8 Subline                             | 31   |
| 1.2.9 Subcoil                             | 33   |
| 1.2.10 Thermopipe                         | 33   |
| 1.2.11 Spirally Wound Lining              | 34   |
| 1.2.12 Live Insertion                     | 36   |
| 2. REEMPLAZO                              | 37   |
| 2.1 PIPEBURSTING                          | 37   |
| 2.2 PIPE SPLITTING                        | 38   |
| 2.3 PIPE EATING                           | 40   |
| 2.4 LOAD EXTRACTION & REPLACEMENT SYSTEMS | 41   |
| 3. NUEVAS INSTALACIONES                   | 41   |
| 3.1 IMPACT MOLING                         | 42   |
| 3.2 PIPE RAMMINNG                         | 43   |
| 3.3 AUGER BORING & THRUST BORING          | 44   |
| 3.4 PIPE JACKING                          | 44   |
| 3.5 MICRO TUNNELLING                      | 45   |

|                                                |        |
|------------------------------------------------|--------|
| 3.6 GUIDED BORING & DIRECTIONAL DRILLING       | 46     |
| 3.7 CABLE PULLING                              | 46     |
| 3.8 CABLE BLOW IN SYSTEMS                      | 47     |
| <br>B. CRITERIOS DE SELECCIÓN                  | <br>48 |
| 1. IMPACT MOLING                               | 49     |
| 1.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO                     | 50     |
| 1.2 APLICACIONES                               | 51     |
| 1.3 MERCADO                                    | 52     |
| 1.4 RESUMEN DE VENTAJAS                        | 54     |
| <br>2. PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA HDD     | <br>56 |
| 2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO                    | 57     |
| 2.2 RESUMEN DE VENTAJAS                        | 60     |
| 2.3 EQUIPO DE DIRECCIÓN                        | 61     |
| 2.4 INTERFERENCIAS                             | 63     |
| <br>3. PIPE BURSTING                           | <br>64 |
| 3.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO                     | 64     |
| 3.2 CLASES PRINCIPALES                         | 67     |
| 3.1.1 Pipe Bursting Neumático                  | 67     |
| 3.1.2 Extensión Hidráulica                     | 68     |
| 3.1.3 Tirón Estático                           | 69     |
| 3.3 APLICACIONES                               | 70     |
| 3.4 MERCADO                                    | 73     |
| <br>C. EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA TRENCHLESS  | <br>76 |
| 1. EVALUACIÓN ECONÓMICA                        | 78     |
| 1.1 LA VALORACIÓN DEL SITIO Y LA SELECCIÓN     | 81     |
| 1.2 CONSIDERACIONES FINANCIERAS                | 82     |
| 1.3 CONSIDERACIONES ESTRATÉGICAS               | 83     |
| 1.4 ANÁLISIS ECONÓMICO                         | 86     |
| 1.5 BENEFICIOS ECONOMICOS GENERALES            | 88     |
| 2. CONSIDERACIONES PARA EL USO DE LAS TÉCNICAS | 90     |
| <br>D. TUBERÍAS DE POLIETILENO                 | <br>92 |
| 1. POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD                | 92     |
| 2. POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD                | 93     |
| 3. ANTECEDENTES                                | 94     |
| PROPIEDADES                                    | 96     |
| DENSIDAD                                       | 97     |
| FLEXIBILIDAD                                   | 98     |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| E. EQUIPOS                       | 99  |
| 1. EQUIPOS TRACTO – TECNIK       | 99  |
| 1.1 SISTEMA ESTÁTICO GRUNDOBURST | 99  |
| 1.2 SISTEMA DINÁMICO GRUNDOCRACK | 100 |
| 1.3 GRUNDOMAT                    | 102 |
| 1.4 GRUNDOPIT 40/60              | 104 |
| 1.5 SISTEMA DE HINCADO GRUNDORAM | 105 |
| 1.6 TOPO DIRIGIBLE GRUNDOSTEER   | 106 |
| 1.7 GRUNDOPULL                   | 108 |
| 1.8 GRUNDODRILL                  | 109 |
| 2. EQUIPOS VERMEER               | 111 |
| 2.1 VERMEER NAVIGATOR            | 111 |
| 2.2 HYDROBURST                   | 112 |
| 2.3 PORTABURST                   | 113 |
| 2.4 HYDROGUIDE WINCHES           | 113 |
| 3. EQUIPOS DITCH WITCH           | 114 |
| 3.1 HERRAMIENTAS DE PERFORACIÓN  | 114 |
| 3.2 PERFORADORAS HORIZONTALES    | 115 |
| CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES     | 125 |
| TERMINOLOGÍA TRENCHLESS          | 127 |
| ANEXOS                           | 142 |
| BIBLIOGRAFÍA                     |     |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                          | Pág. |
|----------------------------------------------------------|------|
| Figura 1: Chemical Stabilisation                         | 12   |
| Figura 2: Esquema Joint                                  | 13   |
| Figura 3: Inyección de la resina                         | 14   |
| Figura 4: Reparación parche                              | 16   |
| Figura 5: Foto Robot                                     | 17   |
| Figura 6: Cabeza de mando                                | 17   |
| Figura 7: Dispositivo de inserción                       | 18   |
| Figura 8: Rerounding                                     | 19   |
| Figura 9: Cement Mortar System                           | 20   |
| Figura 10: Gruesos de Cemento                            | 21   |
| Figura 11: Epoxy Resin System                            | 22   |
| Figura 12: C.I.P.P.                                      | 24   |
| Figura 13: Sliplining                                    | 26   |
| Figura 14: Empuje con equipo hidráulico                  | 27   |
| Figura 15: Esquema del sliplining                        | 28   |
| Figura 16: Inserción de tubería de PE                    | 31   |
| Figura 17: Subline                                       | 32   |
| Figura 18: Proceso thermopipe                            | 34   |
| Figura 19: Esquema revestimiento en espiral              | 34   |
| Figura 20: Revestimiento perfilado de tubería            | 35   |
| Figura 21: Proceso Bursting                              | 38   |
| Figura 22: Splitting                                     | 39   |
| Figura 23: Equipo Pipe Eating                            | 40   |
| Figura 24: Impact Moling                                 | 43   |
| Figura 25: Proceso Ramming                               | 43   |
| Figura 26: Auger System                                  | 44   |
| Figura 27: Pipe Jacking                                  | 44   |
| Figura 28: Microtunnelling                               | 45   |
| Figura 29: Perforación Dirigida                          | 46   |
| Figura 30: Cable Pulling                                 | 46   |
| Figura 31: Martillo de Impacto                           | 49   |
| Figura 32: Acción de los dos impactos de la cabeza móvil | 51   |
| Figura 33: Esquema del Impact Moling                     | 52   |
| Figura 34: Sistema Orientable                            | 55   |
| Figura 35: Equipo de perforación                         | 57   |
| Figura 36a: HDD. Ubicación de escariadores               | 58   |
| Figura 36b: HDD. Traza de perforación                    | 59   |
| Figura 36c: HDD. Inserción de la tubería                 | 59   |
| Figura 37: Pipe Bursting                                 | 65   |
| Figura 38: Bursting Head                                 | 66   |
| Figura 39: Operación típica del pipe bursting            | 66   |
| Figura 40: Bursting Neumático                            | 67   |
| Figura 41: Sistema Hidráulico                            | 68   |
| Figura 42: Perforación Estática                          | 70   |
| Figura 43: Estructura HDPE                               | 92   |

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| Figura 44: Logotipo HDPE                         | 93  |
| Figura 45: Estructura LDPE                       | 93  |
| Figura 46: Logotipo LDPE                         | 94  |
| Figura 47: Grundoburst                           | 99  |
| Figura 48: Grundocrack                           | 100 |
| Figura 49: Grundomat                             | 102 |
| Figura 50: Mini sistema de perforación dirigible | 104 |
| Figura 51: Grundoram                             | 105 |
| Figura 52: Grundosteer                           | 106 |
| Figura 53: Topo grundosteer                      | 107 |
| Figura 54: Grundopull                            | 108 |
| Figura 55: Cable que tira el dispositivo         | 108 |
| Figura 56: Lamina del gancho de corte            | 108 |
| Figura 57: Grundodrill                           | 109 |
| Figura 58: Perforadora Vermeer                   | 111 |
| Figura 59: Hydroburst                            | 112 |
| Figura 60: Portaburst                            | 113 |
| Figura 61: Hydroguide winches                    | 113 |
| Figura 62: Herramientas de perforación           | 114 |
| Figura 63: Modelo P40/P80                        | 115 |
| Figura 64: Modelo PT1010                         | 116 |
| Figura 65: Modelo JT520                          | 117 |
| Figura 66: Modelo JT920L                         | 119 |
| Figura 67: Modelo JT1720M1                       | 120 |
| Figura 68: Modelo JT2720 AT                      | 122 |
| Figura 69: Modelo JT 4020M1                      | 123 |

## LISTA DE TABLAS

|                                         | Pág. |
|-----------------------------------------|------|
| Tabla 1. Análisis Comparativo de Costos | 88   |

## LISTA DE ANEXOS

|                                             | Pág. |
|---------------------------------------------|------|
| Anexo A: LISTADO DE OBRAS                   | 142  |
| Anexo B: EVALUACIÓN DE PROYECTOS TRENCHLESS | 146  |
| Anexo C: ORGANIZACIONES TRENCHLESS          | 154  |

## INTRODUCCIÓN

Las tendencias irreversibles de urbanización a lo largo del mundo en vías de desarrollo, están ganando velocidad y cada vez, la población vá centrandose en las ciudades.

Las conducciones de servicios, se deben enfrentar continuamente a los problemas de envejecimiento en las tuberías de transmisión y de distribución. Los escapes debido a la corrosión representan un problema serio, sobre todo cuando ocurren roturas a lo largo de las conducciones.

Al mismo tiempo, los riesgos de salud causados por problemas de higiene aumentan exponencialmente. Esta crisis urbana tiene grandes alcances, en términos de salud, económicos y ambientales.

Normalmente hay buena disposición para el pago del agua básica, y la reparación de los servicios sanitarios en los barrios urbanos, siempre que los servicios sean apropiados, eficaces, y económicos. Sin embargo, es necesario mejorar la habilidad en la toma de decisiones efectivas que lleven a optimizar la distribución del agua y los sistemas de higiene.

Por varios años, se tuvo poco conocimiento del estado real de los servicios, la capacidad de las tuberías o los materiales utilizados. Se desconocía la condición de los revestimientos de los ductos, y con los problemas de goteo y de infiltración en las conducciones de agua, surgieron los problemas sanitarios.

La necesidad de obtener información sobre las tuberías y los conductos pequeños que dificultaban la inspección personal, dio

origen al desarrollo de los circuitos cerrados de televisión (CCTV), y las herramientas de telemando; permitiendo el conocimiento del interior de las tuberías, la identificación y la realización de las reparaciones posibles

Los proyectos de trabajos subterráneos generalmente se emprenden a:

- Proporcionar o extender nuevas redes de tuberías o conductos;
- El aumento de la capacidad de la red existente;
- Transferir los servicios sobre la tierra a debajo de la tierra;
- Reemplazar las tuberías defectuosas;
- Rehabilitar las tuberías existentes reforzándolas y aprovechando su capacidad estructural residual.

Todos estos proyectos requieren algún acceso de la superficie. Al llevarlos a cabo usando los métodos de Tecnología Trenchless, se logra la reducción en el área de la superficie requerida y en el tiempo, para que el espacio superficial se puede utilizar nuevamente, comparado con los proyectos de corte de zanja tradicionales, registrando además un mayor beneficio para los negocios, los residentes locales y al público en general.

La experiencia ha demostrado que en este tipo de técnicas, existe poca relación entre el costo y la profundidad. En general, comparados con el uso de los métodos de corte de zanja, los proyectos trenchless se caracterizan por la mínima ruptura de la superficie en un período más corto de tiempo; aspectos que favorecen la realización de la obra en cuanto a costos de construcción.

## TECNOLOGÍA TRENCHLESS

En el medio urbano, parece muy natural tener acceso al agua potable. Se usa para casi todo, se deja correr, siempre estuvo ahí, y se piensa que siempre estará. Después del oxígeno, el agua es el factor vital más importante. Sin embargo, el agua es un bien natural que escasea: mientras la población se cuadruplica en un siglo, el consumo de agua se multiplica por 9 y los consumos industriales por 40; la cantidad de agua en la tierra es limitada, y sobre todo, mal repartida en el tiempo y en el espacio.

Así mismo, es obvio que disponer de tuberías adecuadas en su captación, transporte y distribución, es un punto muy importante. Se necesitan tuberías que sean aptas para el transporte de agua potable, sin comunicarle sabores extraños, que sean económicas y duraderas. Pero durante años, el estado de estas conducciones fue un tema de poco interés; se daba por hecho, la buena condición de los servicios existentes a menos que se comprobara lo contrario.

En la realidad, el deterioro gradual ha pasado inadvertido. Pues bien, según una publicación de una organización sectorial francesa (Syndicat National des Fabricants de Tuyaux et Raccords en Polyoléfines) las pérdidas que se tienen en las tuberías son del orden del 25 al 50% del agua transportada. En países como Colombia, los registros por pérdida en el transporte de agua potable, son del 40 al 50%. Esta situación es totalmente inaceptable, tratándose de un bien tan necesario y cada vez más escaso.

Durante los últimos 25 años, no se tuvo un claro conocimiento del estado de los servicios de utilidad existentes. Se desconocía la condición de los revestimientos de los ductos, el goteo y la

infiltración, dirigidos con poca medida, favoreciendo la contaminación y los problemas de salud relacionados.

La necesidad de obtener información suficiente sobre estos temas, ha generado investigaciones alrededor del mundo. Hoy se cuenta con sistemas de información dirigida, circuitos cerrados de televisión adecuados para este tipo de obra, y nuevas técnicas para trabajos subterráneos, que favorecen el mantenimiento de los conductos existentes, y las nuevas instalaciones.

Por su localización en las ciudades y en las áreas urbanas, la instalación y la reparación de estas redes subterráneas, generalmente se realizan destapando el terreno, con la excavación de zanjas.

Las dimensiones de estos huecos, son proporcionales a la tubería instalada, y requieren la apertura de fosos o zanjas, con las técnicas tradicionales. Sin embargo, por el aumento de la población, de las ciudades, y de los conductos, este sistema, cada vez es más difícil; particularmente en las áreas congestionadas con el tráfico y las edificaciones.

Hasta hace poco, se pensaba que el uso de estas técnicas de construcción, para instalar y/o reparar redes de conducción, era la única opción; no obstante, existen una serie de factores que aunque no sugieren demasiada atención, elevan los costos de obra, generando incomodidades y peligros:

- el Impacto ambiental, social, y económico generado por las excavaciones,

- el levantar una calzada, los ruidos que producen los martillos neumáticos por la rotura del pavimento, los cambios de tipo y colores en los parches del pavimento,
- el hecho de que una obra por mínima que sea se demora más de lo previsto,
- la remoción de los volúmenes de material de excavación y relleno, que generan gran cantidad de material particulado (polvo), olores y gases,
- el aumento en la interrupción del tráfico vehicular y en muchas ocasiones peatonal generando un gran malestar en la comunidad residente y aledaña al lugar donde se está realizando la obra; y peor aun cuando se trata de una zona comercial donde por razón de estos inconvenientes las personas se abstienen de visitar este lugar ocasionando así una notable disminución en las ventas de los centros comerciales.

Por otro lado, en la compactación de la zanja se pueden cometer errores que no se visualizan y con el tiempo producen hundimientos y fugas cuya reparación acarrea duplicar los costos, más impacto ambiental y la posibilidad de afectar la seguridad de las personas, en especial cuando se trata de redes de agua potable, ya que por causa de estas fugas se pueden llegar a alterar las condiciones iniciales del fluido ocasionando así posibles contaminaciones.

Aunque en Colombia, no son muy conocidas, existen nuevas técnicas de instalación, rehabilitación o reemplazo de tuberías subterráneas, que reducen la congestión del tráfico, los impactos ambientales por el aire y la polución del ruido; la ocasión de basuras causadas por la tierra y las excavaciones del pavimento.

Esta alternativa innovadora es lo que se conoce como la Tecnología Trenchless, que describe cualquier forma de trabajo subterráneo con la mínima abertura de fosos. Estos sistemas de construcción pretenden minimizar los inconvenientes, por rotura, al ambiente circundante.

Aunque el campo de esta tecnología, se encuentra en desarrollo, se ha aplicado con éxito en trabajos importantes. En el territorio nacional, la utilización de estas técnicas, son cada vez más necesarias, y se predice su dominio, en el futuro inmediato; sin embargo, la mayoría de los servicios de utilidad subterráneos, aún se instalan y se reparan utilizando los métodos de corte de zanja abierta.

Inicialmente, esta tecnología respondió a las necesidades específicas de las industrias en diversos países. Por ejemplo, en Japón, la investigación del microtunnelling, surgió por una iniciativa gubernamental, orientada al crecimiento de los servicios de alcantarillado; en Singapur, las regulaciones gubernamentales y la necesidad de proporcionar los servicios en las áreas más densamente pobladas, promocionó el uso de esta técnica. En Europa, la investigación en microtunnelling fue patrocinada por el gobierno alemán, para su utilización en las grandes ciudades de la Llanura alemana Norte.

En el Reino Unido donde los pueblos y las grandes ciudades se había construido durante la Revolución Industrial en el siglo XIX, la necesidad principal era reemplazar y rehabilitar las viejas alcantarillas, tuberías de agua y conducciones de hierro colado para gas. Pero con el uso de gas natural, y el aumento de presiones se animó el desarrollo de las técnicas pipe bursting.

En 1986, países europeos, EE.UU. y Japón, se asociaron con el estudio de estas técnicas, bajo el nombre de "Tecnología de Trenchless". Hoy, se pueden categorizar ampliamente estas técnicas para los servicios de utilidad subterráneos según el propósito de su aplicación (nuevas instalaciones, reemplazo, rehabilitación).

En la actualidad, la Tecnología Trenchless (Tecnología sin Zanja), describe una familia de métodos de construcción, materiales y equipo, utilizados para la instalación, reemplazo y rehabilitación de la infraestructura subterránea; que se desarrollan con la mínima abertura de fosos. Los ejemplos incluyen el taladro direccional, la perforación, el microtunneling y el pipebursting. La meta principal de estas técnicas es minimizar los inconvenientes por rotura, al ambiente circundante.

Orientándose a los problemas de higiene en zonas urbanas, las Tecnologías de Trenchless tienen el potencial para rendir significativamente los beneficios ambientales y otros como las oportunidades de empleo, la molestia reducida a los usuarios, la reducción del consumo de combustible y las mejoras al flujo de tráfico.

## ANTECEDENTES

Aunque el campo de esta tecnología, todavía se está desarrollando, se han realizado trabajos importantes donde su aplicación se ha llevado con éxito:

En Europa, se conoce por ejemplo, una sustitución de colector de 800 mm de diámetro, con tecnología sin zanja, en el Centro de Hernani (Guipuzcoa), bajo el colegio Gay-Mur. La operación de sustitución del tubo de hormigón, seriamente deteriorado, por un tubo de P.E.A.D., se realizó en 2 horas, manteniendo el servicio por medio de un by-pass temporal, que fue retirado unas horas más tarde. La planificación minuciosa de la operación permitió minimizar las posibles reparaciones, no se deterioró ni la acera ni el muro colindante, permitiendo el paso en todo momento de la circulación rodada y peatonal, limitándose las actuaciones en la zona a dos días, en los que se realizó el paso del cable por el interior del colector a sustituir y la operación de sustitución propiamente dicha.

Para marzo del 2001, en Valladolid, se realizó una perforación por debajo de las instalaciones de gas, teléfono y de alcantarillado. El tubo instalado fue un P.E.A.D. de 160 mm de diámetro, y 70 m de longitud, alcanzando profundidades máximas en torno a los 6,5 m, en terreno arcillo-arenoso. La operación se realizó en un área de alta densidad de tráfico, una de las principales salidas de Valladolid (Ctra. Soria), entrada de Polígono Industrial y paso de una gasolinera con capacidad tanto para turismos como para camiones. En ningún caso se interrumpió el tráfico, y se llevó a cabo en dos días.

Actualmente en los Estados Unidos, trabaja un equipo por cada 37500 habitantes, mientras que en la Argentina funciona tan sólo una unidad cada 910000 personas. En La Plata (provincia de Buenos Aires), sólo se puede trabajar con tuneleras, porque no se permite la apertura de zanjas (salvo en casos inevitables), de esta manera, se han puesto a la vanguardia de un sistema usado en todo el mundo.

En 1997, en Gainesville (Florida, U.S.A.), se utilizó la tecnología trenchless. La operación entera requirió apenas 5 horas de tiempo real de la construcción, dando por resultado 514 pies (156.66 m) de nueva línea de agua de 2 pulgadas (60.3 mm) y cuatro nuevos servicios aumentados de  $\frac{3}{4}$  de pulgada (26.7 mm) a 1 pulgada (33.40 mm) con casi ninguna excavación.

Los diámetros y longitudes que se pueden alcanzar dependen de varios factores: tipo de suelo, diámetro y material de la tubería, longitud del cruce, tipo de interferencia, profundidad o tapada. Esto hace que cada trabajo sea distinto, pero como ejemplo, se puede decir que el cruce de mayor longitud ejecutado fue de 400 metros con un ducto de acero de 8 pulgadas (219.1 mm) en el Gasoducto de la Costa y el de mayor diámetro (48 pulgadas), también en acero, en 51 metros de longitud en el esquema de alcantarillado de Paraná. El valor depende de la potencia de trabajo.

En la Argentina, se vienen utilizando en la última década los más avanzados y modernos sistemas de rehabilitación (Pipe Cracking, Pipe Bursting, U-Liner) de tuberías existentes, sistemas de perforación horizontal dirigida (Directional Drilling) para instalación de nuevas redes de agua, gas, telefonía, TV cable; construcción de grandes conductos para instalaciones de servicios públicos (con

sistemas de microtunelería), sistemas de inspección televisiva, sonar, sistemas de detección de instalaciones subterráneas, sistemas de georadar, Pipe Ramming System y tal vez el más extendido y conocido, el sistema de topos neumáticos (Pneumatic Moles).

Desde el año 1987 HEICOVEN viene trabajando en Venezuela en la rehabilitación de tuberías para aguas servidas de gran diámetro, 60 cms y mayores, en donde puede caminar o deslizarse un hombre. En este sentido, la actividad ha estado dirigida principalmente a la rehabilitación de alcantarillas de carreteras, muchas de ellas totalmente colapsadas, realizando la limpieza, reconstrucción de la estructura tubular y revestimiento final de la superficie interior del tubo con mortero de arena-cemento, todo sin interrupción del tráfico vehicular. Para la fecha se han ejecutado trabajos sobre mas de 700 alcantarillas de carreteras, y se han ejecutados numerosos proyectos especiales de reconstrucción de tuberías de drenajes colapsadas en zonas urbanas.

En Lima, la Tecnologías en Zanja fue ejecutada en el distrito de Breña. Tratándose del sistema de agua potable, la longitud total de tubería a intervenir en este distrito fue de 56.7 km., los cuales se rehabilitaron mediante limpieza y revestimiento con mortero de cemento; 6.4 km. fueron reemplazados mediante fragmentación de tubería y 9.7 km. fueron reemplazados mediante el método tradicional de corte abierto. En el sistema de alcantarillado, se empleó un total de 11.0 km. de tubería en el distrito de Breña, de los cuales 4.2 km. fueron reemplazadas mediante la fragmentación de tubería ("Pipe Bursting") y 6.8 km. fueron reemplazados mediante el método tradicional de corte abierto.

El trabajo que se realizó en el distrito de Breña representa la primera aplicación de dos principales Tecnologías sin Zanja (es decir, Fragmentación de Tubería y Revestimiento de Tubería con mortero de cemento).

Las opciones de Trenchless ofrecen varias ventajas incluyendo:

- Reduce al mínimo del coste total de rehabilitación de la tubería
- Evita la excavación costosa
- Reduce el tiempo de la construcción
- Reduce las interrupciones al tráfico peatonal y de vehículos así como al ambiente
- Conserva los jardines existentes
- Restaura la integridad de la tubería
- Reduce las interrupciones del servicio en curso.

La selección de la mejor alternativa en términos de costos y de eficiencia, requiere un conocimiento previo de las condiciones de sistema y de las alternativas disponibles.

## A. SISTEMAS DE TECNOLOGÍA TRENCHLESS

Básicamente, los sistemas de tecnología trenchless utilizados para las tuberías subterráneas se pueden agrupar en tres categorías:

Renovación o rehabilitación de conducciones existentes.

Reemplazo en línea de tuberías existentes.

Instalación de nuevas tuberías y servicios.

### 1. REHABILITACIÓN

Es quizás la aplicación más amplia del mercado trenchless. Se origina por la necesidad de rehabilitar las tuberías defectuosas, prolongando su vida estructural y física residual.

Las variaciones en las técnicas de rehabilitación, relacionan el material usado, el espesor de la pared proporcionada para compensar los defectos estructurales o físicos, el tiempo de la rehabilitación, y el tiempo en que se interrumpe el servicio existente.

El alcance de un proyecto de rehabilitación de una tubería es determinado sobre todo por los requisitos de funcionamiento, pero las consideraciones económicas, generalmente favorecen la eliminación. La solución final, es la renovación total de una tubería igual o más grande que la existente.

Sin embargo, esta opción no siempre es práctica por razones financieras, y en muchos casos no es autorizada por la condición de la tubería. Dependiendo de la condición del tubo y de la vida de servicio prevista del tubo rehabilitado, se pueden aplicar diversos métodos de rehabilitación.

En todos estos métodos, la condición de la tubería tiene que ser determinada antes y después de la rehabilitación.

Básicamente, se pueden determinar como:

- Técnicas de reparación localizada
- Técnicas de recubrimiento

### 1.1 TÉCNICAS DE REPARACIÓN LOCALIZADAS

Los sistemas de reparación se usan para corregir problemas de servicio localizados o defectos estructurales dentro de una tubería. Estos métodos, pueden agruparse como técnicas de estabilización o sistemas de reparación estructural. En general, una técnica de estabilización reparará un problema localizado, como la infiltración, sin incorporar a la integridad estructural de la tubería.

Típicamente, las técnicas de estabilización incluyen el chemical-stabilisation, el joint-sealing y la resin-injection aunque en algunas circunstancias el último también puede clasificarse como una reparación estructural.

Por definición, la corrección de un defecto por un método de reparación estructural mejorará la integridad estructural de una tubería. Las técnicas de la reparación estructurales típicas incluyen el CIPP, patch repair, robotic repairs y el pipe re-rounding.

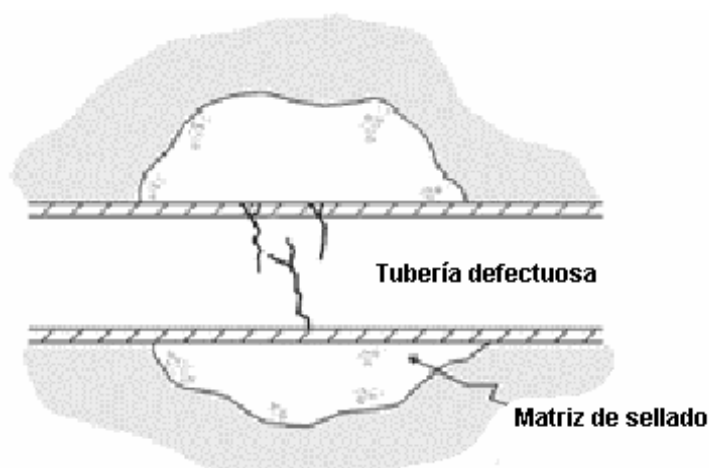
Algunas técnicas de Reparación:

- Chemical Stabilisation
- Joint Sealing & Testing
- Resin Injection Systems
- Patch Repair Systems

- Robotic Repair Systems
- Rerounding
- Lateral Cutting

#### 1.1.1 Chemical Stabilisation

Es un método de renovación en el cual se sella el tramo afectado, entre dos puntos de acceso, introduciendo uno o más compuestos en solución en la tubería y la tierra circundante, produciendo una reacción química. Estos sistemas realizan el sello de grietas y cavidades, la disposición de una nueva superficie de la pared con características hidráulicas mejoradas o la estabilización del suelo.



Originado en Hungría, el sistema se ha desarrollado y se utiliza como sistema “no destructivo” en la reparación de tuberías

Figura 1: Chemical Stabilisation

Básicamente, se aísla el tramo a reparar, taponando las entradas, y después se llena por una boca, con una solución química, segura ambientalmente (generalmente silicato del sodio). Después de un lapso determinado de tiempo, para permitir que el producto químico impregne en los empalmes y las grietas, la solución se bombea hacia fuera rápidamente.

El tramo se llena entonces de una segunda solución química, que reacciona con el residuo del primer producto químico para formar una membrana impermeable. El segundo producto químico también se bombea hacia afuera y la tubería se limpia para quitar cualquier residuo. La reacción química entre los componentes sella los empalmes y las grietas en la tubería, estabilizando el suelo circundante.

La ventaja más importante del método es la posibilidad de tratar los escapes a través del sistema entero en una sola operación.

#### 1.1.2 Joint Sealing & Testing

Sello y verificación de juntas en la tubería defectuosa con una lechada usando un packer (embalador). Todas las actividades son de un solo proceso. El embalador es cilíndrico, y de menor diámetro que el tamaño de la tubería. Tiene cables unidos, en cada extremo, para tirar de él a través de la línea.

El embalador combina las funciones del escape de prueba y la inyección de la lechada. La prueba común y el sellado pueden o no ser localizados, dependiendo de cuántos empalmes fallen. Se coloca a través de un empalme de tubería y se somete el embalador a presión con elementos inflables en los extremos. Esta presión de aire o de agua, se aplica a la sección, desde el centro del embalador midiendo el índice de pérdida de la presión a través del empalme. Si la pérdida excede un límite determinado, se inyecta un compuesto de resina de sello en el empalme a través del embalador y se reexamina el empalme.

La lechada se combina con la tierra alrededor del empalme sellado para formar una masa impermeable, que previene los escapes y realza la estabilidad estructural.

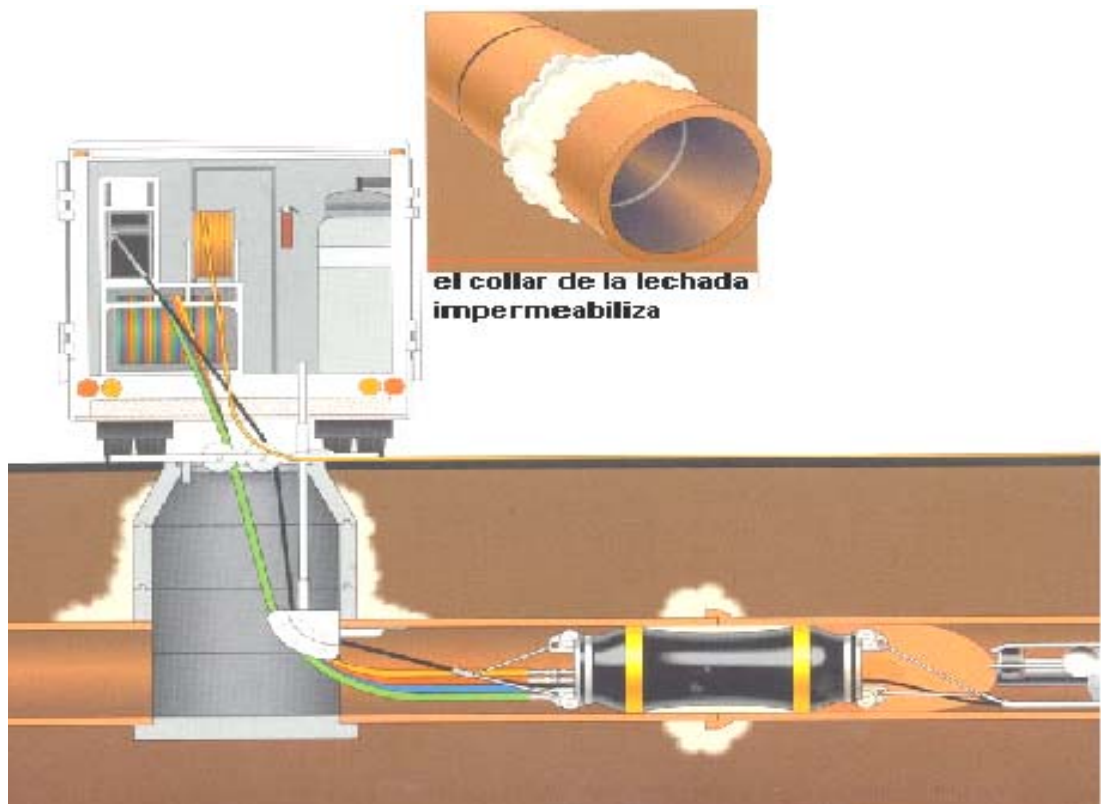


Figura 2: Esquema Joint

Las lechadas de poliuretano son hidrofóbicas y reaccionan con agua libre en el suelo o con una solución del agua inyectada a través del embalador al mismo tiempo que la lechada.

Generalmente, se recomienda un cociente de 1 porción de lechada a 8 porciones de agua para el sellado de la tubería.

### 1.1.3 Resin Injection Systems

Reparación localizada de tuberías por inyección de una fórmula de resina, para reazar el curado, previniendo el goteo y la deterioración. Normalmente se usa una resina de epoxy o mortero. La técnica se usa generalmente cuando se han identificado problemas de infiltración. Sin embargo, se debe tomar cuidado en las áreas de niveles freáticos altos, particularmente si el agua funciona a lo largo de la línea de la tubería.

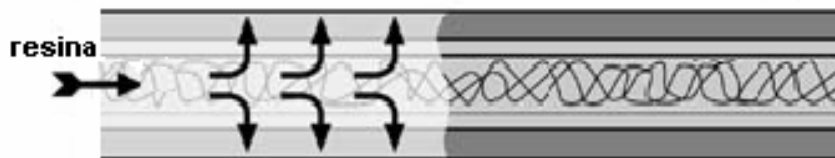


Figura 3: Inyección de la resina

Se coloca un embalador inflable en la zona a reparar. Aislado el tramo, se repara por la inyección de una resina de epoxy que rápidamente se fija en la grieta, la fractura o el agujero en la pared de la tubería. Se deja el embalador en la posición hasta que la resina realiza la curación, luego se desinfla y se quita. Generalmente permanece un collar interno fino de resina, después de que se ha retirado el embalador.

Los recientes avances incluyen la capacidad de producir una guarnición uniforme, de espesores mayores, para proporcionar cierta dureza, próxima a una reparación estructural.

Se han desarrollado sistemas de inyección más sofisticados para resolver las crecientes demandas de la industria. Muchas compañías que emplean el método requieren que todos los parámetros de

proceso estén controlados. Estos parámetros incluyen la variedad en temperaturas, presión, volumen inyectado total, etc.

Estos sistemas más sofisticados son conducidos casi siempre por motores eléctricos, que permite un control más exacto sobre parámetros como el caudal y la presión de la inyección. Sin embargo, el aspecto más ventajoso de un sistema de inyección controlado eléctricamente es la capacidad de automatizar el proceso. Con el uso de motores eléctricos es muy fácil controlar el sistema con el software que permite reducir el potencial de error del operador y las situaciones peligrosas.

#### 1.1.4 Patch Repair Systems



Reparación localizada de la tubería que se realiza colocando una manga corta de material impregnado de resina dentro del tramo defectuoso.

Figura 4a: Detalle del curado interior

Las técnicas de la reparación con remiendo implican el impregnar una tela con una resina específica y colocarla dentro de la tubería, alrededor de un embalador inflable. El embalador se llena de agua de vapor o de aire bajo presión, presionando el remiendo contra la pared existente de la tubería mientras que la resina realiza el curado.

Las resinas son generalmente de poliéster (temperaturas ambiente) o de epoxy (curación termal). Las prácticas de funcionamiento seguras son necesarias sobre todo, cuando la impregnación de la

tela se realiza en el sitio de obra, por la posibilidad del derramamiento de productos químicos, contra la buena ventilación que se necesita mientras las resinas del poliéster emiten el estireno

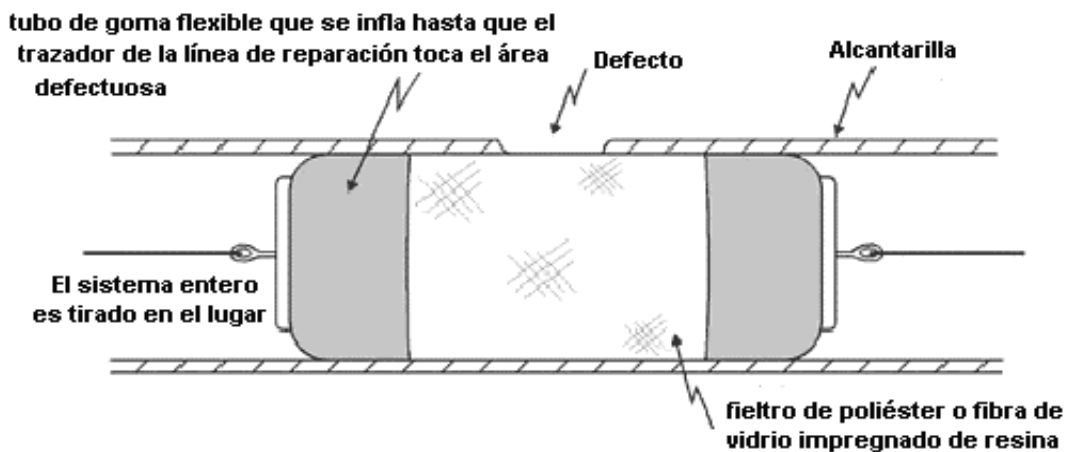


Figura 4b: Reparación parche

Es importante, controlar las variaciones de temperatura de los materiales, hasta que el remiendo se realice dentro de la tubería y evitar la curación prematura, que puede ocasionar fallas. El tiempo de curado depende de la formulación de la resina, del espesor del remiendo, de la temperatura dentro del embalador, y de la temperatura de la pared existente de la tubería. Después de curar, se desinfla y se quita el embalador. El remiendo se debe entonces examinar por CCTV.

#### 1.1.5 Robotic Repair Systems

Se utiliza un dispositivo de mando a distancia con CCTV que supervisa la reparación localizada de defectos y de obstrucciones usando herramientas que muelen y que llenan.

Los sistemas robóticos de reparación para las conducciones de gravedad comprenden los dispositivos del molido y del llenado.

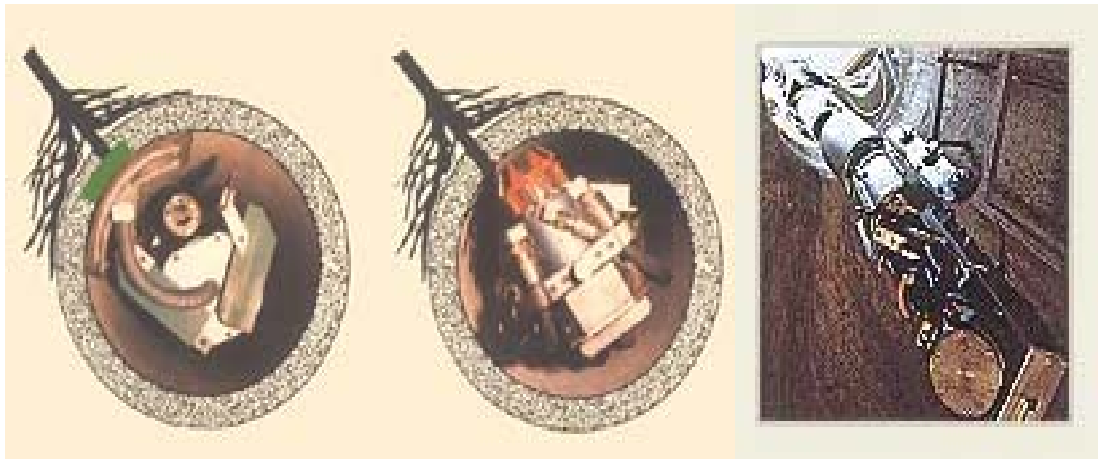


Figura 5: Foto Robot

El primero retira las intrusiones existentes dentro de la tubería y los muele fuera de las grietas para proporcionar una buena superficie para los materiales de reparación. El llenador aplica un mortero de epoxy en la ranura formada. Se cuenta con dispositivos pequeños para funcionar en diámetros de 200 a 400 milímetros; y más grandes para diámetros de 300 milímetros a 800 milímetros.



Figura 6: Cabeza de mando

La cabeza que muele, conducida hidráulicamente, permite su utilización, aprovechando varias formas del cortador para hacer frente a la mayoría de los materiales que puedan existir en la

tubería. Los cortadores son refrescados generalmente por un aerosol de agua, lubricándolos para la operación.

La operación de los dispositivos automotores es supervisada por una cámara fotográfica de CCTV unida a la cabeza. El mortero de epoxy bipartito se puede mezclar antes de llenar el frasco. El epoxy, aplicado por un sistema de inyectores controlados y de espátulas, se inyecta con una placa o un anterior flexible presionándolos contra la pared de la tubería.

Las conexiones laterales pueden ser reparadas sellando las conexiones a la tubería principal con la resina de epoxy. Algunos dispositivos del llenador pueden inyectar espuma extensible, en la lechada hidrofóbica, para parar la infiltración.

Los sistemas robóticos de reparación son versátiles pero necesitan un programa del trabajo constante para ser económicamente viable.

#### 1.1.6 Rerounding



Pétalos de acero

Figura 7: Dispositivo de inserción

Consiste en la inserción de un dispositivo de expansión en una tubería deformada para retornarla a su forma redonda inicial, para

una reparación permanente con el uso de una técnica de revestimiento.

El Re-redondeo no es una técnica independiente; busca formar de nuevo una tubería deformada antes de la reparación de remiendo o de reforzar. La deformación de tuberías entre el 10% y el 35% es típica para este tipo de reparaciones temporales.

El sistema del ampliador se infla con presión hidráulica o, alternativamente, abriendo los pétalos de acero del topo hacia fuera por arietes hidráulicos.

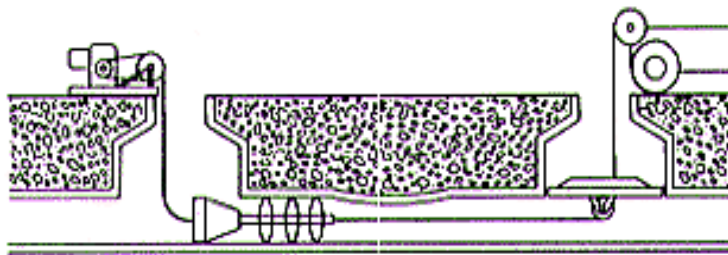


Figura 8:  
Rerounding

Se debe tener cuidado con las tuberías seriamente dañadas, ya que la unidad tomará la trayectoria que presente menos resistencia al ampliarse. Por ejemplo, si hay un vacío debajo de la tubería invertida (como resultado de la exfiltration), el dispositivo puede ser forzado desde abajo cuando se está ampliado.

También es importante seguir con la reparación de remiendo lo más pronto posible, después de la operación de re-redondeo, (en un plazo de 24 horas), ya que el dispositivo limita la fuerza estructural y puede llegar a deformarse.

## 1.2 TECNICAS LINING

- Cement Mortar Lining Systems
- Epoxy Spray Lining Systems
- Cure In Place Pipe Lining CIPP
- Sliplining
- Swage & Die Draw Lining
- Deformed Pipe Lining
- Spirally Wound Lining
- Live Insertion
- Service Pipe Renovation Methods

### 1.2.1 Cement Mortar Lining Systems

El revestimiento con mortero de cemento es el procedimiento de halar una herramienta rotatoria de salpicado a través de una tubería a una velocidad controlada, para la aplicación de un mortero de cemento (generalmente de 4mm aprox de espesor) sobre las paredes de la tubería existente, raspada y limpiada previamente, para controlar la corrosión interna

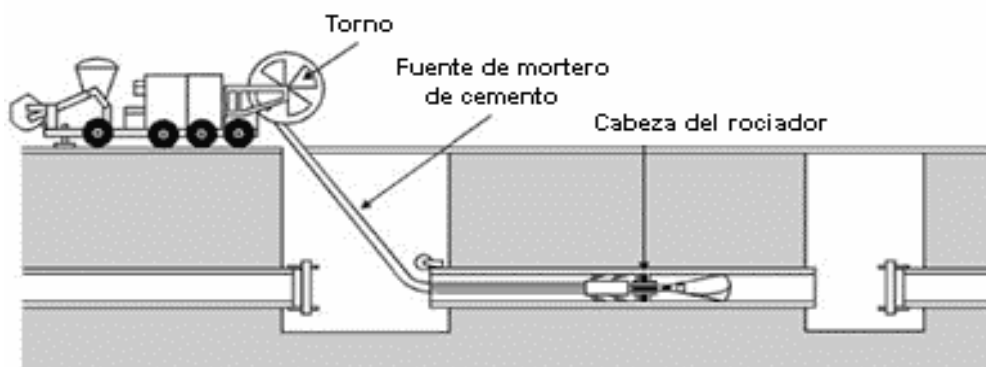


Figura 9: Cement Mortar System

La protección con cemento en las tuberías de agua, fue utilizado originalmente en Australia en 1905 (recubriendo manualmente el

interior del conducto), pero ha sido reemplazado por las máquinas de rocío por centrifugado. Este sistema fue desarrollado en los Estados Unidos en los años 30 para tuberías de gran diámetro y modificada en gran Gran Bretaña en los años 50 para tuberías de diámetro más pequeño.

Las tuberías y otras estructuras rutinariamente están cubiertas con los sistemas interiores de protección. El sistema de capa aísla la sustancia de la estructura del electrólito corrosivo. Este sistema permite ampliar la vida de servicio de la tubería, reduciendo al mínimo los escapes debido a la actividad interna de corrosión.

El control de la corrosión es esencial para el buen funcionamiento a largo plazo de la infraestructura. Una vez que se emprenda un programa de control de la corrosión, las ventajas económicas son evidentes. La eliminación de muchas fallas en la tubería y en el equipo, relacionados con corrosión reduce los costos de mantenimiento, y asegura la entrega limpia del agua al cliente.

| Cemento Estándar                 | Alineado Grueso             |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Tamaño de la tubería (milímetro) | Espesor Nominal (milímetro) |
| 100-350                          | 3                           |
| 350-600                          | 5                           |
| 700-1200                         | 6                           |
| 1400-1600                        | 9                           |

Figura 10: Gruesos de cemento

Esta tabla muestra los espesores recomendados por la ISO 4179 para tubería de hierro alineada con cemento.

La aplicación de un mortero de cemento, permite alinear la tubería de hierro. Este mortero es un cemento de Portland-tipo según ASTM C150. Se aplica usando un proceso centrífugo de alta velocidad, y permite consolidaciones densas, lisas, uniformes, y a la pared de la tubería, ofreciendo muy poca resistencia friccional, al flujo de agua.

### 1.2.2 Epoxy Spray Lining Systems

Existen métodos para rehabilitar tuberías con un revestimiento delgado de resina (típicamente 1mm de espesor) que se rocía en la superficie del conducto. Estas técnicas se usan para reforzar las capacidades estructurales del conducto.

El mortero de cemento y el recubrimiento de epoxy son las dos técnicas de protección de tubería más usadas, generalmente en la industria de agua, sobre todo, cuando no es posible la entrada de personal en las tuberías. El objetivo es quitar la corrosión superficial, aplicando una capa que reduzca la deterioración y detenga los escapes de menor importancia.

El recubrimiento de la resina de epoxy en las tuberías de agua es una alternativa, desarrollada para eliminar las deficiencias del proceso de protección del betún, mientras conservaba sus ventajas operacionales.

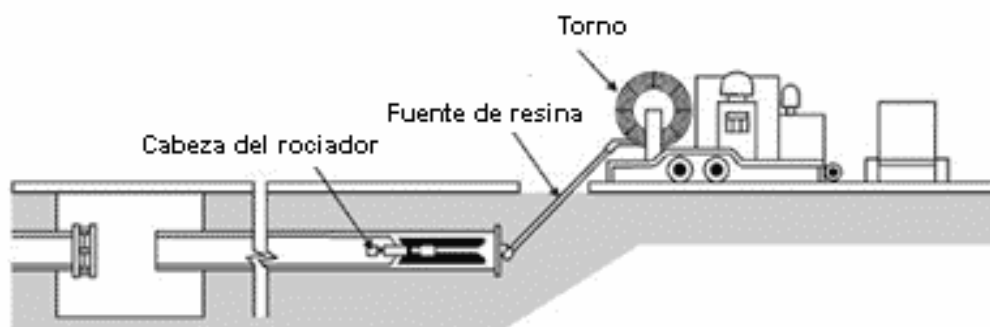


Figura 11: Epoxy Resin System

El recubrimiento con epoxy tiene dos ventajas importantes sobre el recubrimiento con mortero de cemento. Por ser de epoxy cura más rápido, la tubería puede volver al servicio en 8-9 horas contra un mínimo de 24 horas para la guarnición del mortero de cemento. Además, el espesor de la capa para el epoxy, según lo practicado en la industria, es solamente de 1 milímetro sin importar el tamaño de la tubería, evitando lo menos posible, la reducción del diámetro en las tuberías más pequeñas.

El recubrimiento más fino también representa menos material utilizado, de esta forma, se disminuyen los costos.

En esta técnica, una cabeza que rota a alta velocidad es manejada por un torno a través de la tubería, depositando por centrífugado, el material de la guarnición sobre la superficie interna. Por más de cincuenta años, el mortero de cemento se ha utilizado para las tuberías diámetros mayores a 75 mm, para prevenir la infiltración y la pérdida de capacidad. Sin embargo, se ha aprobado el material de resina de epoxy para tuberías de agua potable, y recientemente se está utilizando para diámetros hasta de 600 mm.

La guarnición con aerosol, es un nuevo concepto en la rehabilitación de la tubería. Esta operación se realiza en la superficie y dentro de los conductos existentes, evitando las excavaciones de zanja. Se está utilizando para diámetros entre 150 y 600 mm.

### 1.2.3 Cure In Place Pipe Lining

Tubería Curada en Sitio ("Cured in place pipe"). Esta técnica es más utilizada en las aplicaciones de alcantarillado que de agua potable. El proceso de CIPP fue desarrollado por Insituform en Inglaterra a

principio de los años 70, y se ha utilizado en tuberías circulares y no-circulares de 4 a 108 pulgadas de diámetro.

La rehabilitación CIPP implica la inversión o pull-in de un tubo recubierto con un fieltro impregnado de resina en una tubería, con el que se realiza el curado. Después de que el sistema del recubrimiento de la tubería de CIPP ha sido instalado y curado, se utiliza un dispositivo especial de corte con una cámara de circuito cerrado de TV, para abrir de nuevo las conexiones del servicio.

La naturaleza flexible del fieltro saturado de resina antes de curar permite la instalación alrededor de curvas, el llenado de grietas, y maniobrar con los defectos de la tubería. Con la rehabilitación CIPP la tubería reparada, no queda con ningún empalme o costura y tiene una superficie interior muy lisa que mejora realmente la capacidad de flujo, a pesar de una leve disminución del diámetro.

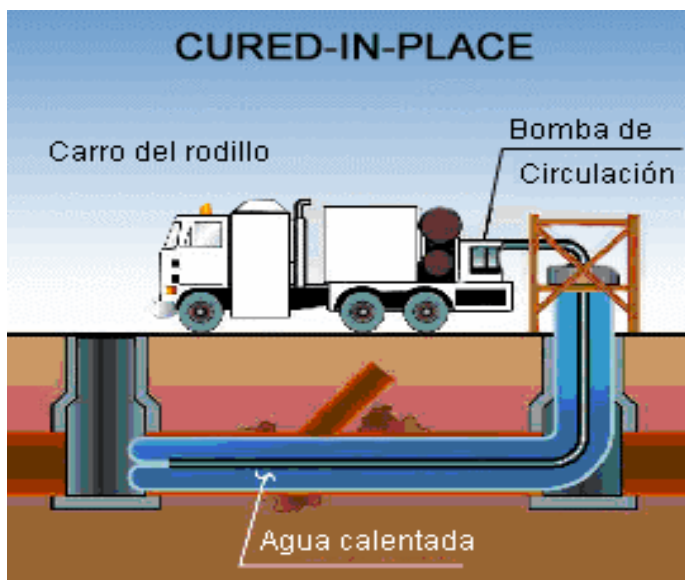


Figura 12: C.I.P.P.

La rehabilitación CIPP se puede lograr rápidamente y sin excavación, favoreciendo las reparaciones de tuberías situadas debajo de las estructuras existentes, de árboles grandes o de calles

o carreteras congestionadas donde la interrupción del tráfico debe ser reducida al mínimo.

En esta técnica, se impregna a temperatura ambiente, una resina termoendurecible, en un tubo flexible con un perímetro igual a la circunferencia interna de la tubería defectuosa. El tubo es entonces sometido a presión contra la pared de la tubería desde un punto de acceso, y calentado "in-situ" (con agua, vapor o aire) para curar la resina, formando así una guarnición estructural competente.

Durante la curación el tubo es sostenido firmemente contra la tubería por el agua o la presión del vapor.

Entre las ventajas de este sistema, se tienen: un índice relativamente rápido de renovación; las pequeñas variaciones en el diámetro de la tubería pueden ser acomodadas; generalmente no se requiere ninguna obra entre la guarnición y la tubería; los sistemas usados son capaces de trabajar en curvas. Aunque también tiene algunas limitaciones: el número limitado de resinas que tienen aprobación para el uso con agua potable; la tubería no debe tener una desviación vertical mayor el de 10%.

Se conoce de alineamientos de tubería, entre 4 y 96 pulgadas de diámetro (10 y 244 cms). Históricamente, el CIPP ha sido algo más costosa que el reemplazo total de la tubería y mucho más costosa que el sistema sliplining. Durante varios años, algunos fabricantes de los productos para el CIPP, se han incorporado en el mercado, promoviendo la técnica, la competencia y los precios bajos.

#### 1.2.4 Sliplining

Tubería Insertada ("Slipining" SL), consiste en la colocación de una tubería de revestimiento parcial o continuo, dentro de una tubería existente: los ejemplos incluyen el tirado en tuberías de longitudes largas de PE dentro de los conductos de agua o la inserción de tuberías individuales dentro del alcantarillado. Este método produce una reducción importante en la sección transversal de la tubería anfitriona. El espacio anular entre la tubería insertada y la tubería existente se rellena con mortero de cemento. Generalmente es una técnica de bajo costo.

Un trazador de líneas de MDPE o del HDPE es insertado dentro de una tubería defectuosa tirando a través de ella en una sola longitud continua. Generalmente, se requiere el sellado del espacio anular entre la tubería existente y la nueva.



Figura 13:  
Sliplining

Es necesario un foso de entrada para permitir el acceso al trazador de líneas. Los rodillos se utilizan para proporcionarle ayuda al trazador de líneas y para prevenir daños mientras se tira desde la recepción. Antes de la inserción del trazador de líneas, las conexiones del servicio necesitan ser excavadas y ser desconectadas.

Las longitudes de la tubería se pueden acoplar en secuencias para formar una guarnición continua, o se acoplan antes de la inserción si no hay bastante espacio en el sitio para almacenar una secuencia de la tubería. Las tuberías se pueden acoplar mecánicamente o por soldadura por fusión en el extremo.

Sliplining es realizado generalmente halando (winching) el trazador de líneas a través de la tubería. Sin embargo, en sitios donde está limitado el espacio, es posible instalar el trazador de líneas realizando una excavación de acceso. En este caso, el trazador de la línea se vá acoplando en el foso, utilizando gatos hidráulicos para empujarlo en la posición.

El alineamiento con tuberías continuas generalmente genera una reducción en la sección y aunque reduce la fricción de la tubería, la disminución total de la capacidad flujo es hasta del 30%.

En esta técnica la inserción del trazador de líneas es rápida; el grado de habilidad que se requiere es bajo; se pueden alinear varios cientos de metros de la tubería en una sola operación; es menos costoso que la excavación tradicional; la rehabilitación permite acomodar curvas de radio grandes.



Figura 14:  
Empuje con  
equipo  
hidráulico

Sin embargo, son generalmente necesarias las excavaciones locales para volver a conectar redes de servicio; los flujos se deben desviar durante la instalación; el movimiento del trazador de líneas dentro de la tubería existente puede dañar las conexiones de servicio.

El trazador de líneas del Sliplining se puede realizar con varios materiales, incluyendo el cloruro de polivinilo, el polietileno (el PE), el polipropileno, el pololibutileno y el hierro. El trazador de líneas se empuja o se tira en el lugar.

Sliplining se puede utilizar para corregir una variedad de problemas estructurales; sin embargo, las tuberías seriamente machacadas o derrumbadas no se pueden rehabilitar con esta técnica y deben ser substituidas.

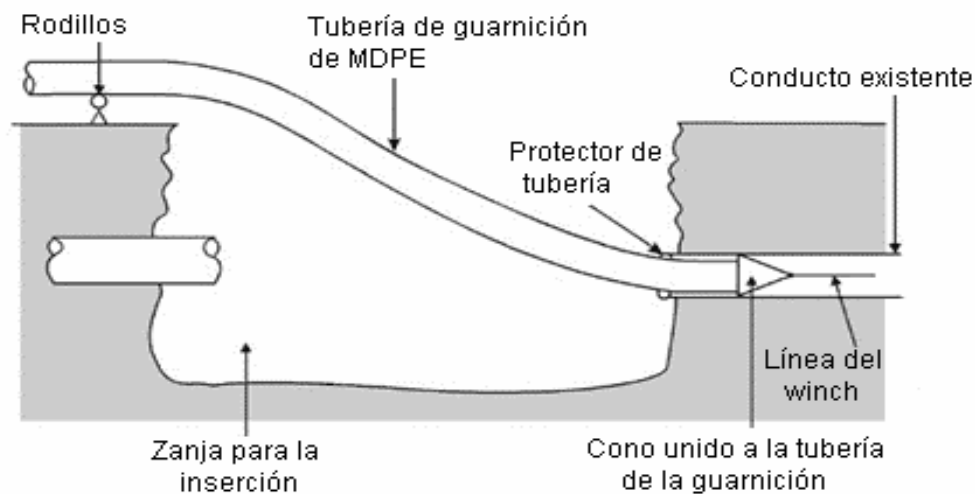


Figura 15: Esquema del sliplining

El uso de la tubería existente como conducto para el trazador de líneas previene la posible interrupción de otras utilidades. Entre sus desventajas, se observan: como resultado del Sliplining se reduce el área seccionada transversal, sin embargo, el bajo coeficiente de la

fricción del material del trazador de líneas puede compensar esta reducción.

El espacio anular entre la vieja tubería y el trazador de líneas requiere de mampostería o espaciadores.

La industria del gas ha estado insertando tubería de PE en el gasóleo que se había deteriorado por muchos años. Además, el sliplining se ha utilizado con éxito en alcantarillado, drenes de aguas lluvia, y tuberías de servicio de plantas industriales.

La experiencia de la industria del gas con sliplining presenta algunas diferencias entre el gas natural y los requisitos del sistema de agua potable:

- La mayoría de sliplining en conducciones de gas se limita a conducciones importantes de transmisión que tienen muy pocas conexiones deservicio.
- Las disminuciones significativas de diámetro son aceptables para el gasóleo pero no para las conducciones de agua.

Con el planeamiento apropiado, el sliplining puede ser una alternativa viable de reemplazo, si la disminución del diámetro de la tubería no representa mayores problemas. Es rentable, y más conveniente para localizaciones urbanas; sin embargo, si ocurre un escape en la tubería nueva del trazador de líneas, será difícil localizar y reparar porque el agua no emergerá cerca del escape real.

Esta técnica tiene el mérito de la simplicidad y es relativamente barata. Sin embargo, puede haber pérdida significativa en la capacidad hidráulica.

Por otra parte, se ha desarrollado una alternativa, el Sliplining modificado, que utiliza las características el PE o PVC para permitir la reducción temporal del diámetro o su cambio de forma antes de la inserción en la tubería defectuosa. La tubería insertada se amplía posteriormente para formar un ajuste apretado contra la pared de la tubería original, así evita la necesidad de la pieza anular que mampostería como en el sliplining convencional.

Los dos materiales más comúnmente usados para sliplining son la tubería termoplástica de polietileno de alta densidad (HDPE) para las tuberías de hasta 48 pulgadas (22 centímetros) de diámetro y la tubería reforzada de fibra de vidrio de poliéster (FRP) para tuberías más grandes. Las excavaciones se hacen para un foso de inserción y en cada localización lateral. El canal que resulta es siempre más pequeño que la tubería original.

Con esta técnica, la cantidad de excavación es mucho menor que la requerida para el reemplazo completo de la tubería. Los costos son generalmente más bajos para sliplining que el reemplazo debido a esta reducción en las excavaciones.

La principal desventaja de sliplining es la pérdida en la capacidad. Como el slipliner se inserta en la tubería existente, el área de la sección transversal de la tubería instalada es menor que el de la tubería existente. En algunos casos esta reducción es compensada por el bajo coeficiente de rugosidad del polietileno que la mayoría de los casos, es más bajo que el de la tubería rehabilitada.

Parte del trabajo de sliplining no es fácilmente visible. La inspección de la construcción, por lo tanto, es más difícil que con el reemplazo de la tubería.

#### 1.2.5 Swage & Die Draw Lining

El revestimiento de tubería con material termoplástico ajustado se logran estirando una línea de tubería por tirado a través de uno o más troqueles, para producir una reducción temporal en su diámetro. Esto permite a la línea de tubería nueva entrar en la tubería principal haciendo contacto con su interior, porque al ubicarse dentro de la línea existente, recupera su diámetro original.

#### 1.2.6 Rolldown

Este sistema de revestimiento se logra con el ingreso de una línea de tubería tirándola a través de uno o más juegos de rodillos produciendo una reducción temporal de su diámetro. Esto permite que la tubería ingrese en el ducto existente, haciendo contacto con su interior.

#### 1.2.7 Deformed Pipe Lining

En este sistema la tubería de PE es empujada fuera de la instalación en forma de "U" y enrollada hacia un tambor. Esta forma crea una especie de despacho para la instalación de la tubería de PE en la tubería existente.

La tubería plegada es sometida a presión con vapor, que redondea el ducto, para formar un ajuste dentro de la tubería principal, mientras sella el goteo y previene la corrosión. El sistema se diseña para ductos de distribución de diámetros pequeños.

La deformación de la tubería permite que sea insertada fácilmente en la línea existente. Una vez que está insertada, el vapor de agua caliente presuriza la tubería, hasta que se amplía ajustándose contra la tubería existente. La tubería del trazador de líneas, completamente intacta, se refresca lentamente, manteniendo la forma de la tubería rehabilitada. Las tuberías laterales se reinstalan por dispositivos robóticos, similar al método usado para la rehabilitación CIPP.



Figura 16: Inserción de tubería de PE

La tubería nueva no depende de la tubería existente para responder a ningún propósito; por lo tanto, la capacidad del sistema puede seguir siendo igual o aumentar, en caso de ser necesario.

#### 1.2.8 Subline

El sistema de Subline involucra el plegado de polietileno delgado (PE) en forma de "C" para permitirle ser instalado dentro de una tubería existente. La forma se sostiene por una serie de vendas. Esto crea una especie de despachador para la instalación de la tubería de PE en la tubería principal que será renovada.

La tubería plegada se presuriza con agua a temperatura ambiente. Esto rompe las vendas permitiendo al conducto volver a su forma

original, formando un ajuste dentro de la tubería principal, mientras sella el goteo y previene la corrosión.

Este sistema utiliza la tubería estándar de polietileno (PE) para crear el trazador de líneas dentro de una tubería existente. Se diseña específicamente para diámetros hasta de 60 pulgadas.

La tubería doblada se encaja a presión permitiendo que vuelva a su forma original, para formar un ajuste cerrado dentro de la tubería existente, sellando y previniendo la corrosión.

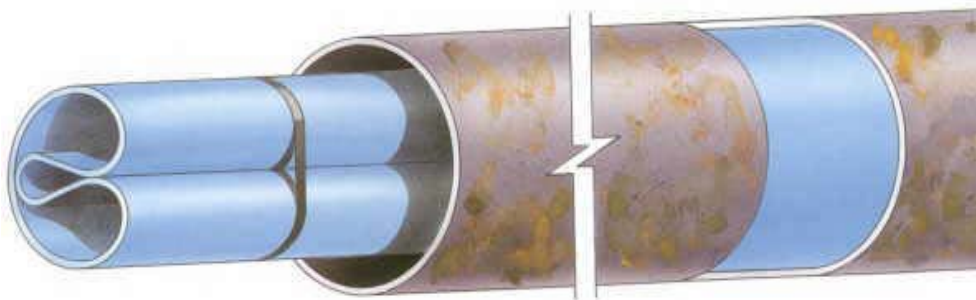


Figura 17: Subline

El proceso se realiza en frío. No se requiere ningún equipo de calefacción adicional. Debido a la aplicación de fuerzas mínimas, por el winch, el alargamiento que sufre la tubería también es el mínimo, reduciendo las tensiones residuales después de la instalación.

Otras ventajas de este sistema, es la disposición para tuberías de 3 a 60 pulgadas de diámetro; el curado de la salida del tubo recubre corrosiones internas; es una instalación de bajo costo que proporciona una pared fina, alisando el conducto perforado, y maximiza la capacidad de flujo; utiliza materiales estándar de polietileno; no perturba servicios adyacentes; se requieren

espesores de pared, de ¼ a 1 pulgada; favorece las instalaciones de ductos mayores a 1000 metros de longitud, en una sola inserción; la instalación rápida reduce al mínimo la interrupción y los costos de reforrar, que corrige agujeros y boquetes.

#### 1.2.9 Subcoil

En el sistema de Subcoil la tubería de PE se fabrica plegada en forma de "U" que se sostiene por una manga continua. El producto es luego enrollado en un tambor.

Al insertarla en la tubería existente, la tubería plegada es presurizada en frío rompiendo la manga y permitiendo al conducto volver a su forma original, se ajusta dentro de la tubería reparada, sellando el goteo y previniendo la corrosión. El sistema se diseña para la renovación de ductos de distribución de ramales pequeños.

#### 1.2.10 Thermopipe

El thermopipe es un tejido circular, de poliéster reforzado, de tensor alto, un sistema de revestimiento de polietileno. Es ideal para la renovación de conductos de distribución de agua y otros sistemas de tubería presurizados.

El thermopipe es semi-rígido cuando se enfría. Una vez tirado dentro de la tubería, inflado y calentado se pone flexible y se extiende. Esto le permite un ajuste a la tubería principal, mientras proporciona el revestimiento estructural.

Este sistema soluciona problemas internos severos de deterioro y mejora la calidad del agua, proporcionando una guarnición continua, impermeable de la tubería.

Puede trabajarse en la mayoría de las curvas y permite que los servicios existentes se vuelvan a conectar con las nuevas reparaciones. Thermopipe reduce al mínimo el tiempo de la instalación y la interrupción en el sitio.

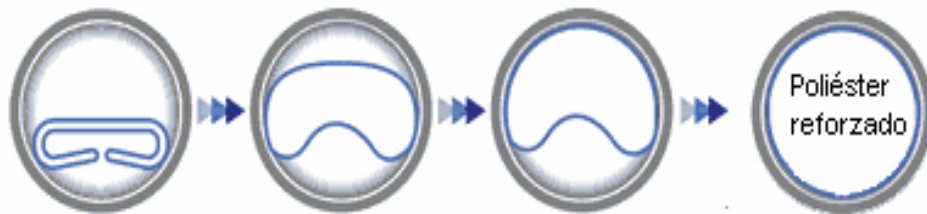


Figura 18: Proceso thermopipe

#### 1.2.11 Spirally Wound Lining

En este sistema una tira plástica es introducida espiralmente o helicoidalmente para formar un revestimiento continuo. Inicialmente se sostiene en el lugar por la expansión de una hélice. Una capa de lechada puede inyectarse entre el conducto y las paredes de la tubería principal. El sistema se usa generalmente en sistemas de alcantarillado.

Los sistemas de renovación de espirales consisten en una tira plástica acanalada, generalmente de 12 pulgadas de ancha, que se adhieren para formar una tubería continua instalada en una tubería defectuosa. La tubería nueva se usa para conducciones sin presión, por lo tanto es conveniente para conducciones sanitarias y de aguas lluvia.

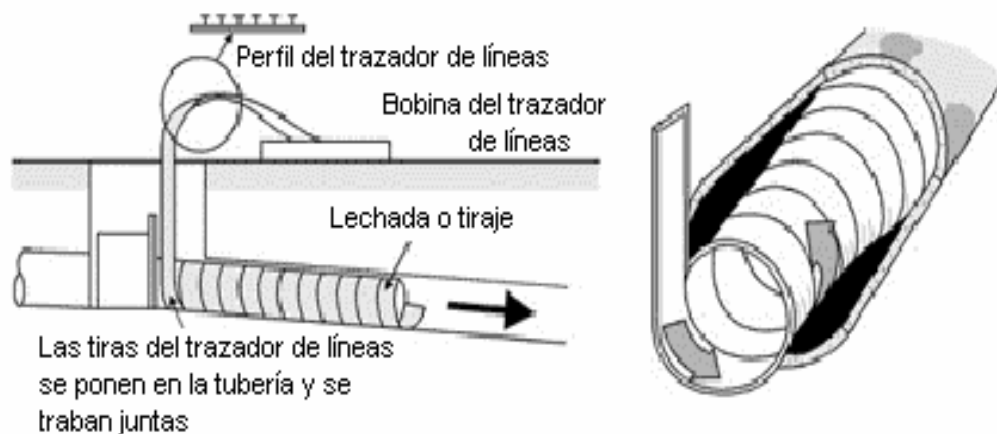


Figura 19: Esquema revestimiento en espiral

Este proceso se utiliza principalmente para renovar tuberías donde no es posible la entrada de personal. La tira generalmente tiene una superficie externa T-acanalada con los bordes que se acoplan. Esta tira se alimenta a través de una máquina de bobina que traba los bordes de la tira para formar una guarnición continua. La máquina, transforma la tira helicoidal, en una tubería cilíndrica.



Figura 20: Revestimiento perfilado de tubería

Una vez que sea insertado, rotando el extremo de la reparación, se hace el empalme y el diámetro del trazador de líneas se amplía haciendo un contacto ajustado con el diámetro interno de la tubería existente. No se requiere ninguna mampostería. Este contacto cercano con la pared de la tubería existente asegura que la pérdida de sección de la tubería sea la mínima posible.

Cuando es posible la entrada de personal, primero se limpia la tubería y se quita cualquier raíz, incrustación u obstáculos laterales que se encuentren en el ducto. Las bobinas de la tira plástica perfilada se colocan en el foso de inserción y en la conducción existente. Entonces se ensambla el trazador de líneas junto con una tira fina que conecte los bordes del trazador de líneas juntos. Esto se hace manual o mecánicamente por dentro de la tubería. La porción anular es rellenada.

Se han realizado recientes progresos que incorporan una máquina de bobina que produce un trazador de líneas plástico de la espiral mientras que se pasa a través de una tubería deteriorada. La máquina de bobina tiene la capacidad de ampliar y de contraer en diámetro, dándole la capacidad de trabajar cambios dimensionales en la tubería anfitrión. Las características adicionales permiten que la máquina de bobina localice y marque las conexiones laterales para el restablecimiento subsecuente.

El recubrimiento en espiral es conveniente para tuberías de cualquier material y en diámetros de 150-2500 milímetros. La bobina espiral se hace del material de PVC.

Con esta técnica, se pueden instalar longitudes largas, en una sola operación, rápida y el trazador de líneas puede proporcionar la

ayuda estructural; el radio se puede acomodar, cambiando el diámetro y la ovalidad leve en la tubería existente. Solamente las secciones circulares pueden ser tratadas (la ovalidad leve se puede tolerar); pero se requiere de personal entrenado para el funcionamiento del equipo de la bobina; la excavación externa, puede ser requerida, para las conexiones laterales, la reducción de la capacidad hidráulica puede ser significativa para algunos tamaños de tubería.

#### 1.2.12 Live Insertion

La inserción es un método de revestimiento de una tubería de hierro colado con PE. La tubería vieja de hierro colado se aísla durante el proceso de la inserción. Este sistema, es utilizado principalmente en ductos de baja presión, pero la técnica también puede usarse donde el PE se ate en un nuevo ducto de presión media.

## 2. REEMPLAZO

El reemplazo de tuberías defectuosas o con exceso de carga se ha identificado como una necesidad urgente, más ahora que se tiene conocimiento sobre la condición de las instalaciones más antiguas.

En el proceso de reemplazar un conducto, la tubería defectuosa se estalla, generalmente fracturándola, usando un instrumento neumático o hidráulico; los fragmentos son compactados en la tierra circundante o removidos a través de la nueva tubería que se tira tras la herramienta de molido.

Algunos métodos de reemplazo en línea de utilidad existente incluyen los conductos de gas, las tuberías de agua potable, las alcantarillas y potencialmente los cables:

- Pipebursting
- Pipe Splitting
- Pipe Eating
- Lead Extraction & Replacement Systems

### 2.1 PIPE BURSTING

Es la fragmentación de la tubería existente, empujando los pedazos rotos en el terreno circundante, instalando simultáneamente la nueva tubería, acoplada al elemento que va fragmentando la tubería existente. Este método de reemplazo, es usual en líneas de tuberías fracturables de excavaciones de 10 a 200 m de diámetro.

Se ha demostrado su viabilidad en ductos de gas, conducciones de agua y alcantarillado. Un dispositivo que ensancha, que puede ser

neumático o hidráulico, se introduce en la tubería defectuosa, mientras se fragmenta la tubería vieja y se atrae la línea nueva detrás de él.

El proceso de Pipebursting permite que una nueva tubería del polietileno (PE) sea tirada a través de una vieja tubería de igual o menor tamaño. Esto es posible porque la cabeza del Pipebursting rompe la vieja tubería mientras se tira a través de ella, y empuja los pedazos hacia fuera en el suelo circundante.

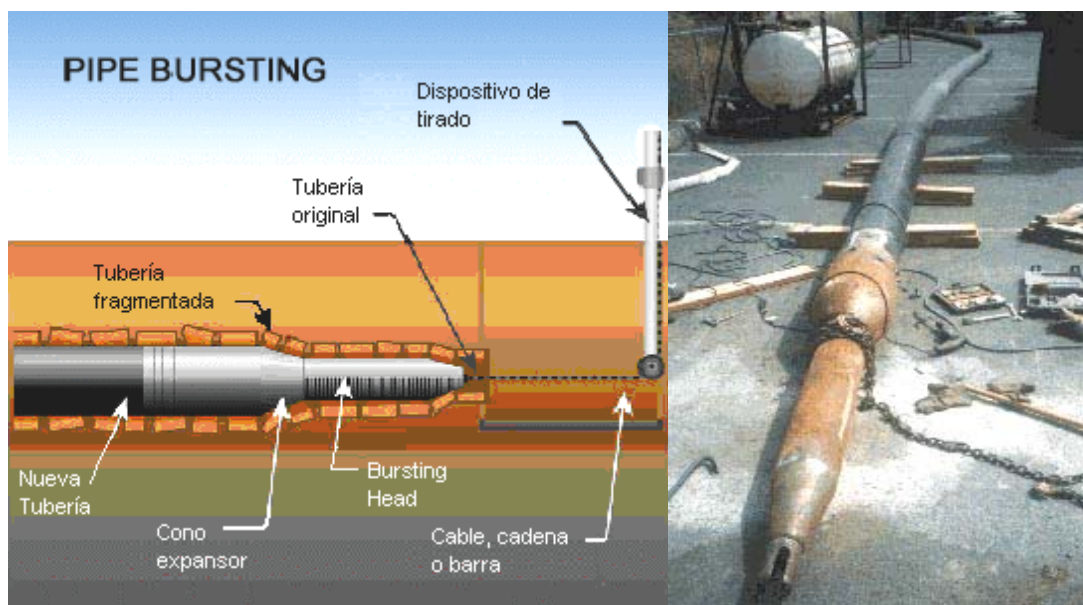


Figura 21: Proceso Bursting

La vieja tubería puede ser de cualquier tipo de material fracturable, como hierro, arcilla, o concreto. Como los pedazos quebrados de la vieja tubería se empujan nuevamente dentro del suelo circundante, la tubería nueva puede ser del mismo tamaño o un poco más grande que la tubería que substituye.

Se puede tener la idea de que la tubería de PE es estirada mientras se tira a través de la vieja tubería, pero en realidad no es así. El cable del remolque está conectado solamente con la cabeza del

Pipebursting. Como consecuencia, toda la tensión está en el cable y la cabeza. La tubería del PE simplemente es arrastrada hacia adelante.

## 2.2 PIPE SPLITTING

La técnica pipe splitting, fue desarrollada por la compañía de abastecimiento de agua de Berlín, para realizar el reemplazo trenchless de las tuberías de plomo con tuberías de HDPE, en las conexiones domiciliarias. Sin embargo, el reemplazo trenchless de las tuberías de plomo es difícil debido a la inestabilidad de su estructura. Se rasgan fácilmente o se deforman por la compresión, por lo tanto no pueden ser tiradas o ser eliminadas simplemente del suelo como, por ejemplo, las tuberías de acero.

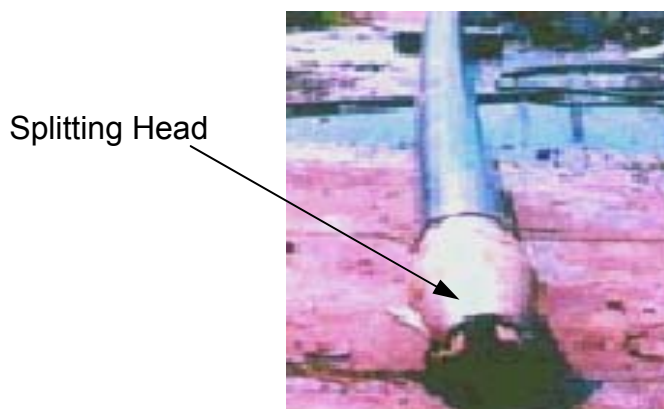


Figura 22: Splitting

El fraccionamiento de la tubería es similar en la técnica al Pipebursting pero se usa en tuberías no fragmentables como las de Acero, Hierro o Polietileno. La técnica generalmente es la misma pero en lugar de utilizar la cabeza cónica del estallido, estos sistemas usan otras cabezas que diseñaron los especialistas para cortar a través de la pared de la tubería y en juntas, extendiendo la tubería existente en la tierra circundante.

Esta técnica fue desarrollada específicamente para substituir tuberías de acero. Utiliza una cabeza que consiste en una serie de discos que apunta en el interior de la tubería. Éstos son seguidos por una lámina que corta abriendo la tubería defectuosa. El expansor detrás de la lámina empuja las secciones de la tubería abierta para permitir que la tubería de reemplazo sea instalada.

Pipe Splitting es útil para tuberías de acero de 50-150 milímetros de diámetro. La tubería de polietileno es conveniente para la nueva tubería y una longitud típica de uso es de 150 m.

Permite aumentar la capacidad de la tubería, con menos interrupción en la superficie.

### 2.3 PIPE EATING

El pipe eating es una técnica de reemplazo de microtuneleo en línea. La tubería defectuosa existente se aplasta (o es comida), por la máquina del tunnelling y alejada a través de la nueva tubería.

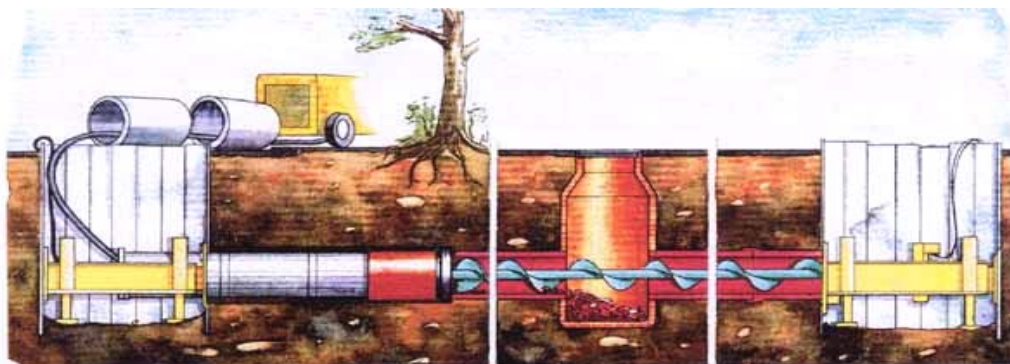


Figura 23: Equipo Pipe Eating

La técnica consiste en un protector microtunnelling que se ha adaptado especialmente para permitir que se retire la tubería rota y se excave con la tierra. Este protector tiene un diámetro más

grande que la tubería existente, Un cono excéntrico montado en el protector machaca los fragmentos de la tubería para facilitar su retiro del protector.

Los fragmentos de la tubería se pueden quitar por la excavación del vacío o bombeando de la mezcla. En el primero de estos sistemas, la presión del vacío permite que los despojos sean aspirados lejos del protector a tanques ubicados en la superficie. En el sistema de la mezcla, el agua o la bentonita se circula a través del protector y nuevamente retorna a la superficie. Los fragmentos de tierra y de la tubería se quitan de la mezcla, que luego es reciclada de nuevo al protector. En este sistema, la tubería existente se debe sellar para mantener la presión de la mezcla.

El protector del pipe eating, se empuja hacia adelante a lo largo de la ruta de la tubería existente usando gatos hidráulicos. Las tuberías de reemplazo están conectadas con la parte posterior al protector que hace el túnel. El protector del pipe eating se recupera en el eje de recepción, dejando una tubería nueva en lugar de la tubería defectuosa. Esta técnica se puede utilizar para substituir tubos de diámetro de 200 a 600 milímetros de diámetro. Algunas máquinas pueden substituir el concreto reforzado.

## 2.4 LOAD EXTRACTION & REPLACEMENT SYSTEMS

Se usan varios sistemas de extracción para reemplazar tuberías de servicio de acero predominantemente. Las técnicas son variadas, pero básicamente, se sujetan las tuberías a reemplazar para extraer el acero existente o llevar (previamente insertada con un cable de acero) las tuberías.

### 3. NUEVAS INSTALACIONES

Las técnicas de aplicación de la Tecnología Trenchless se desarrollan continuamente. Las mejoras cubren diámetros más grandes y más pequeños, paseos más largos, mayor exactitud, diferentes condiciones de tierra, instalaciones más rápidas y curvas, y la habilidad para trabajar en profundidades mayores.

Los archivos para las nuevas instalaciones en términos de tamaño, distancia y asignación de ruta (la dirección) se están renovando todo el tiempo.

Las técnicas orientadas a la instalación de nuevas conducciones, incluyen:

- Impact Moling
- Pipe Ramming
- Auger Boring & Thrust Boring
- Pipe Jacking
- Micro Tunnelling
- Guided Rod Pushing
- Guided Boring & Directional Drilling
- Cable Pulling
- Cable Blow In Systems

#### 3.1 IMPACT MOLING

El Impact moling es una técnica en la cual la acción de percusión o de martilleo de una herramienta neumática de perforación es utilizada para crear un alesaje condensando y desplazando el suelo. Cuando es empleado correctamente, el impact moling es el método

trenchless más simple y el menos costoso de la tecnología de instalación.

Las ventajas generales del impact moling se tienen los bajos costos operacionales y de restablecimiento; es el método trenchless menos costoso; sirve en todas las condiciones de suelo, excepto la roca; no requiere ninguna excavación más allá de los hoyos de la conexión y de los puntos de recepción, necesarios para la tubería instalada; presenta una interrupción mínima en la superficie, y es ambiental y socialmente beneficioso.

El término de impact moling, se asocia generalmente a los dispositivos de dirección no-dirigidos o limitados sin un accesorio rígido en el hoyo del lanzamiento, donde se asume la buena resistencia de la tierra para el avance. Durante la operación el suelo se desplaza, no se quita.

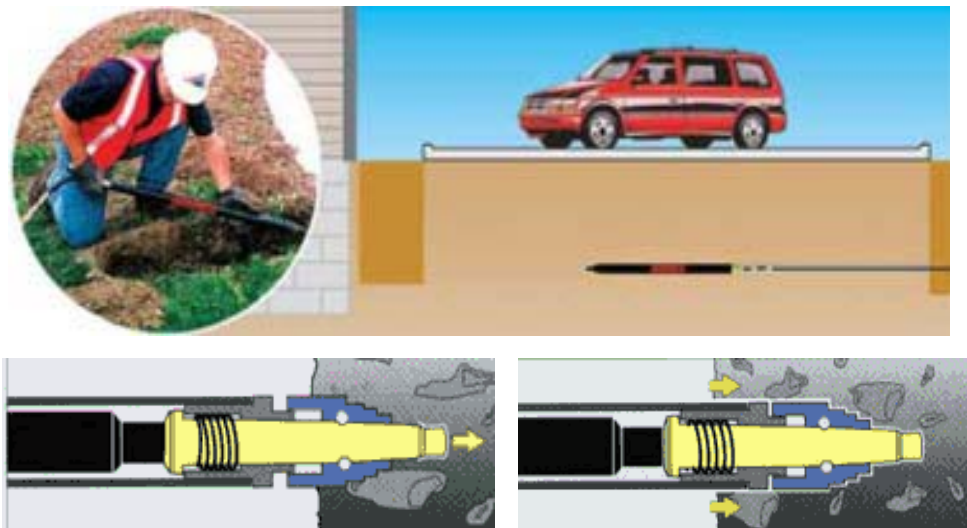
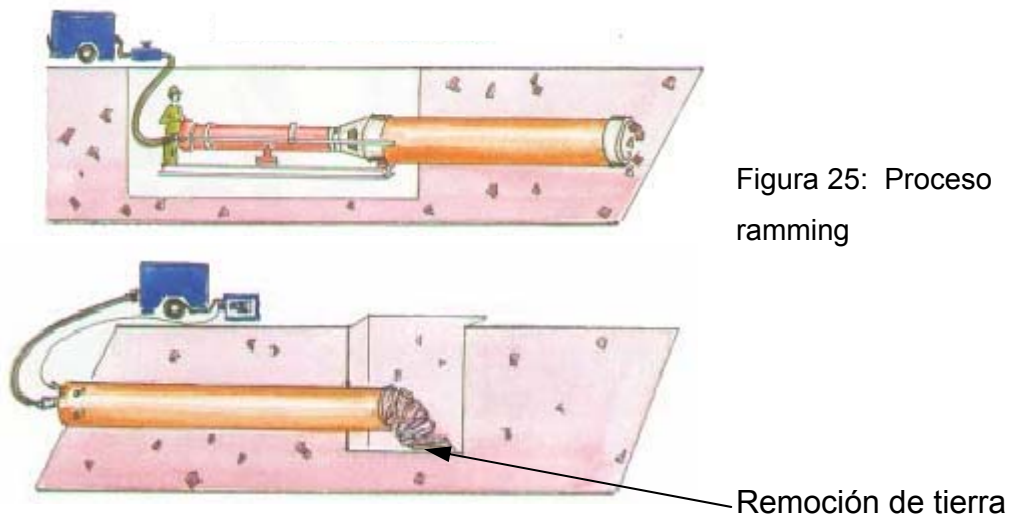


Figura 24: Impact Moling

### 3.2 PIPE RAMMING

Pipe ramming es una técnica simple que utiliza un martillo neumático, para manejar las cubiertas de acero a través de la tierra de un hoyo a otro. Se han logrado los rellenos de tuberías por encima de 2m diámetro y excediendo 70m en la longitud.



### 3.3 AUGER BORING & THRUST BORING

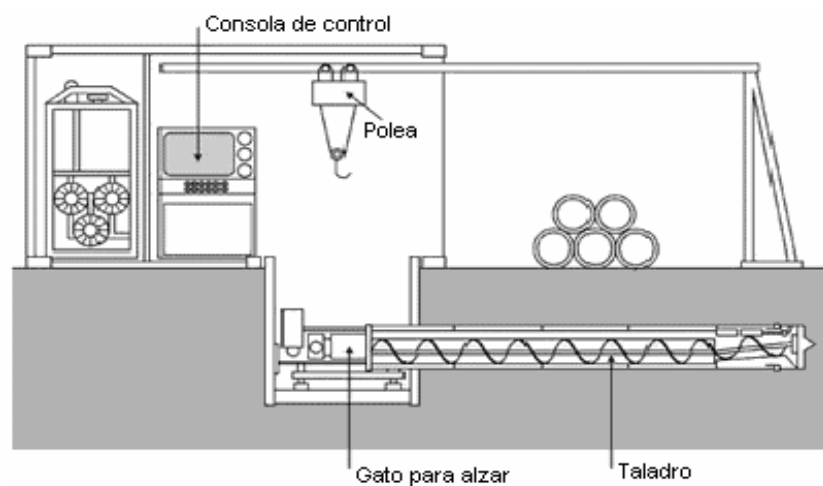


Figura 26: Auger System

Técnica que forma un orificio, con el paso de un taladro hasta un hoyo de recepción, por medio de una cabeza cortante que gira. El despojo regresa al hoyo de inserción, gracias al movimiento helicoidal del taladro.

### 3.4 PIPE JACKING

Un sistema instala las tuberías directamente detrás de una máquina escudo de alzado hidráulico que a manera de gateo, perfora el suelo e instala la tubería, formando un cordón continuo en la tierra.

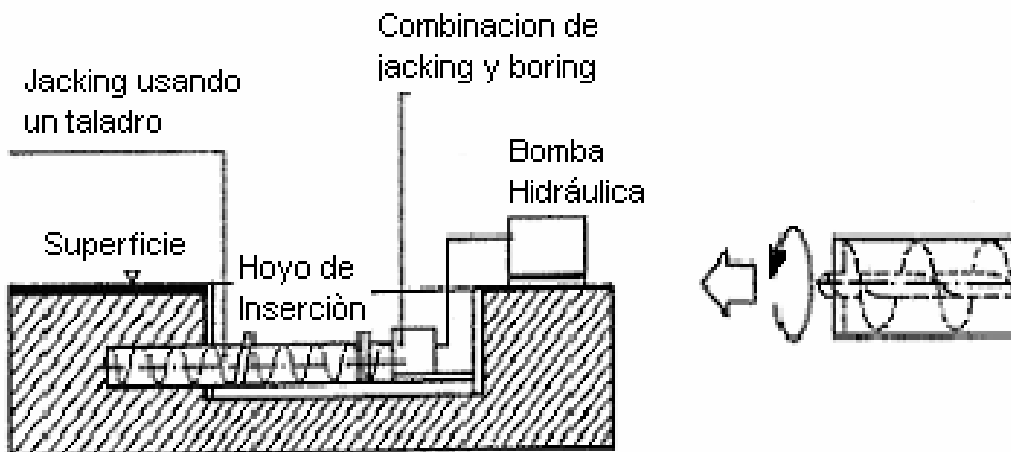


Figura 27: Pipe Jacking

### 3.5 MICRO TUNNELLING

Microtunnelling se usa como un término general para describir los sistemas de tunelado mecánico, controlados a remoto, donde el despojo es removido de la cabeza cortante dentro de la nueva tubería que está avanzando en la perforación.

Generalmente es usado para tuberías que van de las 18 pulgadas a las 54 pulgadas de diámetro y de 40 a 50 pies de profundidad. Entre

las ventajas de esta técnica , se considera como un sistema cerrado; donde el agua y el lodo son retirados de la tierra por separados, disminuyendo el riesgo de contaminación al medio ambiental.



Cabeza  
perforadora  
(unida a la  
tubería nueva)

Figura 28:  
Microtunnelling

Como su manejo se controla con un equipo de láser guiado, la ruptura que se realiza en la superficie es mínima. Este sistema es particularmente eficaz en instalaciones por debajo del nivel freático, en tierras sin consolidar y donde existen obstrucciones.

La instalación es similar de muchas maneras al socavar tradicional, el microtunneling es un método sin ingreso de personal para instalar tuberías de gran diámetro. Utiliza una máquina perforadora controlada a remoto para tallar fuera un túnel e instalar una nueva tubería en un proceso casi simultáneo.

### 3.6 GUIDED BORING & DIRECTIONAL DRILLING

La Perforación Horizontal Dirigida (la sigla en inglés de Horizontal Directional Drill, HDD), es ideal para la instalación subterránea de gas, ductos eléctricos, agua, telecomunicaciones; o la remediación

de la línea en tierra sin necesidad de excavación o abertura de zanjas.

La perforación horizontal dirigida, asegura la mínima ruptura de la superficie, y es una alternativa excelente para las instalaciones en diversas condiciones de tierra.



Figura 29: Perforación  
Dirigida

Estos sistemas, fueron desarrollados originalmente por la industria de aceite para cruces de ríos en conducciones pequeñas de diámetro donde no se requería un alto grado de exactitud. Ahora se usan ampliamente para instalar conducciones en tuberías a presión bajo obstáculos mayores como las intersecciones en una autopista, ríos grandes y pistas de aterrizaje de un aeropuerto.

### 3.7 CABLE PULLING

El cable tirado es el método más antiguo para insertar un cable en el ducto existente. En cables más grandes se usa un cable foráneo para ayudar el torno y reducir la tensión en el cable.



Figura 30: Cable Pulling

### 3.8 CABLE BLOW IN SYSTEMS

Se usa para insertar tuberías de diámetros relativamente pequeños, de peso ligero, eléctricos o cables de fibra óptica en el ducto existente. Funciona introduciendo aire comprimido en los conductos. Puede encajarse paracaídas pequeños al cable para mejorar la velocidad de la inserción.

Para apoyar estos sistemas, se requieren algunos servicios esenciales antes de la aplicación de la tecnología del trenchless, que incluyen:

- La investigación local de los servicios existentes y las condiciones de tierra.
- Las condiciones de servicio según los estudios logrados con circuitos cerrados de televisión y robótica, ahora tan comunes. La situación de la inspección térmica, el trazado y el radar de la cartografía de la tierra que se usa.

## B. SELECCIÓN DE TÉCNICAS

En el estudio de las diversas técnicas de la Tecnología Trenchless, y buscando una aplicación práctica, se seleccionaron algunos de los métodos mencionados previamente, que permitieran la utilización de tuberías de polietileno, para la conducción agua potable.

Inicialmente, se busca definir con detalle los métodos más convenientes para la instalación y reemplazo de líneas de conducción de agua potable, aprovechando las bondades características del polietileno; además de determinar los equipos, los costos y las actividades de obra requeridos en la operación de estas técnicas.

Entre los aspectos considerados para esta selección, se tienen la factibilidad de este tipo de métodos en el territorio nacional, los equipos disponibles, y la funcionalidad de la Tecnología sin zanja, según legislaciones colombianas.

Se pretende más adelante, sustentar los procesos Trenchless, como soporte técnico en la promoción de productos de polietileno.

Teniendo en cuenta estos aspectos, y sobre todo, la posibilidad de aplicar estas técnicas en el territorio nacional, la selección se dirigió a los sistemas de reemplazo y de instalación de nuevas conducciones.

En la instalación, se consideraron el Impact Moling y la Perforación Horizontal Dirigida (HDD). Para el reemplazo de líneas de utilidad existente, el Pipebursting representa el método más conveniente.

## 1. IMPACT MOLING

El impact moling es un método de instalación trenchless para la colocación de tuberías, de conductos y de cables pequeños de diámetro, en los cuales se aprovecha la acción de la percusión o del martilleo de una herramienta neumática de perforación para condensar y desplazar el suelo que es removido.

El método es típicamente no orientable, y cuando está diseñado correctamente, el impact moling es el método de instalación trenchless más simple y menos costoso. Este método de instalación trenchless, es uno de los más usados ampliamente: Las empresas de servicio público a través del mundo entero, utilizan esta técnica para la instalación de las conexiones de servicio de gas, de agua y de alcantarillado, generalmente bajo las aceras, las calzadas y otros cruces cortos.



Figura 31: Martillo de Impacto

Entre las ventajas generales del impact moling se tienen: bajos costos operacionales y de restablecimiento, simplicidad en el funcionamiento, mínima o ninguna excavación relativa más allá de los hoyos de conexión o de los puntos de terminación necesarios para el producto instalado, y mínima interrupción pública.

El equipo de apoyo se limita a un compresor de aire pequeño, y quizás un backhoe o un trencher pequeño para abrir y para reinstalar los hoyos de conexión/terminación. La viabilidad del método es restringida por sus limitaciones genéricas (diámetro y longitud de perforación limitados) y por las condiciones de tierra locales que pueden afectar considerablemente el funcionamiento.

Las condiciones de tierra adversas pueden incluir las arcillas secas densas, y otros suelos no compactables. Tales suelos pueden reducir drásticamente los rangos de penetración, contribuyen a la agitación y/o la desviación superficial de la línea de trayectoria deseada. La capacidad de remontar el trazado mientras se perfora -una opción disponible- es útil en la detección de la desviación de la trayectoria así que el alesaje se puede abortar para otra tentativa antes de que se cause el problema.

Los topes orientables tratan el defecto de la desviación de la trayectoria de topes no-orientables y se contrapesan para ampliar la utilidad del método en virtud de poder agujerear la trayectoria curvada.

Los topes de impacto también se conocen como las herramientas de la perforación de la tierra, los martillos de la dislocación del suelo, los martillos del impacto, los topes de percusión o topes neumáticos.

## 1.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Los topes de impacto consisten en un tubo de acero que contiene un pistón neumático (también referido como el striker) que impulsa la nariz de la herramienta dirigiéndola hacia adelante. El alesaje u orificio de perforación es formado por el desplazamiento y la

compactación del suelo lateral. La fricción entre la tierra y el cuerpo del topo evita que el topo rebote al revés. Los impactos repetidos del pistón avanzan la unidad entera a través de la tierra. No hay conexión rígida entre el topo y el hoyo de la inserción, y el progreso del topo se apoya en la resistencia de la tierra a la fricción, para su movimiento delantero total.

La acción de martilleo puede ser un pulso simple del pistón sobre el fin delantero de la unidad o una acción de dos etapas de una cabeza móvil especialmente diseñada. El aire comprimido propulsa en varias ocasiones el pistón contra la parte posterior del montaje de la cabeza del cincel. Este primero comprime el resorte de acero pretensionado, forzando el montaje de la cabeza del cincel hacia adelante independientemente de la cubierta principal.

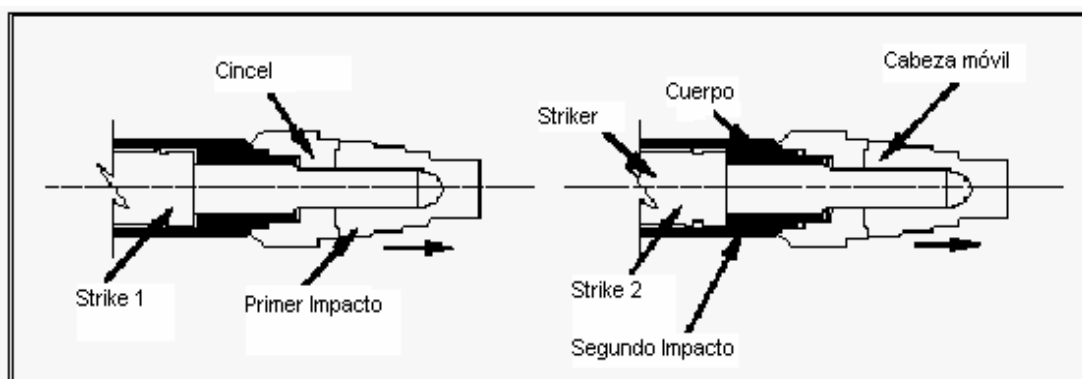


Figura 32: Acción de los dos impactos de la cabeza móvil

El primer impacto crea un alesaje experimental. Entonces, la misma fuerza continua empuja la cubierta principal. El segundo impacto amplía la perforación a su diámetro final.

## 1.2 APLICACIONES

El impact moling se puede utilizar para la instalación de tuberías hasta de 10 pulgadas de diámetro, pero típicamente se usa para

tuberías entre ½ y 4 pulgadas de diámetro. Las tuberías instaladas se hacen generalmente de PVC, de HDPE o de acero. Dependiendo del tamaño de la herramienta y de las condiciones del suelo, la distancia de perforación máxima para moling no-orientable está entre 10-100 pies, o aún más largo, pero la longitud típica de instalación es hasta de 35 pies en una sola operación.

Los sistemas orientables permiten al moling ser realizado en funcionamientos más largos, de hasta 200 pies en buenas condiciones del suelo. Sin embargo, los índices de penetración de topos en comparación a otras técnicas como la perforación direccional, deben ser tomados en cuenta, cuando se está considerando alesajes más largos.

Este método tiene una amplia gama de usos. Además de líneas de servicio del gas y del agua, estas herramientas se utilizan para los conductos de cable, la irrigación de jardines, los sistemas de tratamiento de aguas, los abastecimientos de agua exteriores, la iluminación del paisaje, los reemplazos del drenaje, etc.

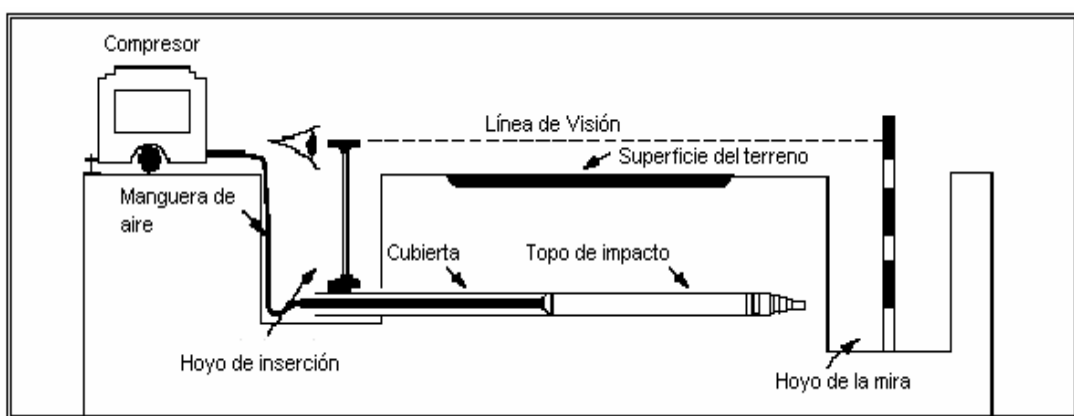


Figura 33: Esquema del Impact Moling

Como el método utiliza un principio de la compactación para crear el alesaje, esta técnica es apropiada para los suelos compresibles.

Las condiciones de tierra convenientes para el impact moling incluyen las arcillas, el légamo, la turba y el material cohesivo generalmente suave. Las arenas y la grava se consideran menos apropiadas, especialmente si están densamente embaladas, mientras que la roca sólida es enteramente inadecuada para esta técnica.

### 1.3 MERCADO

Los topos de impacto son los equipos de construcción trenchless más usados. Ambos, el gas y la industria de agua tienen una gran demanda para la instalación de nuevas líneas de servicio. Más de 1,2 millones de servicios de gas de polietileno son instalados anualmente en los Estados Unidos, de los cuales cerca de 800.000 son nuevas instalaciones y 400.000 son reemplazos (Fisk et al 1995).

La longitud media del servicio es de 70 pies, cerca del 95% de ellos para diámetros menores de 4 pulgadas (114 mm), y el 72% para diámetros menores de 2 pulgadas (60 mm). Además, cerca de 17000 millas (27200 km) de gasoductos de polietileno son instaladas cada año, de los cuales el 95% son de hasta 4 pulgadas de diámetro y el 72% de 2 pulgadas de diámetro.

Actualmente, los métodos de corte-abierto de zanja, se utilizan para la instalación de cerca del 95% de nuevos servicios de gas y para más del 66% de gasoducto nuevo. La industria de agua tiene una demanda similar para la instalación de tubería pequeña.

En condiciones favorables del suelo, el impact moling puede ser el método trenchless más satisfactorio, para la industria del gas y del

agua, porque incluso los taladros mini-direccionales más pequeños son más grandes y más costosos que los topes de impacto. Sin embargo, al seleccionar el impact moling, se debe tomar en consideración algunos factores adicionales como la potencia aplicada, y la productividad total del trabajo.

Se debe recordar también el factor en los costos asociados al compresor de aire requerido para funcionar un topo. No obstante, comparado a otros métodos trenchless en trabajos más pequeños, y especialmente el de corte de zanja, y la restauración, con el impact moling se puede obtener ahorros substanciales de costo y de tiempo.

Para las nuevas instalaciones de tubería y de cable, los martillos del Impact Moling han sido una alternativa económica y ecológica por más de 20 años. Operado con aire comprimido, los martillos del impact moling, realizan su labor exactamente a través de la tierra, creando un agujero del alesaje en todos los suelos compresibles, remolcando tuberías de PE, PVC o acero uniforme, hasta de 150 m.m. de diámetro directamente en el agujero preformado del alesaje.

Este sistema se ha utilizado extensamente por todo el mundo para instalar conductos de agua y de gas, cables de teléfono, eléctricos y de TV y los laterales del servicio debajo de los caminos, las líneas ferroviarias y las autopistas. El impact Moling se utiliza para empujar una cabeza de moling sobre distancias cortas (hasta de 40m), pero a lo largo de un plano horizontal.

#### 1.4 RESUMEN DE VENTAJAS

- Conveniente para todas las condiciones de suelo excepto roca sólida.
- Alesajes exactos.
- Posible tiraje simultáneo de la tubería.
- Versatilidad de aplicaciones.
- El tracking del martillo, durante el alesaje es posible.
- Opción de once diámetros del martillo.

La mayoría de los topos de impacto son no-orientables y la mayoría de los alesajes se planean como alesajes derechos. Los topos No-orientables pueden ser diseñados con las cabezas fijas o móviles. Varios diseños de cabeza están disponibles para los topos incluyendo las cabezas reemplazables para ajustar a las condiciones de tierra.

Una vez en la tierra, los topos no-orientables se disponen para avanzar en línea recta y el operador puede controlar el mantenimiento de la alineación solamente a través del suministro de aire de las herramientas.



Figura 34: Sistema Orientable

Los topes No-orientables también pueden ser proporcionados con una característica de seguimiento. Si el alesaje se desvía demasiado de la alineación prevista, la herramienta se invierte y se retira del agujero y del alesaje reiniciados.

En años recientes, los sistemas orientables han surgido en el mercado permitiendo trayectorias y alesajes curvos con múltiples cambios de dirección, así como correcciones en la alineación durante el proceso de molido, si son necesarios.

Estos topes están disponibles en el comercio actual, en un tamaño solamente, y siguen siendo aún bastante nuevos al mercado. El impact moling se debe realizar en una profundidad por lo menos de 10 veces el diámetro de la tubería producto o de 3-4 pies (0,9 – 3,6 m), cualquiera que sea mayor, para evitar el daño superficial. La velocidad del proceso de molido puede afectar la exactitud del alesaje, y la tarifa de producción, está en promedio, cerca de 1-5 ft/min para moling no-orientable, y cerca de 1 ft/min para moling orientable.

La tubería producto es instalada generalmente después de que se termine el alesaje, pero también se puede tirar en el lugar mientras el alesaje es molido. Esto es ventajoso en los suelos flojos donde la perforación sin apoyo se puede encamar. Si la tubería producto es pequeña o es contaminada por el aceite lubricante en el extractor, se debe utilizar una tubería de manga.

## 2. PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA HDD

Básicamente, luego del análisis del suelo a atravesar, esta tecnología opera mediante una máquina-tunelera (topo) que perfora el suelo en forma horizontal utilizando barras, desde un pozo de entrada y guiada por un “localizador” que desde la superficie indica la posición de la perforación.

Finalizado el cruce “de ida” y alcanzado el objetivo en un pozo de salida, al extremo de las barras se sujeta un expansor (para ensanchar el túnel) y la tubería o cable a instalar y, por fin, al recogerse las barras “de vuelta”, la instalación queda colocada bajo tierra. Además de la tunelera, las barras, el cabezal y el radiodetector, en los procesos HDD el empleo de aire o fluidos es un insumo fundamental.

Los fluidos de perforación son aditivos que se utilizan para mantener el túnel, formando una capa que evita el derrumbamiento de la perforación, y para mejorar y facilitar el trabajo de perforación, evitando que el lodo se pegue a las barras; también se utiliza “la tecnología denominada Dry Directional Drilling de SE” que se basa en el uso de aire comprimido a baja presión (175 a 360 psi = 12 a 25 bar) en lugar de los fangos bentoníticos; el aire no produce ningún tipo de contaminación física o química y además no produce problemas de congelación, no tiene costos de aprovisionamiento, no necesita almacenaje ni tratamientos preliminares a su uso, de recuperación o de filtraje.

En el interior de la perforación se utiliza un martillo neumático especial que, gracias a su elevada frecuencia de batida y al uso de puntas de perforación proyectadas y construidas por SE, disponen

de la capacidad de perforar con eficacia cualquier tipo de suelo y en modo particular, la roca dura. Actuando en presencia de suelos rocosos, el martillo neumático de pozo profundo realiza una acción de pulverización de la roca, que es alejada fácilmente por el flujo de aire.

En el plano de aplicación de esta tecnología se encuentran notables ventajas, entre las que se destaca: las máquinas extremadamente compactas, que permite perforar una gama de suelos muy distintos sin necesidad de sustituir los utensilios de perforación y además, el aire comprimido no da lugar a fenómenos de frac-out (fracturaciones del suelo y de la sobreestructura existente con salida de fangos bentoníticos a la superficie), no provoca la inundación de espacios subterráneos eventualmente colindantes al trazado de la perforación.



Figura 35: Equipo de perforación

En cuanto a las tuneladoras, existen diferentes marcas internacionales, que ofrecen una gran variedad de modelos y accesorios: en general, todas son autopropulsadas (sobre orugas), aunque algunos fabricantes ofrecen modelos de tuneladoras para ser montadas sobre camiones y mini- cargadoras.

## 2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Consiste fundamentalmente en la perforación del suelo mediante el empleo de un equipo altamente especializado provisto de barras acoplables en cuyo extremo se conecta un cabezal o broca de perforación.

Dentro del cabezal se instala un transmisor de ondas de radiofrecuencias cuya señal es captada exteriormente por un receptor que visualiza y entrega información de posición, alineación, balanceo y temperatura del frente de perforación. Con esta información se controla y se dirige la trayectoria previamente establecida, evitándose así, el daño a otros servicios públicos, al mismo tiempo que se obtiene una obra de alta precisión y confiabilidad.

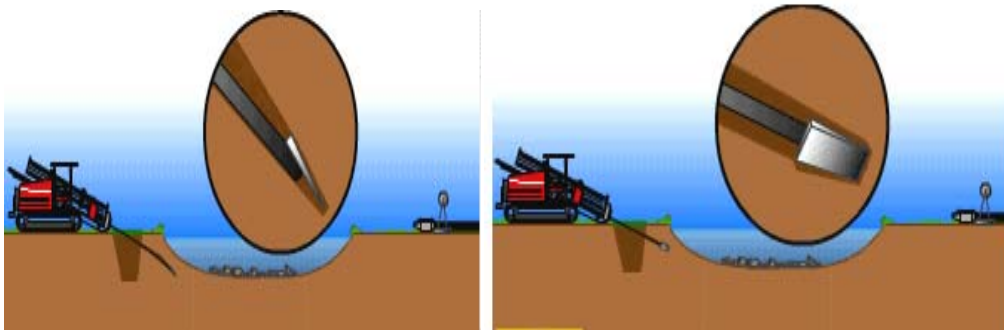


Figura 36a: HDD. Ubicación de escariadores

Esta tecnología opera mediante una máquina que perfora el suelo a lo largo de toda la trayectoria de la instalación, siendo orientada y seguida desde la superficie mediante un localizador que indica la posición, sin necesidad de pozos verticales, ya que la obra comienza desde la superficie. Cuando la cabeza perforadora ha alcanzado su objetivo, es reemplazada por un escariador, que amplía la perforación al diámetro deseado; durante su regreso introduce las tuberías que se van a instalar.

No es necesario que el alineamiento del agujero de perforación sea recto, porque este sistema permite cambiarlo para evitar el choque con otros servicios u otros obstáculos que se localicen bajo tierra.

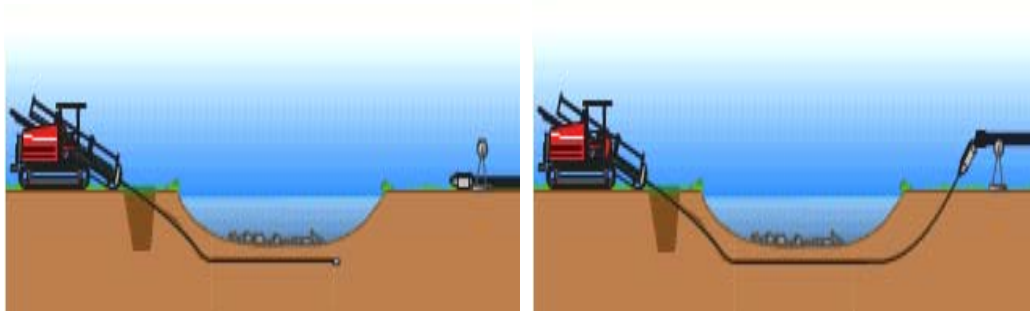


Figura 36b: HDD. Trazo de perforación

Utilizando un emisor de datos, el cual se ubica en la cabeza de perforación, y un receptor en superficie que interpreta dicha información, se logra obtener la profundidad, inclinación y ubicación de la herramienta, y de esta forma se realiza la perforación de la traza a la profundidad deseada por medio de una catenaria con un punto de entrada y otro de salida.

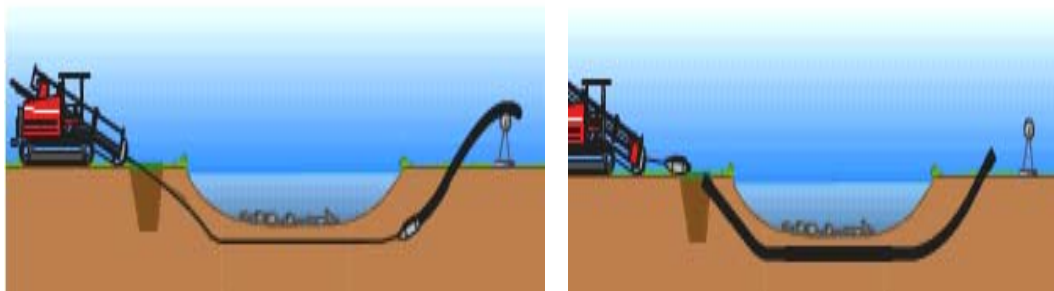


Figura 36c: HDD. Inserción de la tubería

Se procede a ensanchar el túnel al diámetro requerido para la correcta instalación de la tubería, lo que se realiza por medio de la utilización de escariadores especiales, una vez logrado el diámetro final se procede a la inserción de la tubería o cable.

Con respecto a los lodos de perforación, los cuales se inyectan al túnel por medio de las barras de perforación, son los encargados de desplazar hacia el exterior del túnel, por los puntos de entrada y de salida, los detritos resultantes del suelo recortado, además de consolidarlo a fin de evitar posibles derrumbes.

La perforación horizontal dirigida (direccional) permite instalar un ducto por debajo de un obstáculo, como un río o carretera, sin perturbar el entorno. Al contrario de la técnica de perforación horizontal, la trayectoria curva de una perforación horizontal dirigida permite hacer pasar el ducto por debajo de obstáculos desde la superficie, de manera que no se requiere efectuar ninguna excavación importante.

Por una parte, se emplean sistemas eficaces de guiado, que permiten una precisión grande y aseguran la trayectoria de la perforación. Por otra parte, existe una gama completa de equipos diseñados para cubrir las necesidades de cualquier forma de trabajos que requieran una perforación horizontal dirigida.

Gracias a esos equipos, se puede emprender trabajos sencillos de perforación que necesiten una capacidad menor de 10.000 libras (4.500 kilos), y trabajos importantes que requieran una fuerza de empuje (pull back) que puede alcanzar 750.000 libras (341.000 kilos). Además, utilizando una máquina de reciclado para el lodo de perforación se aumenta la eficacia del trabajo y permite reducir de manera considerable el volumen de vertidos, una vez terminada la obra.

Esta técnica : Es ideal en suelos no pedregosos y bloques (arcilla, limo y arena) ; puede ejecutarse asimismo con casi todo tipo de

rocas; permite instalar ductos que pueden alcanzar 1.200 milímetros de diámetro; ofrece la posibilidad de efectuar perforaciones que alcancen hasta 1.800 metros de longitud (lo que varía según las condiciones del suelo y el diámetro requeridos).

## 2.2 RESUMEN DE VENTAJAS

Especialmente útil en aquellas áreas donde la normatividad no permite intervención del espacio público, como avenidas, carreteras, vías principales, líneas férreas, etc. Es una solución óptima para instalar redes de servicios públicos en áreas donde se han desarrollado obras de mejoramiento urbano que están vedadas por el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), y en general, en aquellos sitios donde la recuperación del espacio público producto de las excavaciones a cielo abierto resultan altamente costosas para las Empresas de Servicios Públicos.

Gracias a que el proceso de instalación de las tuberías es controlado se evita el daño a otros servicios públicos y a estructuras que se encuentren dentro de la zona de influencia de la obra. A través de las tecnologías no destructivas se logran rendimientos significativamente superiores a los obtenidos con los métodos tradicionales.

El impacto sobre la ciudadanía, se reduce sensiblemente, dado que se evita la restricción del tráfico vehicular, férreo y en general se minimiza las incomodidades y traumatismos a las personas. El sistema es altamente respetuoso del medio ambiente; se conservan los árboles y zonas verdes, el ruido y las incomodidades son mínimas.

Permite el empleo de la tubería de polietileno de alta densidad, cuyas ventajas frente a otros materiales son evidentes, tanto por su hermeticidad como por su capacidad de adaptación a los movimientos del suelo.

### 2.3 EQUIPO DE DIRECCIÓN

En los últimos tiempos, la tunelería direccional ha tenido un gran crecimiento, por la interrupción mínima y pocos inconvenientes que produce tanto en el tránsito como en el paisaje y la superficie. El diseño compacto de los equipos y el desarrollo de tecnología aplicable a este tipo de maquinaria produce este vuelco en la industria de la construcción, prefiriendo la tunelería a los métodos de instalación tradicionales.

Para realizar un plan de perforación es bueno conocer las interferencias que se encuentran en la trayectoria del túnel y a que profundidad se encontrará finalmente el servicio instalado. Para resolver este inconveniente, la división de Sistemas de Control Avanzado (ACS) de Vermeer ha desarrollado dos productos: el Interragator II y el Atlas Bore Planner.

El Interragator II es un radar subterráneo que permite detectar elementos en el terreno de cualquier material, hasta una profundidad de 7,3 m y de 3 cm de diámetro, según las condiciones del terreno. Posee una antena de 300 MHz que emite una señal de radar, mientras un receptor transmite las señales a una pantalla. Así, con la ayuda de un programa específico y entrenamiento de especialistas, se puede tener un mapa de interferencias que se aproxima en un gran porcentaje a la realidad.

En algunos países, la posesión de un sistema de radar para detección de servicios bajo tierra, implica un descuento en el seguro de obra a los contratistas.

Una vez realizado el trazado, se pueden volcar los datos obtenidos en el Atlas Bore Planner (ABP), que es un programa en el que se pueden ingresar muchos datos relacionados con la perforación (máquina, tipo de suelo, máxima curvatura admisible de las barras y el material, máxima pendiente admisible de la sonda, ubicación de las interferencias, el perfil del terreno, etc.) y obtenerse un plan de perforación que le indica al operador la cantidad de barras necesarias, el volumen de fluido que le va a insumir el trabajo completo, la profundidad e inclinación barra por barra a lo largo del trazado y si está dañando algún servicio o está dentro de su zona de seguridad. Imprimiendo el plan de trabajo, se lo utiliza de referencia, ya que el terreno permitirá seguir el plan en forma aproximada.

En pocas palabras, para hacer una perforación horizontal dirigida (HDD), se instala una torre de perforación en el punto de partida del tramo subterráneo a instalar y se realiza un túnel horizontal con un “drill”; dependiendo de la máquina que se utilice, el túnel puede construirse mediante inyección de bentonita o no.

Sin embargo, en cualquier caso será imprescindible la utilización de una cabeza de perforación que incorpore un emisor, pues éste es detectado desde la superficie mediante un localizador: se trata de un radiodetector que pesa unos 2 kilogramos, trabaja con una batería y representa en una pantalla de LCD los ángulos de inclinación y de balance, profundidad y temperatura de la herramienta, calculando continuamente, la distancia entre el emisor y el localizador y supervisando la desviación a izquierda o derecha de la trayectoria de

la perforación. De esta forma, la aplicación de estos receptores permite proveer la información requerida por el operador de la tunelera para dirigir la pista, pudiendo variar o corregir el trazado (profundidad y dirección) prefijado, rotando la cabeza para subir, bajar o desviarse en forma lateral.

Las principales informaciones recogidas por el localizador se representan en la pantalla de LCD, como una esfera de reloj de 12 segmentos que indica el ángulo de balance de la herramienta, mientras que el ángulo de la inclinación se visualiza con flechas y un porcentaje expresado en números.

## 2.4 INTERFERENCIAS

De esta manera, aunque hay otras señales que indican por ejemplo la temperatura del taladro, la profundidad y la dirección son las informaciones primordialmente básicas que visualizan todos los receptores que ayudan a “guiar” al operador de la tunelera; aunque esta señal (o campo magnético producido por un emisor dentro de la traza del taladro que el receptor interpreta como profundidad y dirección) está permanentemente expuesta a interferencias, especialmente porque la mayoría de las perforaciones ocurre en áreas urbanas. Por esto, y aunque los radiodetectores trabajan con valores de frecuencia ajustables, algunos de los efectos posibles de interferencias en un receptor son el bloqueo de la información o las lecturas erráticas de la fuerza de la señal, que pueden conducir a errores en los cálculos de la profundidad y dirección del taladro. Por lo tanto, más allá de la información suministrada por organismos oficiales, empresas de servicios y el mismo localizador, jamás debe asumirse la inexistencia de obstáculos subterráneos simplemente porque en la superficie no haya evidencias o marcas.

### 3. PIPE BURSTING

La técnica del pipe bursting es la más rentable cuando hay pocas conexiones laterales, cuando la vieja tubería se deteriora estructuralmente, y cuando se requiere capacidad adicional. La tubería existente es sustituida con una tubería nueva de igual o mayor tamaño en la misma localización.

Este sistema de renovación que emplea el método de rotura y reemplazo, está siendo utilizado desde hace varios años en Estados Unidos, Europa y algunos países de Latinoamérica con tanto éxito que las naciones desarrolladas han dejado de emplear el método tradicional, convirtiendo la tecnología sin zanja (Trenchless) en una herramienta de uso generalizado y obligatorio.

Este método se utiliza para reemplazar tubería de Asbesto Cemento, Hierro Fundido y Galvanizado en diámetros superiores a 2 pulgadas.

La técnica es la más ventajosa de términos de costo, cuando:

- a) hay pocas conexiones laterales que se volverán a conectar dentro de una sección del reemplazo,
- b) la vieja tubería se deteriora estructuralmente,
- c) la capacidad adicional es necesaria, y
- d) los requisitos de la mitigación de restauración/ambiental son onerosos.

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Consiste básicamente en la utilización del espacio ocupado por el tubo existente, introduciendo por el mismo un ducto nuevo de

polietileno de alta densidad. Para lograr su instalación previamente se rompe y destruye el tubo antiguo y se amplia el orificio que será ocupado por el tubo de polietileno.

En un caso típico de 100 metros de longitud solamente se requerirán dos excavaciones de 2.5 metros lineales para instalación de la máquina y entrada de la tubería y una excavación de 0.70 x 0.60 metros para cada acometida domiciliaria.

Se practican dos excavaciones, idealmente con una distancia entre sí de 100 metros lineales. En la primera excavación se instala el equipo de accionamiento, se corta la tubería existente y se retira el tramo de tubo descubierto en longitud igual a la de la excavación. Con este equipo se introducen las barras de acero roscadas, dentro de la tubería que se va a renovar.

Una vez la punta de la sección de barras llega a la segunda excavación se le conectan en este punto la cuchilla de corte, el cono expensor y el elemento de sujeción (puller) al cual se le conecta el tubo de polietileno; luego se procede al halado de las barras y, en una sola operación, se rompe el ducto antiguo, se expande el orificio y se introduce la nueva tubería. Finalmente, se ejecutan los empates y se instalan las acometidas domiciliarias.

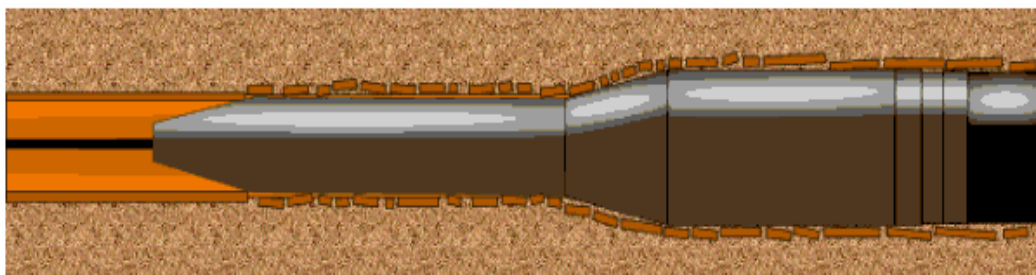


Figura 37: Pipe Bursting

El Pipe bursting típico, implica la inserción de una herramienta cónicamente formada (bursting head – cabeza de estallido) en la vieja tubería. La cabeza fractura la vieja tubería y presiona sus fragmentos en el suelo circundante.

Simultáneamente, una tubería nueva se tira o se empuja hacia adentro detrás del bursting head. La base del bursting head es más grande que el diámetro interior de la vieja tubería que fractura para crear un conducto levemente más grande que el diámetro exterior de la tubería nueva, reduciendo la fricción en la tubería nueva y proporcionando el espacio para maniobrarla.

La parte posterior del bursting head está conectada con la tubería nueva, mientras que su extremo delantero está conectado con un cable o barra de tirado. El bursting head y la tubería nueva se lanzan del hoyo de la inserción, y el cable o la barra se tira desde el hoyo de la recepción.

El tirón del cable/barra junto con la forma del bursting head guarda la cabeza siguiendo la tubería existente, y las cabezas especialmente diseñadas pueden ayudar a reducir los efectos de holguras o el desalineamiento existentes en la tubería nueva.



Figura 38:  
Bursting  
Head

La operación bursting puede proceder continuamente o en pasos, dependiendo del tipo de sistema aplicado en la fracturación de la tubería. Antes de estallar, la tubería existente debe ser limpiada siempre para quitar cualquier arena o ruina (la fuerza requerida del tirón sería reducida), y las conexiones de servicio situadas y desconectadas.

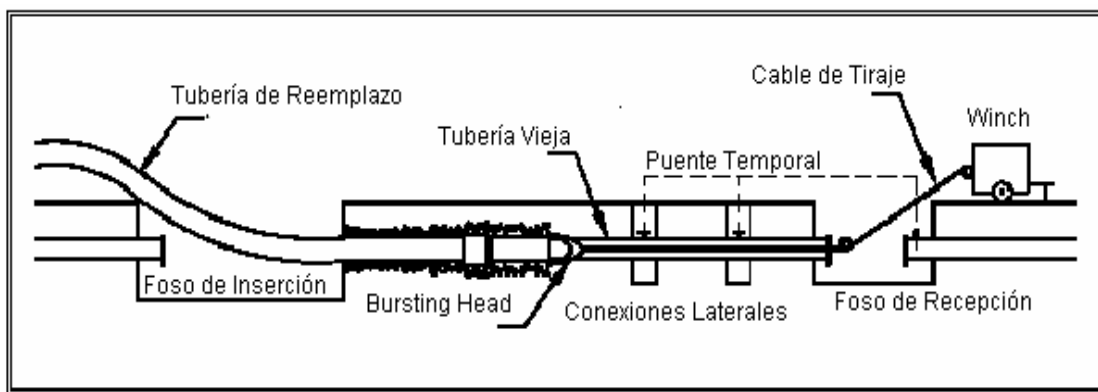


Figura 39: Operación típica del pipe bursting

### 3.2 CLASES PRINCIPALES

Los sistemas disponibles actualmente, se pueden clasificar en tres clases principales:

(1) El pipe bursting neumático, (2) la extensión hidráulica, y (3) el tirón estático. Básicamente se definen por el tipo de bursting head utilizado.

#### 3.2.1 Pipe Bursting Neumático

La cabeza neumática utiliza la presión de aire originada por la conducción de la cabeza y el estallido de la vieja tubería. Un dispositivo pequeño de tirado, dirige la cabeza con un cable a tensión constante.

El pipe bursting neumático es el tipo utilizado con más frecuencia. La acción de percusión del bursting head, es similar a martillar un clavo en una pared, donde cada impacto empuja el clavo una distancia pequeña más lejos en la pared. Del mismo modo, el bursting head crea una fractura pequeña con cada movimiento, y así continuamente las grietas hasta romper la vieja tubería.

La acción de percusión del bursting head, se combina con la tensión del cable del torno, que se inserta a través de la vieja tubería y se une en la parte frontal.

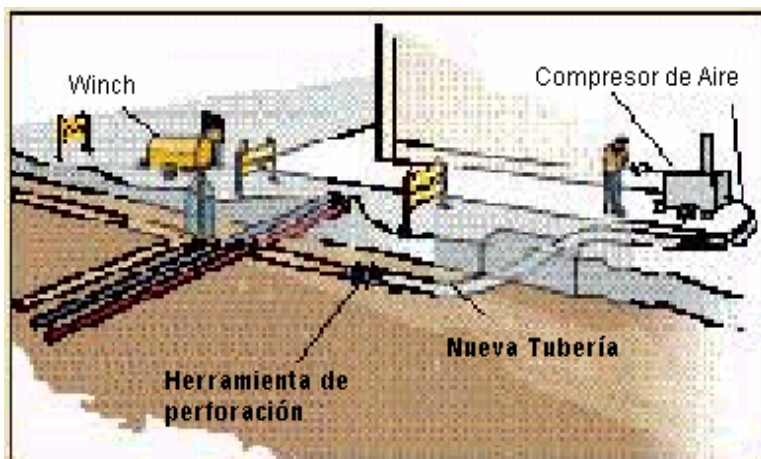


Figura 40:  
Bursting  
Neumático

La presión de aire requerida para la percusión se provee del compresor de aire a través de una manguera, que se inserta a través de la tubería nueva y es conectada en la parte trasera de la herramienta que estalla.

El compresor de aire y el torno se mantienen en valores constantes de presión y de tensión respectivamente. El proceso que estalla continúa con la pequeña intervención del operador, hasta que el bursting head llega al hoyo de la recepción.

### 3.2.2 Extensión Hidráulica

La cabeza hidráulica se amplía y se cierra secuencialmente, estallando la tubería y tirando al tiempo la tubería de reemplazo. En el sistema hidráulico, el proceso bursting avanza del hoyo de la inserción al hoyo de la recepción en secuencias, se repiten hasta que la longitud completa de la tubería existente se substituye.

En cada secuencia, un segmento de la tubería se estalla en dos pasos: primero el bursting head se tira en la vieja tubería para la longitud del segmento, después la cabeza se amplía lateralmente para romper la tubería.

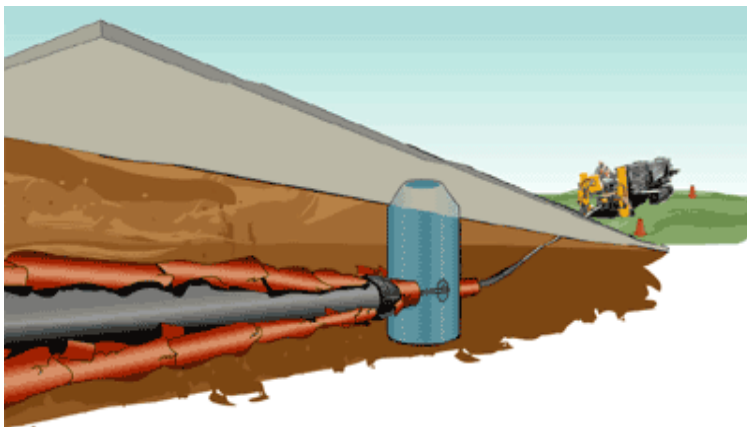


Figura 41:  
Sistema  
Hidráulico

El bursting head, se tira adelante con un cable del torno, que se inserta a través de la vieja tubería desde el hoyo de la recepción, y se une al frente de la cabeza que estalla. La parte posterior del bursting head está conectada con la tubería de reemplazo y también las líneas de fuente hidráulicas se insertan a través de la nueva tubería.

El bursting head, consiste en cuatro o más segmentos que se enclavijan, que se abisagran en los extremos y en el centro. Un

pistón hidráulico axialmente montado conduce la extensión y la contracción laterales de la cabeza. El martillo de la dislocación es conducido por el aire comprimido, y funcionado en un índice de 180 a 580 soplos/minuto.

### Componentes Del Sistema Hidráulico

El sistema hidráulico se compone de los siguientes elementos:

- Una unidad de potencia que actúa como fuente de presión hidráulica para el equipo de accionamiento.
- Una unidad de accionamiento hidráulico, cuya función consiste en la introducción de las barras de acero dentro de la tubería a cambiar y posterior halado de las mismas durante las operaciones de corte, expansión e introducción de la nueva tubería.
- Juego de barras de acero, para roscar entre sí, con longitud total de 100 metros lineales.
- Cuchillas para corte de la tubería, expansor y demás accesorios.

### 3.2.3 Tirón Estático

La cabeza estática no tiene ninguna pieza interna de movimiento. La cabeza es tirada simplemente a través de la tubería por un dispositivo resistente. En un sistema de tirado estático, la fuerza para romper la tubería existente se produce solamente en el tirado del bursting. La cabeza es tirada por un montaje de barra (sistema de TRS) o un cable del torno, que se inserta a través de la tubería existente y se une al frente del bursting head.

La fuerza extensible aplicada es significativa. La cabeza cónica transfiere esta fuerza de tiraje horizontal en una fuerza radial, que rompe la vieja tubería y proporciona el espacio para la tubería nueva.

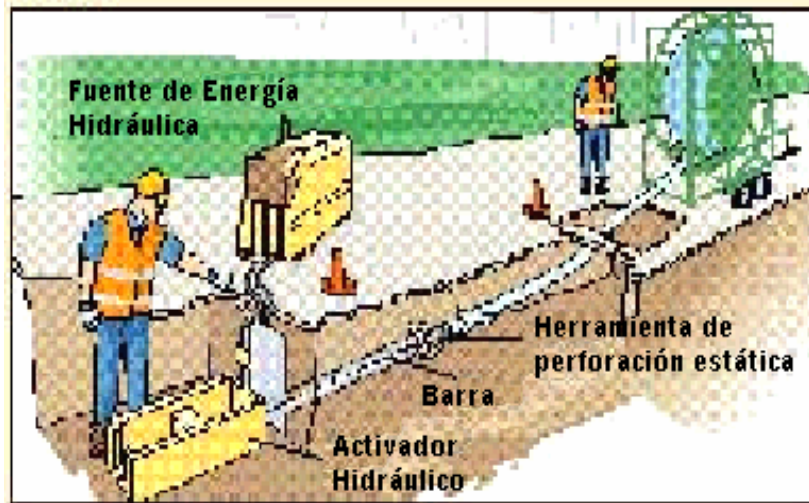


Figura 42:  
Perforación Estática

Si un montaje de barra se utiliza para tirar, el proceso bursting se hace en secuencias consecutivas, más que continuamente. Antes de estallar, las barras divididas en segmentos se insertan en la vieja tubería desde el hoyo de la recepción. Durante la inserción, las barras se roscan juntas hasta alcanzar el bursting head en el hoyo de la inserción. Allí, se unen a su extremo delantero y la tubería nueva es conectada en su extremo posterior.

En cada secuencia durante el proceso bursting, la unidad hidráulica en el hoyo de la recepción tira de las barras en la longitud de las barras individuales, y las barras se separan del resto del montaje de barra mientras alcanzan el hoyo de la recepción. Si se utiliza un cable del torno en lugar de las barras, el proceso de tirado puede ser continuo. Sin embargo, la fuerza transmitida al bursting head, en un sistema típico del cable es menor que en un montaje de barra.

### 3.3 APLICACIONES

El tamaño de la tubería que actualmente es substituida por el pipe bursting generalmente se extiende en rangos de 2 a 36 pulgadas, aunque el estallido de diámetros más grandes se ha incrementado (se han substituido tuberías de hasta 48 pulgadas de diámetro).

Teóricamente no hay un límite de tamaño de la tubería que se estalla. El límite depende de la rentabilidad comparada al reemplazo convencional, de las condiciones de tierra locales en cuanto al potencial para el movimiento y la vibración de tierra, y de la capacidad de proporcionar suficiente energía para romper la tubería existente mientras que, simultáneamente, se tira de una nueva.

El pipe bursting se realiza por lo general en longitudes de 300 a 400 pies (91 a 122 m), que corresponde a una distancia típica entre los pozos del alcantarillado. Sin embargo, se han substituido funcionamientos mucho más largos. Las tuberías convenientes para el pipe bursting se hacen típicamente de materiales frágiles, tal como la arcilla vitrificada, el hierro fundido, el concreto llano, el asbesto, o algunos plásticos. La tubería de concreto reforzado (RCP) también puede ser substituida con éxito si no se refuerza pesadamente o si se deteriora substancialmente. Las tuberías dúctiles del hierro y del acero no son convenientes para el pipe bursting, y solo se pueden substituir con el pipe splitting.

El pipe bursting tiene limitaciones. La dificultad se puede presentar en suelos expansivos, proximidad cercana de otras líneas de servicio, reparaciones del punto que refuerza la tubería existente con el material dúctil, una tubería derrumbada en cierto punto a lo largo de la línea, etc.

La operación del pipe bursting, crea desplazamientos exteriores de tierra, adyacentes a la alineación de la tubería. Los desplazamientos de tierra tienden a ser localizadas, sin embargo, y para disiparse rápidamente, lejos de la operación bursting. Esta puede causar el tirón de tierra o el establecimiento sobre o a cierta distancia de la alineación de la tubería.

El pipe bursting neumático típico, puede crear vibraciones de tierra absolutamente sensibles en la superficie sobre la operación bursting. Es muy poco probable dañar la superficie próxima existente o las estructuras subterráneas, a menos que se realice en distancias muy cercanas a ellas: el pipe bursting no debe pasar más cerca de 2,5 pies (76.2 cm) de las tuberías enterradas y 8 pies (2.44 m) de las estructuras superficiales sensibles. Si las distancias son menores, se deben tomar las medidas especiales para proteger las estructuras existentes.

Las condiciones de tierra más favorables para el pipe bursting son los suelos que se pueden condensar moderadamente (reduciendo el grado lateral de los movimientos de tierra), en los cuales el foso ampliado detrás del bursting head no se desmorona, antes de que la tubería del reemplazo esté instalada (bajando la fricción y las tensiones extensibles en la tubería durante la instalación).

Las condiciones de tierra menos favorables implican suelos densos condensados y rellenados, los suelos debajo del nivel freático y los suelos dilatantes. Cada uno de estas condiciones del suelo tiende a aumentar la fuerza requerida para la operación bursting y a aumentar la zona de influencia de los movimientos de tierra.

Los suelos especiales como los suelos altamente expansivos o los suelos plegables también causan problemas. Para la mayoría de las

condiciones de suelo, es necesario simplemente proporcionar la energía requerida para efectuar la explosión, desplazar el suelo y tirar la tubería de reemplazo hacia adentro sobre la longitud de la explosión, considerando el efecto potencial de las dislocaciones y de las vibraciones de tierra en utilidades y estructuras adyacentes. Se pueden lograr explosiones más largas, más fácilmente en condiciones de tierra favorables.

Cuando el suelo proporciona una fricción alta en la tubería y la longitud del funcionamiento es suficientemente larga, se generan altas fuerzas extensibles en la tubería de reemplazo, la bentonita o los fangos de la lubricación del polímero se pueden inyectar en el espacio anular detrás del bursting head, para ayudar a mantener el agujero abierto y a reducir la fricción en la tubería de reemplazo.

El polietileno de alta y media densidad (HDPE y MDPE), son los materiales más comunes de la tubería de reemplazo. Otros tipos de tubería utilizados en el pipe bursting, incluyen la tubería de hierro fundido, la tubería de arcilla vitrificada, y la tubería de concreto reforzado.

### 3.4 MERCADO

Esta técnica es muy utilizada para renovar tuberías envejecidas en los E.E.U.U. y a nivel mundial, y cada vez su uso está aumentando. Una cantidad total del reemplazo de la tubería por año era, en los E.E.U.U., aproximadamente 16.000 pies (4.877 m) o menos en 1994, y sobre 500.000 pies (152.400 m) en 1997. El mercado es favorable, y la cantidad total está creciendo en aproximadamente el 20% por el año (Hopwood, 1998).

El pipe bursting, es actualmente más popular en el mercado sanitario de la alcantarilla en Norteamérica, que en el mercado del agua potable en donde se espera que llegue a ser eventualmente más común también. Su uso en el mercado del agua fue realzado por la aprobación del polietileno de alta densidad (HDPE) para el agua potable, de la American Water Works Association, AWWA, a principios de los años 90; pero el uso para el reemplazo de la tubería de agua se ha mantenido escaso. Se piensa que una de las razones es la negativa por parte de propietarios e ingenieros, en permitir el polietileno de alta densidad, HDPE, como materias en las conducciones principales de agua potable.

El pipe bursting, representa un método eficaz para el reemplazo trenchless de las tuberías existentes. Los resultados de investigación discutidos han suplido la experiencia ganada por los contratistas, los fabricantes y los ingenieros de los trabajos públicos y han dado lugar a:

Mejorar significativamente la comprensión del nivel de la vibración y del movimiento de la tierra asociados a operaciones del reemplazo de la tubería y cómo éstos disminuyen con el distancia.

Identificación de algunas áreas problemáticas potenciales para evitar bajas condiciones particulares del sitio del trabajo.

Como en el trabajo subterráneo, los proyectos del pipe bursting deben anticipar el potencial para las cambiantes condiciones de tierra, localizar utilidades adyacentes y problemas imprevistos con la tubería que es substituida. Los proyectos acertados requieren la buena proyección, la observación cuidadosa del progreso del trabajo y de las variables supervisadas durante la construcción, y la

cooperación equitativa entre el dueño y el contratista en ocuparse de circunstancias inesperadas.

La mayoría de las tecnologías trenchless no pueden alcanzar un sello hermético en las conexiones laterales del servicio. Sin conexiones herméticas de servicio, el agua subterránea que se había infiltrado previamente en la tubería a través de los empalmes, las grietas, y las secciones que faltan simplemente emigra a las conexiones del servicio. Como consecuencia, la rehabilitación de la línea principal raramente reduce la infiltración por más del 50%. Sin embargo, con pipebursting, las nuevas, guarniciones herméticas son instaladas en cada conexión lateral, deteniendo así, toda la infiltración excepto la que ocurre a través de las paredes de la boca y las líneas de servicio en conducciones privadas.

Los materiales de la tubería usados en el proceso de Pipebursting tienen una amplia variedad de guarniciones probadas, estándares. Estas guarniciones se pueden utilizar para volver a conectar la tubería nueva al sistema existente o a las líneas de servicio laterales.

Pipebursting se ha utilizado con éxito en usos municipales e industriales para substituir diversos tipos de tuberías. Tanto para gas, agua, alcantarillado, y cadenas de producción, como conductos de comunicación; todos se han substituido con esta técnica.

La experiencia ha demostrado que la operación de cabezas pipebursting no daña otras utilidades enterradas, incluso cuando están a pocos metros de distancia.

El suelo circundante sirve para fijar las vibraciones por adsorción generadas por las cabezas neumáticas, y los fragmentos de la tubería se empujan compactándolos en el suelo, para prevenir daños a la tubería nueva.

Aunque fue originada en Europa, el Pipe Bursting es el método de opción para el reemplazo trenchless de líneas de uso general en Norteamérica. Las innovaciones de esta técnica, conjuntamente con la característica de la tubería de polietileno hacen de este sistema para la rehabilitación de la tubería, más completo.

### C. EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA TRENCHLESS

La tecnología Trenchless es la técnica de la construcción que se aplica ampliamente a una variedad de métodos no-destructivos para instalar tuberías subterráneas sin el uso de la excavación con corte abierto. Hay un número de criterios, técnicos y económicos, que se deben tener en cuenta, durante la fase conceptual del desarrollo del proyecto para evaluar qué técnica de construcción es la más apropiada.

En algunos países de América Latina como Argentina, Uruguay y Chile, la Tecnología Trenchless se utiliza desde hace varios años, en especial los últimos, donde se ha generado un proceso de capacitación y entrenamiento, acompañado de un ajuste de las legislaciones existentes, para su adecuación.

En Argentina por ejemplo, se vienen utilizando en la última década los más avanzados y modernos sistemas de rehabilitación (Pipe Cracking, Pipe Bursting, U-Liner) de tuberías existentes, sistemas de perforación horizontal dirigida (Directional Drilling) para instalación de nuevas redes de agua, gas, telefonía, TV cable; construcción de grandes conductos para instalaciones de servicios públicos (con sistemas de microtunelería), sistemas de inspección televisiva, sonar, sistemas de detección de instalaciones subterráneas, sistemas de georadar, Pipe Ramming System y tal vez el más extendido y conocido el sistema de topes neumáticos (Pneumatic Moles).

Este proceso se fue complementando con una importante tarea de capacitación y entrenamiento, especialmente en los últimos tres años, que dio sus frutos considerando que las empresas

contratistas, sus operadores y profesionales adquirieron el know-how necesario para estar a la altura de las empresas más importantes del mundo.

Sin embargo, la legislación ha acompañado muy lentamente este proceso, no sólo en el orden local sino en el orden nacional: algunos países como Estados Unidos llevan 30 años regulando y actualizando sus normas sobre la utilización y explotación del subsuelo a fin de optimizar los recursos humanos y tecnologías disponibles, con el principal objetivo de realizar una adecuada prevención en materia de daños y perjuicios a instalaciones subterráneas de servicios públicos.

En Colombia, aunque se han realizado algunos proyectos utilizando técnicas trenchless, aún no se ha desarrollado un marco de referencia legal que regule este tipo de obras.

En el país existen, algunas empresas dedicadas a la comercialización de los equipos de perforación. Algunas de ellas, han sido pioneras en realizar proyectos trenchless, y aunque se reconoce que la valoración de costos de estos métodos, sugieren un ahorro económico considerable, no se cuenta con un conocimiento preciso sobre la tecnología sin zanja; adicionalmente, comparado con los costos en otros países, la mano de obra en Colombia, registra valores muy bajos, por lo que no se tiene muy en cuenta este parámetro al realizar una relación de costos.

En el territorio nacional, la mayoría de las conducciones de agua potable, y servicio sanitario, requieren mantenimiento, e incluso un reemplazo. Se trata de conducciones de muchos años, a las que no se le ha aplicado un sistema de evaluación de servicio.

Pero la prevención de daños requiere un esfuerzo de equipo, es decir, un compromiso por parte de las empresas concesionarias de servicios públicos, los municipios, los contratistas y todo aquel que tenga intenciones de excavar.

Muchos accidentes en las redes de servicios surgen por un descuido o falta de cumplimiento de las normas vigentes. Pero sin duda una cantidad importante ocurre porque las redes de servicios no se encuentran donde se cree que están. Los daños a los servicios públicos pueden reducirse sustancialmente conociendo exactamente dónde están enterrados los cables y los ductos.

Además de la colocación de redes subterráneas, la tecnología trenchless y los sistemas HDD se aplican asimismo para realizar trabajos de remediación de suelos contaminados e inaccesibles por otros métodos de excavación vertical, como por ejemplo el subsuelo de edificios.

Así, utilizando una tunelera y con una mínima interrupción de las actividades regulares en la superficie, es posible bombear agua subterránea para su tratamiento o extraer aire, vapor, gases o químicos para ventear (método sparging) desde abajo de una estación de servicio.

Otra forma de aplicación es la denominada bioremediación, consistente en la introducción de determinados microorganismos vivos en los suelos a tratar, ya que estos convierten la contaminación en sustancias inofensivas. Según especialistas, esta aplicación es eficaz para tratar contaminantes del petróleo.

## 1. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Una evaluación económica para los proyectos de inversión de capital implica generalmente el impuesto del costo de la construcción inicial y los beneficios asociados de un sistema propuesto de alternativas. La meta es la selección de una sola alternativa con la ventaja del costo total más bajo.

La evaluación económica de la tecnología trenchless implica la comparación de los métodos de la construcción sin excavación, con el método de construcción de corte abierto de zanja a lo largo de una alineación idéntica. Es necesario tener una comprensión de los tipos de costo que se deben evaluar para cada método de construcción. Estos tipos de costo, se puede dividir en tres categorías generales: primario, secundario, y de riesgo.

1. Los costos primarios pueden incluir:

- a) Planeación, ingeniería, y costos de gerencia para el diseño;
- b) Costos por derechos de forma, tomas permanentes y temporales de empleados;
- c) Costos de la construcción para el trabajo temporal y permanente asociado a la instalación de la tubería; y
- d) Costos de ciclo vital (si es requerido por el propietario).

2. El costo secundario puede incluir:

- a) Remuneración para los daños a la tierra o a la propiedad que no son parte del costo por derechos de forma;
- b) Pagos a negocios por la pérdida de beneficios;
- c) Impactos de la construcción en negocios adyacentes o residentes por ruido, polvo, vibraciones o tráfico; y
- d) Consecuencias para el medio ambiente u otras áreas sensibles.

3. El costo de riesgo puede incluir:

- a) Impacto de variaciones en las condiciones geotécnicas reales encontradas durante la construcción;
- b) Obstrucciones imprevistas; y
- c) Tratamiento o disposición del suelo contaminado o agua subterránea.

La consideración básica para estimar el costo del sistema trenchless es analizar el proyecto en un número de elementos de costo dominantes aplicando un proceso de estimación:

- Realizar una descripción del proyecto, utilizando la lista de comprobación antes mencionada, para tener una definición clara del alcance del trabajo. Este alcance del trabajo se desarrolla basada en el dibujo, las investigaciones y los informes geotécnicos, y las especificaciones técnicas del documento del contrato.
- Considerar los métodos básicos de la construcción que serán utilizados para realizar el trabajo. Las ediciones que deben ser tratadas incluyen la selección del tipo del protector para emparejar las condiciones de tierra, el tamaño del eje y el método de excavación y apoyo, y del tamaño de la tubería y del tipo del material.
- Preparar un listado de la cantidad de todas las actividades significativas del trabajo. Hay un número de aplicaciones para esta información. El primer uso es estimar el costo de materiales necesarios para terminar todas las actividades de la construcción, temporales y permanentes. Un uso secundario de las cantidades es evaluar la productividad de la construcción para todas sus actividades. Esta evaluación determinará las duraciones de tiempo

(generalmente en días) para cada uno de las actividades principales del trabajo, que se tomarán para tasar el costo del trabajo y del equipo para el proyecto.

- Resumir todo el costo directo desarrollado en el paso anterior y agregar los costos de las utilidades. Dependiendo de lo complejo del diseño, se puede agregar un permiso del diseño, para justificar los imprevistos que se presenten durante el proceso restante del proyecto.

En la selección de la técnica Trenchless más apropiada, se debe considerar cuidadosamente la condición de la tubería existente, y las condiciones de la tierra donde se realiza la obra.

La determinación de la técnica, la situación del acceso o foso de inserción, y la ruta para la nueva tubería implica un estudio inicial. Esto se considera a menudo como un gasto adicional comparado con las técnicas de corte de zanja. Sin embargo, el costo de la fase de estudio inicial de un proyecto Trenchless normalmente se compensa con menos tiempo en la obra.

La Tecnología Trenchless presenta otras ventajas únicas. Por ejemplo, con las nuevas instalaciones, se puede taladrar e instalar la tubería en el estrato más favorable, independiente de la profundidad.

## 1.1 LA VALORACIÓN DEL SITIO Y LA SELECCIÓN DE LA TÉCNICA

La oportunidad de éxito de cualquier proyecto subterráneo, se mejora considerablemente si se tiene en cuenta la condición de los servicios existente y la tierra donde se colocarán. En los proyectos

de corte abierto, la propia zanja es a menudo “la investigación” y “el plan” donde se resuelven los problemas a medida que ocurren. Por otro lado, el impacto medioambiental es difícil de predecir y minimizar sin un plan de proyecto adecuado.

Los recientes adelantos en el plan y el uso de CCTV (cámaras de supervisión remota), han reducido notablemente el costo de inspeccionar el agua y el alcantarillado gracias a la conexión de una red de computadoras, donde puede obtenerse información sobre las condiciones debajo del nivel de agua usando sondeos de topografía especiales. El radar penetrante de tierra, también se ha desarrollado y puede usarse desde la superficie para descubrir objetos enterrados, anulando el goteo de las tuberías defectuosas.

Estos dispositivos usados junto con las técnicas de excavación en vacío, han simplificado y reducido el costo de las investigaciones del sitio de obra.

Una regla tradicional para la mayoría de los proyectos subterráneos normalmente es que ese costo aumenta en relación directa a la profundidad de trabajo debajo de la superficie.

Con estas técnicas, para el trabajo en los servicios existentes, pueden usarse los puntos de acceso ya proporcionados reduciendo la necesidad de ruptura. Estas técnicas están disponibles para proporcionar soluciones de resistencia a los movimientos de tierra, desplazamientos y terremotos.

Usando las Tecnologías Trenchless, los diseñadores del proyecto pueden decidir la condición de tierra más favorable a cualquier profundidad, permitiendo la instalación de nuevos servicios donde

los métodos de corte abierto, eran previamente imposibles. Por ejemplo, es posible instalar los servicios debajo del permafrost en climas muy fríos, bajo áreas de importancia cultural o ambiental, y bajo los ríos y lagos que en el pasado han sido las barreras naturales para el método tradicional.

La habilidad de taladrar e instalar tubería a profundidades mayores puede ayudar a simplificar los planes permitiendo líneas más largas, con pendientes, que eviten la necesidad de bombear estaciones y sumideros.

## 1.2 CONSIDERACIONES FINANCIERAS

Además de los factores ambientales y sociales, pueden hacerse las comparaciones financieras entre las técnicas Trenchless y los métodos de corte abierto tradicionales. Sin embargo, estas comparaciones son a menudo difíciles porque no hay ningún método de comparación de costo universal.

En la práctica los límites financieros de un proyecto y el grado de riesgo financiero aceptable juegan generalmente un papel muy significativo en el proceso de la decisión y la ejecución.

Otro punto que también se cuestiona, es sobre quién recae el costo. El cliente se responsabiliza de los costos directos del contrato, y posiblemente para cualquier compensación en las pérdidas que ocasiona a residentes y negocios locales. Esto significa que a menudo, estos costos son asumidos por los ciudadanos locales y/o generaciones del futuro. Además, ciertas políticas financieras gubernamentales pueden modificar los costos reales de instalación, mientras se mantienen y reparan los servicios de utilidad.

Esto puede llevar al concepto erróneo de que el corte abierto es más barato, cuando de hecho, se puede demostrar lo contrario con una contabilidad que registre además los costos ambientales y sociales.

Los costos directos de las técnicas trenchless y los métodos de corte abierto, por lo que se refiere a materiales, se pueden establecer fácilmente por tiempo y equipos. Los costos indirectos como la reintegración de la superficie, las reparaciones a largo plazo de los caminos y edificios, la vida útil del servicio después del trabajo y el grado de riesgo para el trabajo de emergencia adicional que pueden levantarse durante el proyecto puede exceder a menudo los costos directos.

En algunos países, estos costos se ignoran, mientras que en otros ellos juegan un papel importante en el proceso de decisión. No obstante, una ventaja de los métodos trenchless es que hay generalmente menos costos indirectos porque el acceso de la superficie es mínima, el proyecto (una vez empezados en el sitio) es más corto, y los costos sociales y ambientales están considerablemente reducidos.

Cuando se comparan a los métodos de corte abierto convencionales, las técnicas Trenchless ofrecen varios beneficios ambientales, sociales y financieros distintos a favor de los objetivos de desarrollo urbanos sustentables.

### 1.3 CONSIDERACIONES ESTRATÉGICAS

En particular, en las regiones más desarrolladas del mundo el trabajo de construcción de superficie, rompe caminos, edificios y otras infraestructura. La duración de estas rupturas es una

frustración para los residentes locales, negocios y el público. Esto ha generado la creciente oposición en general, al trabajo de la construcción, incluso la preocupación sobre el daño al ambiente natural, así como un aumento en las demandas para la compensación.

En las regiones en vías de desarrollo, el uso de los métodos de corte abierto todavía se acepta ampliamente y frecuentemente, justificados en el empleo de un alto número de obreros inexpertos.

Las ventajas políticas de crear el trabajo y apoyar a menudo la economía local pesan más que otras consideraciones. Cada vez más, sin embargo, está usándose el equipo mecánico y eléctrico para todos los tipos de construcción.

La salud y seguridad de los obreros, operadores de equipo y el público se tiene muy en cuenta en todos los países y muchos han introducido legislaciones que requieren el uso de prácticas del funcionamiento seguras. En el caso de utilidades subterráneas, los obreros más esenciales son los operadores del equipo mecánico y eléctrico, la mayoría tiene que trabajar en espacios confinados, debajo de la superficie, o cerca de la circulación del tráfico, con el mayor riesgo de accidentes.

Con los proyectos trenchless, la excavación de la superficie se confina a la entrada relativamente pequeña y los hoyos de salida y es a menudo posible localizar a los obreros fuera de las áreas arriesgadas y del tráfico de la zona.

La tecnología Trenchless también proyecta el uso extenso de máquinas y procesos controlados desde la superficie, por eso las áreas de trabajo, de alto riesgo, quedan separadas.

En general, comparado con el uso de los métodos de corte abierto, los proyectos trenchless se caracterizan por la mínima ruptura de la superficie en un período más corto de tiempo. En un proyecto trenchless bien manejado, el público no se da cuenta que el mayor trabajo de la construcción realmente se está llevando debajo de ellos. Así, los proyectos trenchless son menos arriesgados y generalmente se ven más respetuosos del medio ambiente. En contraprestación, es conveniente analizar los costos generados en un proceso de instalación de corte abierto de zanja:

El proceso de la construcción de corte abierto es muy conocido y ha sido utilizado durante mucho tiempo. Este proceso, se puede dividir en cuatro elementos importantes: demolición y reparaciones superficiales; conflictos de utilidad con utilidades existentes; excavación, soporte y desecación del foso; e instalación de la tubería.

El primer elemento, la demolición superficial y la reparación, implican sobre todo remover y restaurar las características superficiales inconvenientes para la operación del trenching. Los ejemplos incluyen las cercas, las paredes, las señales, las calzadas, el pavimento, etc. En el caso del trenching en el área del tráfico de vehículos o peatonal, la cubierta temporal se debe proporcionar para tender un puente sobre el foso.

El segundo elemento, los conflictos con utilidades existentes, es a menudo uno de los factores principales que afectan el costo de la construcción de corte abierto.

Dependiendo del tamaño y de la profundidad del foso que es excavado para acomodar la instalación de la tubería, las utilidades existentes que estén interfiriendo con el proceso de zanja deben ser suministrados temporalmente a través del foso o recolocados permanentemente.

En áreas urbanas, los inconvenientes con las utilidades existentes se deben revisar cuidadosamente con todos los propietarios afectados para cerciorarse de que cualquier condición especial, tal como las restricciones del trabajo, los materiales requeridos o los límites en quiénes pueden realizar el trabajo, deben estar descompuestos dentro de la valoración del costo.

El tercer elemento, excavación del foso, apoyo, y desecación, son altamente dependientes de las condiciones de tierra locales donde se ubica el proyecto.

Las condiciones de tierra, especialmente cuando la roca está presente, así como el nivel del agua subterránea concerniente al fondo propuesto del foso, pueden tener un impacto significativo en costos. El apuntalamiento temporal del foso se requiere normalmente cuando la profundidad del foso excede los límites determinados, pero se puede también requerir en ciertas condiciones de tierra sin importar la profundidad del foso.

El cuarto elemento, instalación de la tubería, es determinado normalmente por la selección del material de la tubería para

proporcionar la fuerza y el funcionamiento adecuados para la vida de diseño del sistema que se construye.

#### 1.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

Con un equipo para reemplazo de tubería de acueducto usando tecnología trenchless, se reduce en más de un 80% la necesidad de excavar zanjas, y por lo tanto, se reducen de manera drástica los costos de romper calles, andenes o vías, de excavar, de remover escombros, de usar nuevo material, de compactar y de reparar de nuevo la superficie con asfalto, concreto, mármol, etc.

Los trabajos de excavación tienen en la actualidad un costo de \$50000 pesos por metro lineal, sin incluir el costo de la tubería, los discriminados así:

|                                                      |              |
|------------------------------------------------------|--------------|
| Demolición de andén en concreto de 15 cm de espesor  | \$ 5600 / ml |
| Excavación de material común y material vegetal      | \$ 4800 / ml |
| Retiro y cargue de sobrantes                         | \$ 8600 / ml |
| Relleno en banco con recebo compactado               | \$15000 / ml |
| Reconstrucción de andén en concreto 15 cm de espesor | \$16000 / ml |

|                                                |         |
|------------------------------------------------|---------|
| Costo por metro lineal de excavación de zanjas | \$50000 |
|------------------------------------------------|---------|

Esto indica, que el reemplazo de 100 metros de tubería excavando zanja costaría alrededor de \$5000000. Es necesario además tener en cuenta que las normas IDU obligan a la reparación de losas completas en andenes, y a la recuperación de un 50% más del área afectada si se trata de pavimento, esto aumenta aún más los costos de las obras de excavación presupuestadas.

En un caso típico de reemplazo de 100 metros de tubería de 4 pulgadas, con el equipo Hydroburst, solo se excava en los lugares necesarios:

2.5 metros para la colocación del equipo

2.5 metros para la entrada de la tubería

0.75 metros para cada acometida (para 9 metros, suponiendo que existan 12)

Teniendo estas consideraciones, el total real de excavación con el equipo sería de 14 metros con respecto a los 100 metros de excavación con el método tradicional.

Utilizando este equipo, se excavarían sólo 14 metros (86% menos que por el método tradicional), a razón de \$50.000 metro, costarían \$700.000, si la utilización del equipo, tuviese un valor hipotético de \$25000 el metro lineal, los 86 metros restantes costarían \$2.125.000, de tal manera que el costo total utilizando el equipo Hydroburst, sería de \$2.825.000, respecto a los \$5.000.000 que cuesta el método tradicional de corte de zanja.

Se puede concluir entonces que con este equipo, el ahorro que representa en 100 metros de reemplazo de tubería, sería de un 43% menos que el método de excavación de zanja.

Otro ejemplo: Realizando una evaluación de costos a precios comerciales, de los métodos convencional y sin zanja, para renovación de redes de acueducto, en diámetro de 90 mm (3 pulgadas).

Estos precios son aproximados y para cada proyecto específico se deberá evaluar particularmente la estructura de costos, propia del sector a renovar:

En este análisis de costos, no se tienen en cuenta la instalación de acometidas, suministro e instalación de válvulas e hidrantes en razón a que estas actividades varían sustancialmente de un proyecto a otro y su costo siempre se determina en forma independiente de la instalación de la tubería.

Tabla 1. Análisis Comparativo de Costos

| ACTIVIDAD                   | UNIDAD | VALOR UNITARIO | CON ZANJA |               | SIN ZANJA |               |
|-----------------------------|--------|----------------|-----------|---------------|-----------|---------------|
|                             |        |                | CANT.     | VALOR TOTAL   | CANT.     | VALOR TOTAL   |
| Demolición andén            | m2     | 3.500          | 80        | 280.000       | 16        | 56.000        |
| Excavación                  | m3     | 6.500          | 32        | 208.000       | 11        | 71.500        |
| Retiro de Escombros         | m3     | 18.000         | 16        | 288.000       | 5.5       | 99.000        |
| Relleno material excav      | m3     | 5.500          | 16        | 88.000        | 5.5       | 30.250        |
| Relleno arena               | m3     | 20.000         | 12        | 240.000       | -         | -             |
| Relleno B-600               | m3     | 30.000         | 16        | 480.000       | 5.5       | 165.000       |
| Reconstrucción andén        | m2     | 42.000         | 80        | 3.360.000     | 16        | 672.000       |
| Reconstrucción calzada      | m3     | 400.000        | 2         | 800.000       | -         | -             |
| Suministro Tubería PVC      | ml     | 9.170          | 100       | 917.000       | -         | -             |
| Suministro Tubería PE       | ml     | 11.400         | -         | -             | 100       | 1.140.000     |
| Instalación Tubería PVC     | ml     | 3.000          | 100       | 300.000       | -         | -             |
| Instalación Tubería PE      | ml     | 24.000         | -         | -             | 100       | 2.400.000     |
| Acabados andenes            | m2     | 35.000         | GL        | 245.000       | GL        | 105.000       |
| Accesorios                  | CU     | GL             | GL        | 350.000       | GL        | 250.000       |
| VALOR TOTAL PARA 100 METROS |        |                |           | 7.556.000     |           | 4.988.750     |
| VALOR DE UN METRO LINEAL    |        |                |           | <b>75.560</b> |           | <b>49.888</b> |

Con estos valores, se observa un ahorro aproximado del 32% en costos.

## 1.5 BENEFICIOS ECONÓMICOS GENERALES

- 80% menos de excavaciones y ahorros en costo de obra entre el 40 y el 50%.
- El ahorro del 40% representa para las empresas de acueductos poder renovar más metros de tuberías con el mismo presupuesto de inversión.
- Se agiliza enormemente el tiempo de ejecución de los trabajos. Se hacen más metros de renovación de tubería en menos tiempo.
- El retorno en la inversión de un equipo para reemplazo de tubería es muy alto, las oportunidades de trabajo del equipo son muchas, los acueductos necesitan renovar muchos metros de tuberías, por los ahorros y beneficios que les representa.
- Se disminuye el impacto urbano de las obras, no se interrumpen los accesos a las viviendas ni a los locales comerciales, evitando los perjuicios económicos y las molestias que se le causan a los ciudadanos.
- Se evita interrumpir las vías vehiculares durante la ejecución de las obras, no se producen traumas de tráfico, ni se requiere del costoso control de vías alternas.
- Se reducen los trámites y permisos necesarios para hacer las excavaciones.

- No se tiene contacto ninguno con el interior de la tubería a instalar, la cual va totalmente sellada durante la instalación y por lo tanto no existe ninguna posibilidad de contaminación.
- La instalación y operación del equipo es muy sencilla, rápida y económica.
- Se utiliza la tubería existente como guía para la instalación de la nueva, lo cual evita el riesgo de causar daño a otras tuberías o cables que estén cerca de la tubería que se va a reemplazar.
- Las tuberías de polietileno, tienen cero nivel de fugas, tramos largos continuos de tubería, uniones altamente confiables, lo que resulta en menos accesorios, tienen bajo factor de fricción, larga vida útil, resistencia a la abrasión y a la corrosión son más flexibles y resistentes.

## 2. CONSIDERACIONES PARA EL USO DE LAS TÉCNICAS TRENCHLESS

Los diámetros y longitudes que se pueden alcanzar dependen de varios factores: tipo de suelo, diámetro y material de la tubería, longitud del cruce, tipo de interferencia, profundidad o tapada. Esto hace que cada trabajo sea distinto.

Asimismo, comparando los dos sistemas, cuando se habla de pasar una tubería simple, los valores son prácticamente iguales, aunque todo dependerá de la cantidad de metros a realizar.

De todas maneras, la variación de precios se produce básicamente de acuerdo a dos ítems:

- El diámetro de la cañería (cuando es muy grande, la tunelera deberá trabajar más tiempo para ensanchar el túnel), y
- La cantidad de metros, que requerirá mayor costo de reposicionamiento de equipos.

El problema es que cada tunelera debe contar con todo un equipo de apoyo, camiones, grupos electrógenos, fusionadoras, motobombas y un grupo de personal altamente capacitado que sabe que este tipo de trabajo es muy duro y difícil, operando de día, de noche, con sol o con lluvia.

En los últimos años, las tecnologías trenchless, se han utilizado para la construcción y la rehabilitación de servicios subterráneos como las conducciones de gas, sistemas de distribución de agua, sistemas de alcantarillado, y alcantarillas de drenaje.

En el concepto general de tecnología trenchless, hay una amplia gama de técnicas no dirigibles (o poco dirigibles), incluyendo el Cured-In-Place Pipe (CIPP), Microtunneling, Tunneling, Horizontal Directional Drilling (HDD), Sliplining, Fold-and-Reformed pipe, Pipe Jacking, Pipe Bursting, Spot Repair, y el Spiral Wound,

En la ingeniería se requiere no solo entender las tecnologías trenchless existentes o novedosas, también los costos asociados para la toma de decisiones apropiadas, en prioridad a la rehabilitación, el presupuesto y la programación. El costo total de proyecto de construcción incluye no solamente los costos directos, sino los costos sociales.

Las estimaciones exactas de estos costos son importantes al seleccionar el método más apropiado de construcción.

Para los sistemas existentes de la tubería, la evaluación de la condición y la rehabilitación de la infraestructura de los sistemas enterrados son un proceso en curso para mantener un nivel deseado del servicio. La comprensión y el aprecio cuidadoso de estas condiciones también son importantes, en la toma de decisiones.

## D. TUBERÍAS DE POLIETILENO

Se llama polietileno a cada uno de los polímeros del etileno. El polietileno es probablemente el polímero que más se ve en la vida diaria. Es el plástico más popular del mundo.

El polietileno es un material termoplástico que se caracteriza por su alta resistencia química, favoreciendo su operación en ambientes alcalinos. El polietileno constituye una alternativa válida con respecto a los materiales tradicionales. Su resistencia a los golpes, a las bajas temperaturas, y a la corrosión lo señalan como el indicado para terrenos inestables, donde es posible su colocación a profundidad, sin ninguna protección.

Existen, básicamente, dos tipos de polietileno, el polietileno de baja densidad (Low Density PolyEthylene LDPE) y el polietileno de alta densidad (High Density PolyEthylene HDPE). También se pueden distinguir el polietileno lineal de peso molecular ultra-alto (Ultra High Molecular Weight PolyEthylene UHMWPE).

### 1. POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

El polietileno de alta densidad es un polímero de cadena lineal no ramificada.

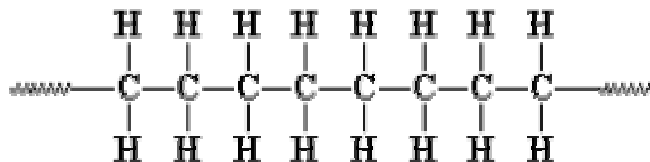


Figura 43: Estructura HDPE

Se obtiene por polimerización del etileno a presiones relativamente bajas (1-200 atm), con catalizador alquilmetálico (catálisis de Ziegler) o un óxido metálico sobre sílice o alúmina (procesos Phillips y Standard Oil).

Su resistencia química y térmica, así como su opacidad, impermeabilidad y dureza son superiores a las del polietileno de baja densidad. Se emplea en la construcción y también para fabricar prótesis, envases, bombonas para gases y contenedores de agua y combustible.

Los objetos fabricados con HDPE se identifican, en el sistema de identificación americano SPI (Society of the Plastics Industry), con el siguiente símbolo en la parte inferior o posterior:



Figura 44: Logotipo HDPE

## 2. POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

El polietileno de baja densidad es un polímero de cadena ramificada.

Se obtiene por polimerización del etileno a altas presiones (aproximadamente 1200 atm y 200° C) con oxígeno o catalizador de peróxido y por mecanismo de radicales libres.

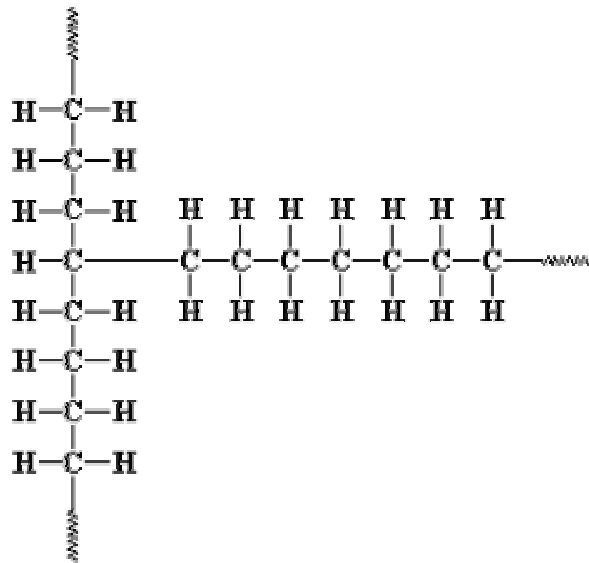


Figura 45: Estructura LDPE

Es un sólido más o menos flexible, según el espesor, ligero y buen aislante eléctrico. Se trata de un material plástico que por sus características y bajo coste se utiliza mucho en envasado, revestimiento de cables y en la fabricación de tuberías. Los objetos fabricados con LDPE se identifican, en el sistema de identificación americano SPI (Society of the Plastics Industry), con el siguiente símbolo en la parte inferior o posterior:



Figura 46: Logotipo LDPE

### 3. ANTECEDENTES

El polietileno para tuberías se comenzó a utilizar en Europa y Estados Unidos de Norteamérica a comienzos de la década del '50.

En Estados Unidos de Norteamérica obtuvo un exponencial crecimiento en su utilización, donde en 1959 había cerca de 9.000 toneladas instaladas, con un total aproximado de 3.000 kilómetros de tendidos, creciendo en cinco años un 1.455%, significando más de 140.000 toneladas instaladas en aproximadamente 46.000 kilómetros de tendidos, y creciendo su utilización desde entonces a un nivel de 25 veces en 25 años. En Europa sucedió algo similar y con mayor éxito aún.

Sus características de flexibilidad, bajo peso, propiedades de resistencia física y química, la posibilidad de unión por fusión, la baja rugosidad y la adaptabilidad a diferentes tipos de temperaturas extremas, han contribuido a su éxito y a su crecimiento en la utilización para redes y conducto de fluidos en los países más desarrollados del mundo.

La utilización de tubos de polietileno de media y alta densidad para la instalación de redes de todo tipo, son muy elegidos por los países más desarrollados, especialmente por su importante grado de seguridad y tranquilidad a lo largo de muchos años de servicio, lo que posibilita una importante reducción de costos de instalación, mantenimiento y amortización.

Las características determinantes para su exitoso desarrollo fueron, entre otras, la flexibilidad, el bajo peso, sus propiedades físicas y de resistencia química, la posibilidad de unión por fusión, la baja rugosidad y la facilidad de transportación. Luego, sucesivos avances en la tecnología de ese material, en la ingeniería de su aplicación y en el diseño de productos, confirmaron la tendencia creciente de sustitución de tuberías de materiales tradicionales por el PEAD en el

mercado de la conducción de fluidos o para la instalación de cables enterrados.

Por fin, la posibilidad de insertar “in situ” por tunelado una tubería subterránea nueva de polietileno dentro de otra antigua de asbesto, PVC, hierro fundido o acero, corroída o deteriorada, sin tener que practicar una nueva zanja, amplió más su campo de posibilidades de aplicación.

Hoy, las tuberías de polietileno se proveen en bobinas, lo que facilita su más rápida instalación. De todas maneras, debe quedar en claro que la presentación del producto, ya fuera en rollos o en barras, no afecta la técnica de puesta de tuberías mediante máquinas tuneleras y a través del sistema de perforación dirigida.

Para la instalación de tuberías bajo el suelo, tradicionalmente se abren zanjas, cuyo ancho y profundidad dependen del diámetro de la cañería a colocar y las características propias de cada obra.

Si bien con cada vez más frecuencia están utilizándose las nuevas técnicas que propone el tunelado (HDD) para evitar los trabajos a cielo abierto, el empleo de estos métodos dependerá en principio de la flexibilidad del material componente de la cañería a colocarse, ya que las tuneleras realizan bajo tierra un trazado necesariamente “curvo”, con un pozo de entrada y otro de salida a nivel.

De esta manera, aunque son comunes los casos de instalación de tubos de acero, por ejemplo, en la mayoría de las instalaciones de redes podrá observarse la utilización de tuberías de polietileno.

#### PROPIEDADES

En consecuencia, los modernos tubos en PE 80 y PE 100, tienen importantes ventajas y cualidades comparativas que hacen más rentable su utilización en el tiempo, en relación con las tuberías de PVC, fibra-vidrio, hierro fundido, acero, asbesto cemento y otras, debido principalmente a las siguientes características:

Alta elasticidad y flexibilidad que posibilita instalaciones en superficies y tendidos irregulares, resistiendo también movimiento físicos por erosión, etc.;

- Antisísmicos;
- Importantes propiedades hidráulicas;
- No contamina y preserva el medio ambiente: posee un 0 % de contaminación y agresión al medio ambiente y al fluido que transporta, beneficiado por una sistema de unión de alta seguridad, además de contener un 100 % de su material totalmente reciclable;
- Mayor Resistencia a los golpes de ariete en relación con los otros materiales;
- Posibilitan el aplastamiento total pudiendo realizar derivaciones y reparaciones sin necesidad de cortar el fluido en los tendidos no afectados;
- Muy baja pérdida de carga por roce, debido que los tubos son altamente lisos, con elevada resistencia mecánica y baja inercia a la fricción causada por el fluido interno, manteniendo esta importante característica en su utilización con el correr del tiempo, como resultado de la alta calidad de los materiales y tecnología empleada para su producción;
- Resistencia química inherente e inmune al ataque del agua, soluciones acuosas de sales orgánicas, álcalis, hongos, y ácidos concentrados;

- Resistencia a la corrosión, micro organismos y roedores. Químicamente son inertes entre 7° C y 20° C, no descomponiéndose ni enmohecendo. Resisten a cualquier acción microbiana y no atraen roedores;
- Resistencia al colapso con sub-presiones e incluso vacíos absolutos para situaciones de corto plazo;
- Resistencia a la intemperie por estar protegidos contra la degradación de los rayos ultravioletas, pudiendo asegurar un mínimo de 50 años de vida útil sin alteración de sus características por los agentes externos;
- Resiste a las heladas y la red instalada no necesita anclajes, pudiendo soportar el congelamiento, debido a su mínima conductividad térmica y alta flexibilidad;
- No son tóxicos y no poseen problemas en el contacto con los alimentos, particularmente no afectan el sabor, el color y el aroma;
- Gran resistencia a la abrasión pudiendo soportar los sólidos en suspensión cuatro veces más que el acero, y por esta característica, muy útiles en las industrias de extracción, entre otras;

Alta calidad, con un proceso de producción con monitoreo desde el ingreso de la materia prima hasta que el producto es enviado al cliente, a través de un laboratorio de control de calidad dotado de instrumental de última generación a nivel mundial.

La aplicación de la Tecnología Trenchless, se ha visto especialmente beneficiada con el uso de la tubería de polietileno. Las ventajas de su flexibilidad, bajo peso, propiedades de resistencia física y química, la posibilidad de unión por fusión, la baja rugosidad y la adaptabilidad a diferentes tipos de temperaturas extremas, han

contribuido a su éxito y a su crecimiento en la instalación de redes y conductos, con Tecnología Trenchless, en los países más desarrollados del mundo.

Las propiedades y ventajas más significativas de las tuberías de polietileno, que favorecen la aplicación de los sistemas trenchless son su densidad y su flexibilidad:

#### DENSIDAD

El bajo peso específico del polietileno facilita el transporte y la manipulación de tuberías de gran envergadura de forma sencilla sin necesidad de compleja maquinaria para la puesta en obra de las tuberías, incluso en condiciones muy adversas.

La densidad del polietileno es menor que la del agua y relativamente baja en comparación con otros materiales convencionales, esto permite la sencilla instalación de tuberías en terrenos abruptos y conducciones submarinas.

#### FLEXIBILIDAD

La flexibilidad de las tuberías de polietileno permite la fabricación y el transporte de las tuberías en rollos o bobinas de gran longitud, reduciendo de manera importante el número de uniones en el montaje.

Hasta un diámetro de 110 mm, los tubos se puede suministrar en rollos continuos que pueden tener una longitud de 50 a 200 mts. En pequeños diámetros, se pueden suministrar bobinas con tuberías de hasta 1000 metros de longitud.

La instalación de tramos no rectilíneos en terrenos irregulares se realiza sin necesidad de acoplamientos o accesorios, desapareciendo el riesgo de fugas en juntas. Las tuberías de polietileno son muy indicadas para conducciones enterradas en suelos movedizos o de baja capacidad portante, puesto que los asentamientos diferenciales pueden ser absorbidos por la tubería sin riesgo de fisuras. Facilitan de forma importante su instalación, repercutiendo de forma directa en la mejora de los rendimientos de montaje.

Las características de diseño de la tubería de PE han sido establecidas por muchos años. Se fabrica según normas estándares de AGA, de ASTM, de AWWA, y del API, fijando sus características físicas y una vida de servicio establecida. La tubería de PE es mucho más lisa, más resistente a la abrasión, y no será dañada por la corrosión microbiológica inducida o química.

## E. EQUIPOS

Existen empresas alrededor del mundo, dedicadas a la distribución de maquinaria y equipos trenchless, sin embargo, para fines prácticos se hará referencia a tres compañías, que predominan en este campo: El fabricante alemán TRACTO – TECHNIK, y las empresas americanas VERMEER y DITCH WITCH.

### 1. EQUIPOS TRACTO-TECHNIK

#### 1.1 SISTEMA ESTATICO GRUNDOBURST

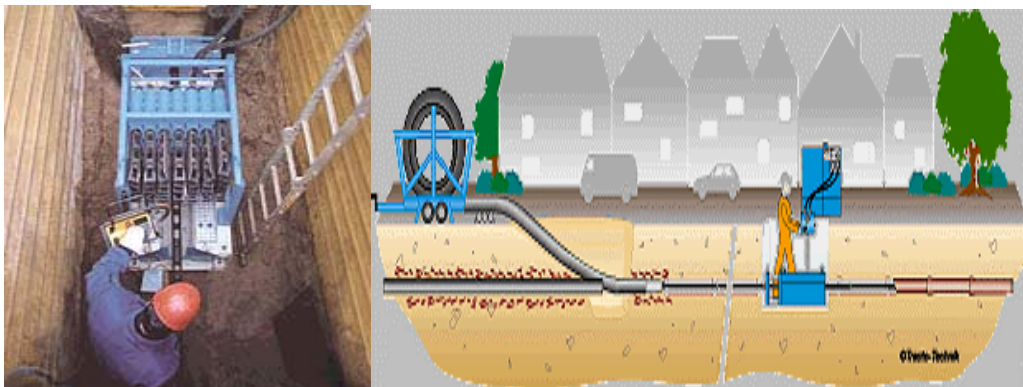


Figura 47: Grundoburst

Para el reemplazo de tuberías sin zanja hasta de 250 mm de diámetro.

El sistema de sustitución estático es recomendado para la renovación de redes de gas, agua o saneamiento en suelos blandos. El sistema GUNDOBURST comprende una unidad de lanzamiento, una central hidráulica y las barras articuladas QuickLock.

El sistema es fácil de instalar y de manipular, la puesta en marcha es muy rápida y operarios experimentados pueden lograr rendimientos

de unos 150 m/día. Diversos accesorios son provistos para la rotura y expansión, así como para el tirado simultaneo de la tubería nueva.

Resumen de ventajas:

- Utilización en suelos blandos sin carga dinámica del suelo.
- Una maquina para redes hasta un diámetro de  $\varnothing$  250 mm
- Barras articuladas QuickLock, elásticos ligeramente flexibles.
- No mas perdidas de tiempo en enroscar barras. QuickLock se une por simple acople.
- Trasmisión optima de la fuerza de empuje y de tracción.
- Igualmente utilizable para el reemplazo de tubos de acero o de tubos flexibles.
- Fuerza de empuje y de tracción elevadas.
- No necesita la utilización de un winche (Grundowinch)
- Fácil manejo.
- Velocidad de sustitución elevada.
- Posibilidad de transportarlo en forma sencilla en una camioneta o un remolque.
- Posibilidad de arrastrar tubos de PE en rollos sin atascamiento.

## 1.2 SISTEMA DINÁMICO GRUNDOCRAK

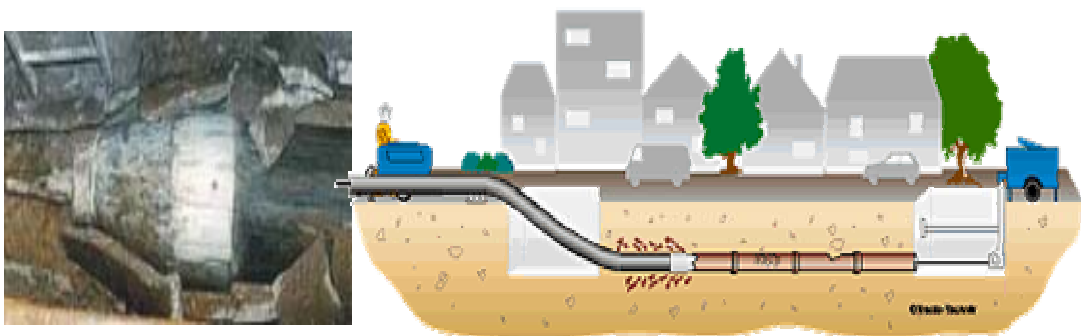


Figura 48: Grundocrack

Para el reemplazo de tuberías sin zanjas hasta de 400 mm de diámetro.

El Grundocrack se introduce por dentro de la tubería a sustituir de gres, cemento, sintética o de fundición gris y con su fuerza la revienta y la compacta. Al mismo tiempo se introduce la nueva tubería de igual o mayor diámetro. El Grundocrack puede trabajar desde arquetas de tan solo 1 m. de diámetro. Solo bifurcaciones y grandes curvas hacen necesarios pozos intermedios.

Las tuberías de PVC o PE son las mas sencillas de instalar. Este material es resistente a los golpes, se acopla fuertemente al Grundocrack y se adapta al recorrido del viejo trazado por su flexibilidad.

Para asegurar el trazado y reducir el roce de la tubería durante el mismo, se puede inyectar al mismo tiempo una suspensión mezcla de bentonita y cemento. El sistema de sustitución estático, se recomienda en obras muy sensibles donde existe proximidad de otras tuberías u obras.

La plataforma empuja las varillas Quicklock a través de la tubería a sustituir. En la fosa de llegada se sustituye el cabezal guía por el cono expensor que conducirá la nueva tubería a instalar. Cuando se arrastra la nueva tubería, la vieja es destruida. Una ventaja muy importante son las varillas, que sin enroscar las se enganchan fácilmente, con el consiguiente ahorro de tiempo.

Este sistema es ideal para las tuberías de agua potable, ya que al ser introducida la nueva tubería ésta permanece siempre limpia. El sistema está patentado.

La principal ventaja del sistema Grundocrack es la posibilidad de aumentar el diámetro original del agujero y esto ofrece una ventaja

decisiva sobre otras técnicas de inserción de tubería que pueden reducir o solo mantener el diámetro sustituido.

Resumen de ventajas:

- Pueden ser reemplazados tubos hechos de material fracturable como, cerámica, hormigón, fundición, hormigón no reforzado, plástico, y aceros de pared fina.
- Pueden ser instalados nuevos tubos de igual o mayor diámetro.
- Para agua, saneamiento, gas y drenajes.
- Simple de operar y requiere una capital medio en equipamiento.
- Máquinas de pequeña longitud son disponibles para sustitución de tubos entre cámara y cámara de inspección.
- Se dispone de varios diámetros de maquinas y prácticos accesorios.

### 1.3 GRUNDOMAT P (POTENCIA)



Figura 49. Grundomat

Instalación de cables y tubos sin zanqueo hasta 160 mm de diámetro. Para la instalación de tuberías de abastecimiento y desagüe, los topes Grundomat son, en comparación a la zanja abierta, mucho más económicos y por lo tanto más rentables.

Funcionan mediante aire comprimido, avanzando a través del terreno de forma autopropulsada y creando una perforación muy precisa a través de la tierra, terreno pedregoso o cascotes. En su avance el terreno es compactado y el topo arrastra tras de sí tuberías de PVC, PE o acero.

El topo Grundomat puede trabajar para Telecomunicaciones, y Empresas que suministran Agua, Gas, Electricidad. Multitud de trabajos, como son conexiones a la vivienda, cruces de carretera o ferrocarril, son posibles con los topos Grundomat.

El avance en dos tiempos es una idea de Tracto-Technik. Además los Grundomat 130P, 145P, 160P y 180P, están equipados con un cambio de marcha patentado, completamente nuevo.

En el interior de la unidad de control se encuentra igualmente el dispositivo pulverizador para la lubricación de la maquina. La manguera de alimentación entre la maquina y la unidad de control contiene internamente un tubo de control flexible para realizar el cambio de marcha, el que se puede efectuar aun cuando la maquina funciona en plena potencia.

Los Grundomat 45P, 55P, 65P, 65PK, 75P, 75PK, 85P, 85PK, 95P, y el 110P, son igualmente provistos con el nuevo sistema de impacto de dos tiempos o doble golpe de la cabeza de perforación. Sin embargo, NO tienen el "Cambio de marcha servo" de Tracto, sino el tradicional de tirar y girar  $\frac{1}{4}$  la manguera de alimentación.

Accesorios: Plataforma de lanzamiento y alineación y mira telescópica (Grundoscope) con jalón para perforaciones directo al objetivo.

#### Resumen de ventajas.

- Mayor velocidad de perforación.
- Utilizable para todas las condiciones de suelo excepto roca.
- Alta precisión en agujeros directo al objetivo, debido al sistema patentado de impacto de dos golpes.
- Sistema simple de marcha-atrás, marcha-adelante y nuevo sistema servo.
- Lubricador y sistema de control en una misma unidad.
- Mayor numero de golpes con alto impacto.
- Posibilidad de tirado simultaneo de la tubería.
- Diversidad de aplicaciones.
- Larga vida útil gracias a los tratamientos térmicos y de cromoplatino de todas las partes metálicas.
- Bajo consumo de aire debido a la hermeticidad de los sellos de teflón en todas las partes móviles.
- El ajuste del topo es posible durante la perforación.
- Once diámetros posibles de topo.
- Prácticos sistemas de accesorios disponibles.

#### 1.4 GRUNDOPIT 40/60

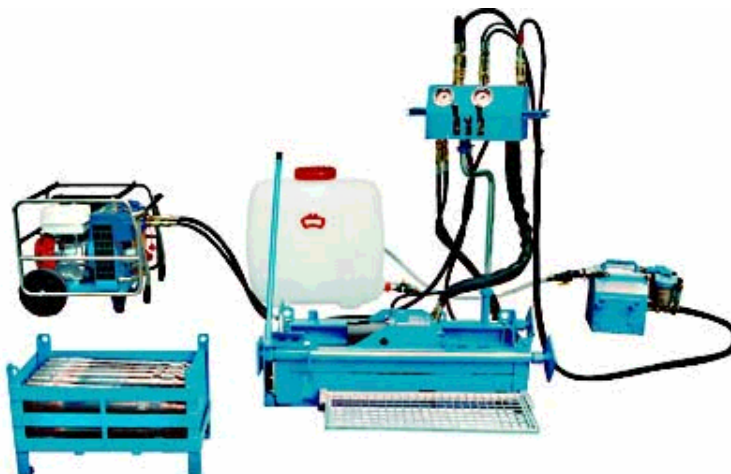


Figura 50: Mini sistema de perforación dirigible

Para conexiones de servicios o el tendido de cables, caños de gas, canalizaciones de agua potable y saneamientos hasta un diámetro de  $\varnothing$  100 mm y una longitud de hasta 50 mts.

Su concepción compacta, (largo 1.12 m., ancho 0.47 m. y alto 0.37 m.), permite trabajar en lugares pequeños. Su peso sin las barras es de solamente 260 Kg. Un tanque de agua de 200 litros sirve para refrigerar la cabeza de perforación y la sonda. Una pequeña central hidráulica de 13 kN es suficiente para su empleo. Fuerza de empuje 60 kN, fuerza de tracción 40 kN.

En la cabeza de perforación va alojada una sonda que permite localizar y dirigir la perforación por medio de un detector de superficie.

Dispone de accesorios de perforación para expansión (backreamer) y para el tirado directo de la tubería.

### 1.5 SISTEMA DE HINCADO DE TUBERÍAS GRUNDORAM

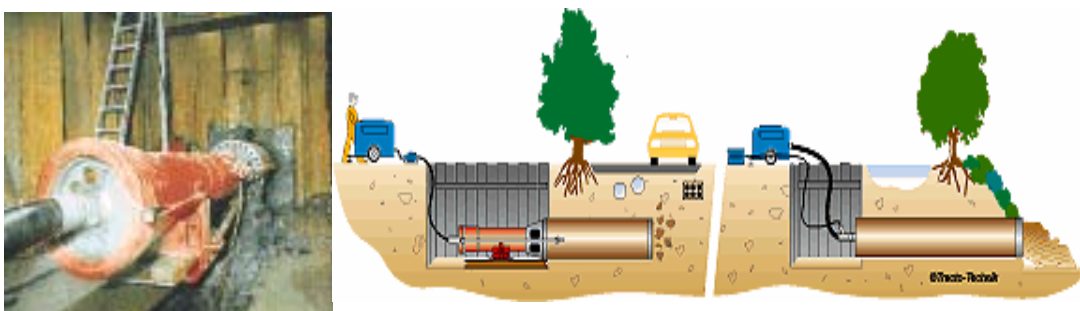


Figura 51: Grundoram

Para instalación de tubos de acero hasta  $\varnothing$  3000mm

El cuerpo de la máquina es de una sola pieza, formado por un bloque de acero sin soldaduras. El pistón es de acero endurecido. La técnica de trabajo con Grundoram hace mas fácil el re inicio después

de paradas prolongadas y la superación de obstáculos puntuales. La tierra que se introduce en la tubería por la parte delantera del tubo es extraída, una vez terminada la perforación, con aire y agua.

El sistema sirve para todo tipo de terrenos también en suelos pantanosos o con bolos. En cualquier situación no se producen embudos a lo largo del trazado. Asentamiento del terreno son imposibles.

La clave del martillo es la potencia del pistón que es sometido a tratamiento térmico y plateado para otorgarle larga vida y durabilidad. GRUNDORAM es la alternativa mas económica respecto a las zanjas a cielo abierto o de otros sistemas de perforación y métodos tradicionales de clavado.

Resumen de ventajas:

- Mínimo tiempo de instalación.
- Economía de tiempo en excavación de agujeros y reposición.
- No es necesario construir anclajes costosos.
- Tremenda potencia de impacto concentrada.
- Velocidad de propulsión de hasta 15m/h.
- Aplicable tanto horizontal como verticalmente.
- Múltiples aplicaciones posibles.
- Puede ser lanzado desde un agujero de corta longitud.
- Prácticos accesorios para asistirlo en las operaciones en obra.
- Es posible el monitoreo de la operación utilizando el Grundocontrol.
- El sistema puede atravesar rocas y bolones hasta el tamaño del diámetro del tubo.
- Hay disponibles 12 diámetros de maquinas hasta de 2.000 ton de empuje.

## 1.6 TOPO DIRIGIBLE GUNDOSTEER

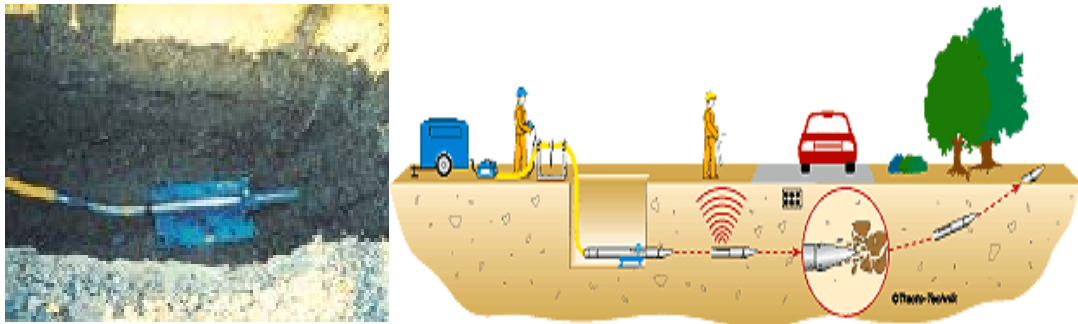


Figura 52: Grundosteer

En la parte delantera de la máquina se encuentra una sonda que da la posición exacta de la máquina, así como la dirección e inclinación a un operario que realiza la medición, así como, a otro que se encuentra en la fosa de ataque; éste dirige mediante un mando hidráulico manual, girando la manguera de presión y dándole a la máquina la posición deseada. Esto se consigue mediante una cabeza intercambiable (dependiendo del terreno) que está fuertemente unida al cuerpo de la máquina.

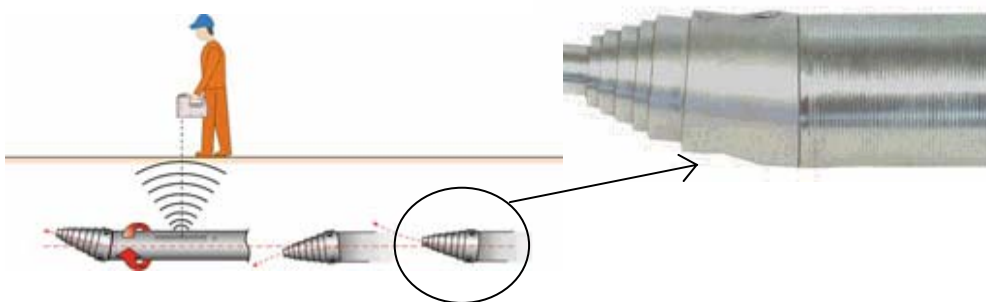


Figura 53: Topo grundosteer

También en el mando hidráulico existe una palanca para dar la potencia necesaria a la máquina. La dirección se rige bajo el principio de las agujas del reloj. La cabeza gira libremente dentro de la camisa, pudiendo dirigirse también en distancias largas. La

manguera de presión es especial, compuesta por resinas sintéticas, siendo mas resistente a la torsión que una manguera hidráulica.

Para aumentar la resistencia de ésta manguera se le ha añadido un revestimiento de acero. Este revestimiento impide durante el giro, que se aplaste. Así pues se pueden dar presiones hasta 100 Nm

Para la instalación de tubería de pequeño diámetro (hasta ahora 63 mm) el TOPO dirigido GRUNDOSTEER ofrece una alternativa económicamente interesante a la perforación horizontal con fluidos.

#### Resumen de ventajas

- Topo dirigido neumático
- Para conexiones a casas con grandes jardines, hasta de 50 m.
- Fácil de manejar, casi como un topo normal.
- Trabaja sin varillas ni fluidos - ningún costo de fluidos.
- Sistema de detección: Sonda delgada de Radiodetection ó sonda azul de DCI.
- Fácil dirección, según agujas del reloj, a través del giro manual de la manguera de presión patentada.
- El ángulo de dirección se puede predeterminar a través de diferentes cabezas de perforación dependiendo del tipo de terreno.
- La velocidad media de avance es de 10 m/hora.
- La instalación de la nueva tubería, hasta ahora diámetro exterior máximo 63 mm, durante la perforación o en marcha atrás.
- El transporte de la máquina es posible realizarlo en una camioneta, se puede levantar con las manos, no necesitando en la obra un sistema de grúa.
- Inversión mínima

## 1.7 GRUNDOPULL

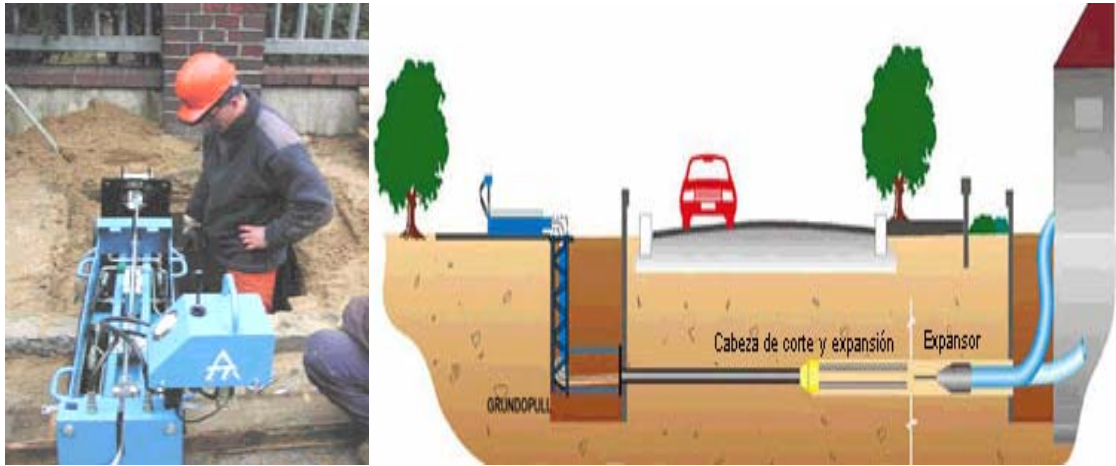


Figura 54: Grundopull

GRUNDOPULL es un cable conducido hidráulicamente. La máquina puede ser operada por una sola persona, realiza trabajos con una fuerza de tirado de 30 KN. La velocidad de operación es aproximadamente de 5 m/minuto, el peso básico es de aproximadamente 124 kilogramos.



Figura 55: Cable que tira del GRUNDOPULL



Figura 56: Lámina del gancho dispositivo que corta la tubería

### Resumen de ventajas

- Fácil intercambio de las tuberías nocivas de plomo
- Cabeza de corte para el plomo y el polietileno
- Fuerza de tirado de 3 toneladas
- No produce problemas con las edificaciones de la zona
- Evita la interrupción del tráfico
- Reduce los costos hasta del 50%, comparado con el corte de zanja

### 1.8 GRUNDODRILL

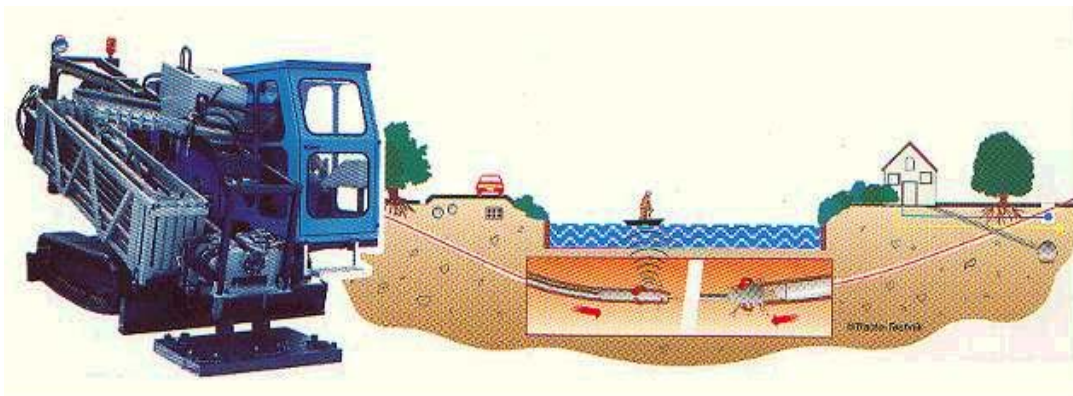


Figura 57: Grundodrill

El sistema de perforación Grundodrill, apoyado por líquido y con un sistema de percusión añadido, garantizan también en terrenos pedregosos y de gravas un óptimo avance y dirección. El empleo combinado del líquido (suspensión), las revoluciones de la fuerza de tiro o empuje y el sistema único de percusión dinámica posibilitan una perforación amplia y muy fuerte.

El GRUNDRILL se fabrica en tres versiones, con diferente potencia, 100 kN, 120 kN y 200 kN de empuje o tiro. También existen los mini sistemas de perforación dirigida Grundopit y Grundohit (sistema combinado de perforación en superficie o en fosa, así como potentes mezcladoras y recicladoras del líquido de perforación).

Es posible realizar perforaciones difíciles en suelos hasta con un 30 % de contenido de rocas. El Grundodrill esta disponible en varios tamaños, 4, 8, 12, 20, toneladas de fuerza de empuje y tiro.

Grundodrill puede ser alimentado de dos formas. Por un motor hidráulico accionado por un motor Diesel, o por el uso de PTOs, (Power Take Off), de un camión lo cual puede ser provisto a los clientes por Tracto-Technik.

Resumen de ventajas:

- Elección entre diferentes potencias, desde 40 kN hasta 200 kN.
- Instalación de tubería hasta 500 m de longitud.
- Adaptable a diferentes tipos de terreno.
- Con percusión es posible el avance en terrenos pedregosas.
- Alto rendimiento.
- Tiempo mínimo de montaje.
- Sistema precisos de detección hasta 10 m de profundidad.
- Estación hidráulica / sistema de mezclado de bentonita separados o en instalación fija dentro de un contenedor.
- Para instalación de tubos de hasta 600 mm de diámetro.
- Radios de curvatura de hasta 26.5 mts.
- Flujo de bentonita ajustable.
- El equipo básico puede ser instalado dentro de un contenedor.
- El sistema de perforación Grundodrill, apoyado por una eficiente inyección de líquidos de perforación y con un sistema único de percusión (martillo hidráulico incorporado) garantiza un óptimo avance y dirección aun en suelos pedregosos, arenosos y con inclusiones de grava. El empleo combinado de líquidos (suspensión), la fuerza de tiro y empuje y el sistema único de percusión dinámico (patentado) posibilitan una perforación exitosa.

## 2. EQUIPOS VERMEER

### 2.1 Vermeer NAVIGATOR



Figura 58: Perforadores Vermeer

Vermeer proporciona una línea completa de equipos perforadores que se diseñan especialmente para cavar en roca o suciedad. Los cortadores, los rockwheels y los compresores de gran alcance permiten obras subterráneas con éxito.

La línea de Vermeer NAVIGATOR de unidades direccionales horizontales es ideal para la instalación subterránea de líneas de gas, de electricidad, de agua, de telecomunicaciones, y de las líneas para la remediación del suelo; sin la excavación o el trenching. La perforación horizontal dirigida, permite la interrupción mínima, o ninguna, a la localidad y es una opción excelente para las instalaciones en diversas condiciones de suelo y de roca. La perforación dirigida subterránea es necesaria en diversos tipos de trabajos, involucrando caminos, paisajes y ríos. Las unidades de perforación horizontal dirigida del NAVEGADOR instalan utilidades, por un conducto piloto que se crea subterráneamente.

El sistema utiliza una cabeza desprendible de taladro adaptada a las condiciones del suelo por el operador y una serie de vástagos del taladro para empujar y para rotar la cabeza. Una vez que se termine el alesaje experimental, un reamer/backreamer se une a la secuencia del vástago del taladro y se tira, agrandando la pared del alesaje para acomodar cómodamente el alambre, el conducto o la tubería producto que se va colocando en lugar.

Entre sus modelos se destaca el D200x300 autónomo que integra el paquete de energía, la estación de los operadores, y la grúa para ofrecer un esfuerzo de torsión rotatorio de 30.000 pie-libras (40.680 Nm) y capacidad del empuje y del pullback de 200.000 libras (90.718 kilogramos).

Todas las funciones, incluyendo transporte, controles de perforación, y grúa, se ejecutan desde el puesto del operador. Max. Torque 30,000 ft-lb (40,680 Nm), Pullback de 200,000 lbs. (68,000 kg), Sistema de alta presión para el manejo de fluidos, longitud del vástago del taladro, hasta de 32 pulgadas (9.75 m).

## 2.2 HYDROBURST



Figura 59: Hydroburst

Los sistemas de HydroBurst son a menudo una buena opción para la rehabilitación de líneas de agua y de gas. Los sistemas de HydroBurst trabajan con la arcilla, el hierro colado y los materiales de concreto. Con los accesorios opcionales, también pueden ser utilizados para el hierro y el acero dúctil.

El sistema HB3038 se utiliza en tuberías de hasta 6 pulgadas (15 centímetros) de diámetro; el sistema HB5058 para tamaños hasta de 10 pulgadas (25 centímetros) de diámetro.

Los sistemas de HydroBurst utilizan las barras hidráulicas que se pueden empujar dentro de tuberías dañadas. Los sistemas ofrecen una operación rápida y sencilla, con mínima excavación y reducen la contaminación de la tubería. Ambos sistemas se diseñan específicamente para el pipe bursting.

### 2.3 PORTABURST



Figura 60: Portaburst

El sistema de PortaBurst trabaja como los sistemas neumáticos más grandes. Se diseña para instalar tubería de hasta 6 pulgadas (15 centímetros) de diámetro. El paquete completo de PortaBurst (torno, herramienta y cabeza de explosión) es ideal para el reemplazo lateral, el reemplazo de líneas de servicio debajo de edificios, o donde se requiera un sistema pequeño, de gran alcance que se

pueda instalar a mano. Longitud máximo de explosión: 100 pulgadas (30,5 m).

## 2.4 HYDROGUIDE WINCHES



Figura 61: Hydroguide Winches

Los tornos de HydroGuide se construyen para resolver las demandas del pipe bursting. Los tornos se diseñan para facilitar la extracción de las cabezas bursting a través de bocas, para reducir la necesidad de hoyos de recepción costosos.

### 3. EQUIPOS DITCH WITCH

#### 3.1 HERRAMIENTAS DE PERFORACION



Figura 62:  
Herramientas de  
perforación

El PT20, el PT30 y el PT40 proporciona un método de bajo costo para instalar líneas de servicio bajo las aceras, las calzadas, las calles u otras áreas en las cuales métodos tradicionales más grandes del trenching no sean factibles.

Las herramientas de perforación de zanja realizan brevemente proyectos de boring, pipe ramming y pushing, y de pipe pulling.

Ventajas Dominantes:

- Aumento de productividad
- Característica reversa rápida
- Confiabilidad como resultado de 1/3 de pocas piezas
- Facilidad del mantenimiento
- Cabezas reemplazables

### 3.2 PERFORADORAS HORIZONTALES

#### MODELO P40/P80

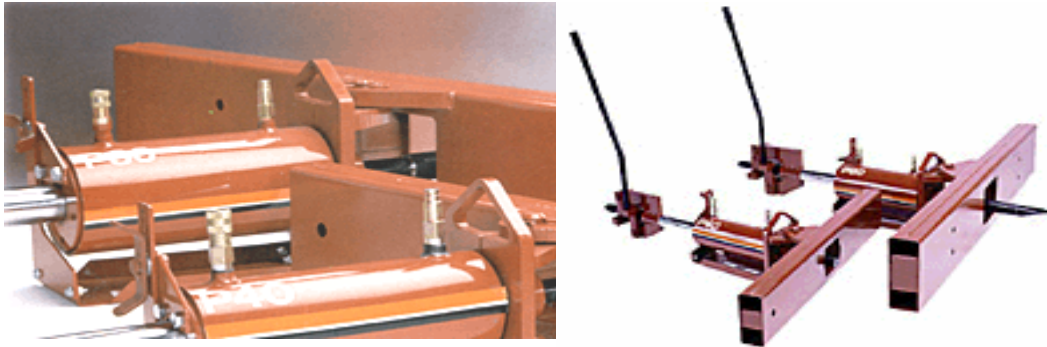


Figura 63: Modelo P40/P80

Instalación económica de tramos largos de tubería, conductos y cables sin tener que abrir zanjas. El modelo P40 produce 17800 kg de empuje/tracción a 172 bar. El modelo P80 produce 36800 kg de empuje/tracción a 172 bar.

#### PRODUCTIVIDAD Y RENDIMIENTO

- Empuje y tracción de alta potencia en una máquina compacta.
- Perforar con control de dirección distancias de hasta 61 m con la P40; 152 m o más con la P80.
- El cilindro de empuje/tracción con varilla giratoria y la cabeza perforadora de nariz inclinada proporcionan un control preciso de la perforación.
- La cabeza perforadora puede localizarse y guiarse usando el sistema de emisor electrónico y receptor .
- Se ofrecen distintas cabezas perforadoras para las diversas condiciones del suelo.
- Tres opciones de emplazamiento, incluyendo la barra "T" para zanjas estrechas, el puntal para perforaciones largas en fosos estrechos, y el cajón para el anclaje máximo y protección de apuntalamiento.

Sólo necesita un foso de entrada relativamente pequeño para su emplazamiento. Conexiones hidráulicas sencillas y funcionamiento simplificado. El cajón opcional sirve como plataforma de perforación/apuntalamiento. Las varillas de empuje se almacenan en los costados del cajón. El fondo abierto del cajón permite levantarlo y quitarlo de la instalación terminada. El sistema indicador de choque eléctrico opcional advierte al operador en caso de chocar con un cable eléctrico con corriente. La fuente de alimentación se encuentra alejada del foso de partida, separando al operador de los ruidos y los gases de escape.

#### MODELO PT1010



Figura 64: Modelo PT1010

Perforaciones de corta a media distancia con foso de partida para instalar tubería de servicios públicos y cables de comunicaciones, particularmente en condiciones estrechas de trabajo. La potencia hasta de 3992 kg de empuje y de tracción; 1125 Nm de par de torsión en eje porta herramientas. Velocidad del eje portaherramientas variable hasta 125 rpm.

#### PRODUCTIVIDAD Y RENDIMIENTO

- Su tamaño compacto requiere un foso de partida relativamente pequeño.
- Capaz de perforar bajo carreteras y aceras a poca profundidad.
- Puede usarse para perforación en seco o húmeda.

- La flexibilidad de modelos de centralitas de alimentación le permite recibir alimentación de una de varias unidades Power Pac o Fluid Pac, o de la mayor parte de las zanjadoras, retroexcavadoras o cargadoras con un colector hidráulico capaz de suministrar 45-76 l/min.
- Trabaja más rápido que muchas máquinas de empuje de varilla.
- El tubo de perforación de 610 mm es fácil de manipular, diseñado y fabricado por especialistas de Ditch Witch.

Puede ser emplazada por una sola persona. La palanca única de control de empuje/tracción/rotación simplifica los trabajos de perforación. Las llaves de formación y separación de juntas de tubo aceleran la manipulación de los tubos. La centralita puede colocarse a distancia del foso de partida para mayor comodidad del operador.

El sistema indicador de choque eléctrico advierte al operador que se ha chocado con un cable eléctrico con corriente. Destaca la tecnología avanzada de control por microprocesador. Amplia selección de herramientas de perforación y de tracción para una variedad de tipos de suelo. Disponible con sistemas electrónicos para ofrecer información completa de localización de la perforación.

#### MODELO JT520



Figura 65: Modelo JT520

Es una máquina compacta para perforación horizontal dirigida, ideal para trabajos en zonas urbanas y áreas residenciales. Puede instalar hasta 2 tubos de 50 mm de diámetro en distancias de 50 m o más, dependiendo de las condiciones del terreno.

El tamaño de esta máquina la hace fácilmente transportable en un camión. El motor diesel de 28,5 HP que equipa esta máquina proporciona un par de 678 Nm con una fuerza de empuje de 20 Kn y una fuerza de tiro de 22,2 KN.

Las funciones de empuje, rotación, etc, son totalmente independientes, con lo cual no restan potencia una a otra. Cuenta con un cargador de 46 m de barras de perforación. Sistema de anclaje hidráulico. Mando de control con todas las operaciones integradas.

Es un sistema de perforación direccional compacto, ideal para las instalaciones subterráneas en áreas urbanas y residenciales. Diseñado para múltiples instalaciones por día, con capacidad para conductos de dos pulgadas (50 mm) o menos, hasta 150 pies (46 m), dependiendo de las condiciones del suelo. El sistema se puede transportar con un carro de recolección de  $\frac{3}{4}$ .

El motor diesel de 28.5 hp (21.25 kW) desarrolla velocidades altas, hasta de 195 rpm, y esfuerzo de torsión máximo de 500 pies-lb (678 N-m). El empuje máximo es de 4500 libras (20 KN) con 5000 libras (22.2 KN) de pullback.

## PRODUCTIVIDAD Y RENDIMIENTO

- Las funciones de empuje/rotación y fluídas/auxiliares, pueden funcionar simultáneamente sin requerir energía en función de las otras.
- El taladro de la tubería carga 150 pies (46 m) de UFE con 70 pies (21.3 m) de radio de curvatura, permitiendo instalaciones bajas, sin exceder la capacidad de la tubería.
- El diseño de gran alcance del solo-taladro disminuye la cantidad de tiempo necesaria para instalar la máquina.
- El control de solo-dirección, opera el empuje/pullback y la rotación con velocidad variable para todas las funciones.

El lubricador controlado con el pie, apresura la operación. El ángulo ajustable de la disposición del marco del taladro de 11-18 grados, resuelve las necesidades variables del sitio de trabajo. El operador que perfora, puede manejar sin ayuda la tubería de taladro de 16 libras (7.25 kg). La impulsión de tierra integral permite que una persona cargue y descargue la unidad de perforación.

## MODELO JT920L



Figura 66: Modelo JT920L

Para instalar líneas cortas a medianas en perforaciones con diámetro retroensanchado de hasta 300 mm, dependiendo de las condiciones del suelo.

Máquina compacta y completamente autónoma. Capaz de perforar distancias más largas por hora que cualquier otra máquina en su categoría. Carro veloz con bomba de fluido incorporada y cadenas de oruga de caucho.

Diseñada con las características más solicitadas por los operadores. Entrega la potencia más alta de perforación entre las máquinas de su categoría. Su motor de 41 kW con turbo alimentador y su avanzado sistema hidráulico entregan 38,2 kN de retracción y un par de torsión de 1491 Nm en el eje porta herramientas.

#### PRODUCTIVIDAD Y RENDIMIENTO

- Las funciones de fluido, empuje/tracción y rotación pueden activarse simultáneamente sin que una de ellas reduzca la potencia disponible para las demás.
- El carro impulsado por cadenas es más veloz que cualquier sistema de cilindros para la perforación y el retroensanchamiento, llegando a ser hasta dos veces más rápido que el de las máquinas de la competencia.
- El cargador automático acelera el cambio de los tubos de perforación.
- Bomba incorporada y tanque para agua y solución de agua con polímeros. Se ofrecen sistemas separados para la mezcla de fluido para perforar.
- Por tener un ancho de sólo 1,3 m, la JT920L es suficientemente compacta para entrar en zonas confinadas.

Los controles hidráulicos de funcionamiento suave destacan una sola palanca para controlar el empuje/tracción y la rotación. El exclusivo control automático de perforación de Ditch Witch detecta las condiciones del suelo y ajusta las velocidades de empuje y de tracción durante los trabajos de perforación y retro-ensanchamiento. Sistema hidráulico de nivelación e hincado de estacas servo-asistido hidráulicamente. La herramienta separadora auxiliar hidráulica ayuda a separar las juntas de tubos.

#### MODELO JT1720M1



Figura 67: Modelo JT1720M1

Los sistemas de perforación horizontal dirigida Jet Trac Mach 1 ofrecen innovaciones electrónicas y mecánicas para ayudar a elevar al máximo la confiabilidad y la productividad. El exclusivo control de crucero ayuda a mejorar la productividad y comodidad del operador.

Una sola unidad de control incorporada se encarga del control del sistema y del diagnóstico de fallas.

La JT1720 Mach 1 es ideal para instalar tubos para gas natural y para cables de alimentación y comunicaciones sin tener que excavar

zanjas. Capaz de tirar la mayoría de conductos múltiples a distancias de hasta 150 m en una sola pasada.

Su motor diesel de 63 kW brutos con aspiración natural y su sistema hidráulico mejorado entregan hasta 76 kN de tracción y un par de torsión de 2440 Nm en el eje portaherramientas que gira a velocidades de hasta 200 rpm. Se proporciona potencia plena simultánea para las funciones de empuje/tracción, rotación y flujo de fluido.

#### PRODUCTIVIDAD Y RENDIMIENTO

- El exclusivo sistema electrónico Mach 1 simplifica el funcionamiento y mejora el rendimiento total.
- Una sola unidad de control incorporada proporciona funciones de diagnóstico y controla las funciones de mando motriz, cargador de tubos y perforación.
- El carro de dos velocidades viaja con más rapidez al formar y separar juntas de tubería.
- El cargador hidráulico de tubos de dos etapas añade y quita tramos de tubería de modo confiable. Cada junta se lubrica automáticamente antes de enroscarla.
- Los carros cargadores de tubos tienen selección remota de topes y permiten la carga y descarga manuales de un tramo de tubería.
- La caja de tubería transporta hasta 132 m de tramos de tubería de perforación Ditch Witch de 3 m cada uno en una tarima fácil de desmontar.
- El sistema hidráulico de anclaje fija la máquina en su lugar en casi todo tipo de suelos.
- El control de mando motriz con cordón permite al operador caminar junto a la máquina al conducirla, y al cargar y descargarla.

El control de crucero mantiene los ajustes de perforación del operador para mejorar la eficiencia y el rendimiento. Todos los conmutadores y medidores están en posiciones que permiten verlos y alcanzarlos cómodamente. Los controles de velocidad variable son sensibles al tacto. Una sola palanca controla el empuje/tracción y la rotación para aumentar la productividad y la comodidad del operador en tareas prolongadas de perforación.

#### MODELO JT2720 ALL TERRAIN



Figura 68: Modelo JT2720 AT

Parte de la serie Mach 1 de sistemas Jet Trac de perforación horizontal dirigida. La versión “All Terrain ” para todo terreno permite realizar trabajos de perforación y retro ensanchamiento en roca al igual que otros tipos de suelos. El exclusivo control de crucero ayuda a mejorar la productividad y comodidad del operador.

La JT2720 All Terrain es ideal para proyectos de perforación horizontal dirigida de 30 a 198 m de largo en una variedad de suelos difíciles tales como roca, guijarros, rocas quebradas, grava y caliche. El motor diesel John Deere con turbo alimentador y enfriado por agua produce 93 kW de potencia bruta. 120 kN de fuerza de tracción, con 3361 N-m de par motor en el eje porta herramientas y hasta 225 rpm de velocidad de rotación.

## PRODUCTIVIDAD Y RENDIMIENTO

- El exclusivo sistema electrónico Mach 1 simplifica el funcionamiento y mejora el rendimiento total.
- Una sola unidad de control incorporada proporciona funciones de diagnóstico técnico y controla las funciones de mando motriz, cargador de tubos y perforación.
- El carro de dos velocidades viaja con más rapidez al formar y separar juntas de tubería.
- El cargador hidráulico de tubos de dos etapas añade y quita tramos de tubería de modo confiable. Cada junta se lubrica automáticamente antes de enroscarla.
- Llaves de mordazas para servicio severo.
- El sistema hidráulico de anclaje fija la máquina con hasta cuatro posiciones de anclaje.
- El control de mando motriz con cordón permite al operador caminar junto a la máquina al conducirla, y al cargar y descargarla.

El exclusivo control de crucero mantiene los ajustes de perforación del operador para mejorar la eficiencia y el rendimiento. Todos los conmutadores y medidores están en posiciones que permiten verlos y alcanzarlos cómodamente.

Los controles de velocidad variable hidráulicos con mando eléctrico son sensibles al tacto. La palanca única de control de empuje/tracción y rotación ayuda a reducir la fatiga del operador.

## MODELO JT4020M1



Figura 69: Modelo JT4020M1

La exclusiva tecnología Mach 1 ofrece innovaciones electrónicas para brindar niveles mejorados de confiabilidad y rendimiento. La exclusiva característica de control de cruce ayuda a mejorar la productividad general al permitirle al operador mantener las funciones de empuje y rotación en marcha “a manos libres”. El poderoso motor de 138 kW ofrece una resistencia y potencia excepcionales. Ideal para la instalación de conductos de empresas de servicios públicos y tuberías de agua y de desagüe. Excelente para abrir agujeros grandes y tirar la mayoría de conductos múltiples a distancias de hasta 300 m. El motor diesel John Deere 6068T enfriado por agua produce 138 kW brutos. 178 kN de tracción y 6779 N-m de par motor con eje porta herramientas de 250 rpm.

### PRODUCTIVIDAD Y RENDIMIENTO

- Una sola unidad de control incorporada proporciona funciones de diagnóstico y controla las funciones de mando motriz, cargador de tubos y perforación.
- El carro de dos velocidades viaja con más rapidez al formar y separar juntas de tubería.

- El cargador hidráulico de tubos de dos etapas añade y quita tramos de tubería de modo confiable. Cada junta se lubrica automáticamente antes de enroscarla.
- El sistema de llave de separación para servicio severo tiene mordazas con corte radial colocadas en una posición que da al operador una vista despejada del proceso de separación de juntas.
- El sistema hidráulico de anclaje para servicio severo fija a la máquina en su lugar, en la mayoría de los tipos de suelos, ofreciendo hasta cuatro posiciones para sus estacas.
- Su tamaño compacto facilita la carga/descarga y requiere un espacio mínimo de emplazamiento.

El control de crucero mantiene los ajustes de perforación del operador para mejorar la eficiencia y el rendimiento. Todos los conmutadores y medidores están en posiciones que permiten verlos y alcanzarlos cómodamente. Los controles de velocidad variable son sensibles al tacto. Una sola palanca controla el empuje/tracción y la rotación para aumentar la productividad y la comodidad del operador en jornadas prolongadas de perforación.

## CONCLUSIONES

El impacto sobre la ciudadanía (costo social) se reduce sensiblemente en razón a que no se requieren excavaciones continuas y se evita la suspensión del tráfico vehicular.

El sistema es altamente respetuoso del medio ambiente: Se conservan los árboles y las zonas verdes; los ruidos y las incomodidades son mínimos.

Bajo impacto ambiental, pues las zonas de trabajo permanecen más limpias debido al mínimo volumen de material de excavación y menor cantidad de escombros, lo que facilita una rápida disposición de desechos.

Baja movilización de volquetas, debido a que se requieren menores volúmenes de material de relleno, así como menor cantidad de personal y equipos propios en el sitio de obra.

Menos pérdidas de agua en el sector intervenido, ya que la renovación de la red se hace con empates y conexiones domiciliarias definitivas.

Las secciones largas de la tubería pueden ser substituidas sin inducir zanjas abiertas y el uso de equipo pesado. Gracias a que la vieja tubería se deja y se compacta en el interior subterráneo, se evitan los problemas por su disposición.

Los diámetros de las nuevas tuberías se pueden ampliar con respecto al tubo original.

Se aprovechan las bondades y ventajas que ofrece el polietileno frente a otros materiales, tales como su hermeticidad garantizada y su capacidad de adaptación a los movimientos del suelo

Mejora significativamente la capacidad hidráulica de la red, en razón a la baja rugosidad del polietileno y porque se mantiene el alineamiento original (tramos rectos); caso contrario ocurre con la renovación convencional, donde se deben construir desvíos con codos tanto para evadir los obstáculos que se encuentran en la nueva ruta establecida como por los empates con la red existente.

Instalación y puesta en funcionamiento de la red renovadora de Acueducto, de manera inmediata y más confiable.

Frente a las técnicas Trenchless el costo total de la renovación es más bajo que el método convencional. El ahorro puede oscilar entre un 20 y un 40%, dependiendo de las condiciones específicas de la zona del proyecto.

Se obtienen rendimientos superiores al método de zanja abierta. Un tramo de 100 metros lineales se instala y empata aproximadamente en 5 horas.

Beneficios económicos para la Empresa de Servicios Públicos, ya que se generan menores áreas de recuperación del espacio público, por tanto la mayor parte del presupuesto se orienta a la renovación de redes, que es el objetivo del cliente contratante. Por ejemplo, para el barrio Paloquemao en Bogotá el ahorro para el EAAB fue de 58%. El valor por metro lineal con el método Trenchless fue de \$85.200, mientras que si se hubiera hecho por el método tradicional el costo hubiera estado por encima de \$135.000.

Beneficios sociales y económicos por la mínima o ninguna obstrucción para el funcionamiento comercial. Ninguna obstrucción vehicular, lo que equivale a ningún impacto de tráfico vehicular en la zona.

## OBSERVACIONES

Los proyectos que se ejecutan con estos sistemas dependen de varios factores, lo que diferencia cada trabajo realizado.

Las diferencias en cuanto a costos de obra, dependerán de las características dimensionales de las tuberías, y la cantidad de metros que requieran el reposicionamiento de los equipos.

El costo total del proyecto de construcción debe considerar no sólo los costos directos, sino los costos sociales.

Es necesario promover el ajuste en las legislaciones y la normatividad referentes.

La prevención de daños, requiere un esfuerzo de equipo, que involucre a las empresas concesionarias de servicios públicos, los municipios, y los contratistas.

La falta de aprovechamiento de oportunidades, frecuentemente ocurre por una falta de información técnica adecuada.

Es evidente la necesidad de manejar este tipo de información, para tener nuevas alternativas de construcción, que minimicen los inconvenientes generados por la excavación de zanjas.

## TERMINOLOGÍA TRENCHLESS

En el conocimiento de la tecnología trenchless, se encuentran términos genéricos, que definen la aplicación de estas técnicas. A continuación, se describen algunos de los más utilizados:

**ADVANCE PATH:** Rapidez de avance de un jack de tubería o de otra instalación trenchless através de la tierra, generalmente expresada como ocho mm/min o m/día

**ANNULAR FILLER:** Material para llenar el espacio anular entre la línea de tubería existente y el sistema de recubrimiento

**AUGER BORING:** Método de perforación que forma un alesaje, generalmente desde un hoyo de inserción, por medio de una cabeza de corte que rota. Los escombros son compactados en el suelo o enviados de nuevo al hoyo de inserción por la rotación del taladro. El equipo utilizado, puede limitar la capacidad de dirección.

**AUGER TBM:** Taladradora que realiza un túnel (TBM), en la cual el suelo excavado es enviado al eje impulsor por la rotación del taladro que pasa através de la tubería producto, empujada detrás del TBM.

**BACK REAMER:** Cabeza de corte unida al extremo principal de una secuencia del taladro para agrandar el alesaje o túnel experimental durante una operación del pull-back para permitir la instalación de la tubería producto.

**BENT SUB:** Sección compensada de cierre del eje del taladro detrás de la cabeza, que permite que las correcciones del manejo

sean hechas por la rotación del taladro para orientar la cabeza de corte.

**BORE:** Vacío que se crea para ingresar una tubería, conducto o cable.

**CAN:** Módulo principal que es parte de una máquina del protector como en microtunnelling o de un TBM. Dos o más puede ser utilizados, dependiendo de las dimensiones de la instalación requerida y la presencia de un empalme articulado que facilite la dirección.

**CARRIER PIPE:** Tubería utilizada para cualquiera de los métodos Trenchless de Rehabilitación.

**CASED BORE:** Agujero en el cual una tubería, generalmente una manga de acero, es insertada simultáneamente con la operación del taladro. Usualmente se asocia con los métodos Auger Boring, o Pipe Jacking.

**CASING:** Tubería que apoya una perforación. Normalmente no es la tubería producto.

**CASING PIPE METHOD:** Método en el cual una cubierta (tubería) de apoyo, generalmente de acero es gateada en el túnel donde luego es insertada la tubería producto.

**CAULKING:** Término general que, en tecnología trenchless, se refiere a los métodos por los cuales los empalmes pueden ser cerrados dentro de una tubería o entre los segmentos que se recubren.

CCTV: Circuito Cerrado de Televisión usado en la inspección y exámenes internos de las tuberías.

CHEMICAL GROUTING: Método para el tratamiento de la tierra alrededor de un eje o de una tubería, usando compuestos (no de cemento), para facilitar o hacer posible la instalación de una estructura subterránea

CHEMICAL STABILISATION: Método de renovación o rehabilitación en el cual una longitud de la tubería es sellada entre dos puntos de acceso, por la introducción de unos o más compuestos de solución entre la tubería y la tierra circundante y, cuando es necesario, produce una reacción química. Estos sistemas pueden realizar una variedad de funciones tales como el sellado de grietas y de las cavidades, la disposición de una nueva superficie de la pared interna del ducto con características hidráulicas mejoradas o la estabilización de tierra.

COMPRESSED AIR METHOD: Término general que, en tecnología trenchless, se refiere al uso del aire comprimido dentro de un túnel o de un eje para balancear la presión del agua subterránea y prevenir el ingreso en una excavación abierta a la atmósfera.

CONVENTIONAL TRENCHING: Método en el cual se hace una excavación de acceso desde la superficie del túnel subterráneo requerido para la instalación, el mantenimiento o la inspección de una tubería, de un conducto o de un cable. La excavación entonces se rellena y la superficie se reinstala.

**CUTTING/CUTTER HEAD:** Herramienta o sistema de herramientas de ayuda común para excavar en la superficie de un alesaje. Se utiliza generalmente en los métodos mecánicos de excavación.

**DIRECTIONAL DRILLING:** Método orientable para la instalación de tuberías, de conductos y de cables subterráneos, usando una plataforma de perforación dirigida desde la superficie. En detalle, el término se aplica a las obras de gran escala, en las cuales, se perfora un túnel piloto, que luego es llenado de un fluido, y agrandado al tamaño requerido para la nueva instalación.

**DRILL BIT/HEAD:** Herramienta que corta la tierra en la cabeza de una secuencia de taladro, generalmente por medios mecánicos.

**DRILL STRING/STEM:** Longitud total de las barras de taladro, tubería, sección, empalme etc., en un alesaje.

**DRILLING FLUID/MUD:** Mezcla del agua y, generalmente, de la bentonita o del polímero bombeado continuamente a la cabeza del taladro de corte para facilitar los cortes de retiro, estabilizar el alesaje, refrescar la cabeza y lubricar el paso de la tubería producto. En algunas condiciones de tierra, es conveniente utilizar solamente agua.

**DRIVE/ENTRY/SHAFT/PIT:** Excavación en la cual el equipo es insertado, para la instalación o la renovación de una tubería, de un conducto o de un cable. Puede incorporar una pared de empuje para repartir las cargas de reacción a la tierra.

DRY BORE: Método de crear un alesaje sin el uso de líquidos de perforación. Asociado generalmente con impact moling dirigido, pero también puede aplicarse a algunos métodos rotatorios.

EARTH PIERCING: Término comúnmente usado en Norte América, como una alternativa al Impact Moling.

EARTH PRESSURE BALANCE (EPB) MACHINE: Tipo de máquina microtunnelling en el cual la presión mecánica se aplica al material en la superficie y se controla para proporcionar el contrapeso correcto para conectar a tierra la presión para prevenir el tirón o hundimiento. El término se emplea generalmente donde la presión originada por la estación principal del jacking en el eje impulsor o a los sistemas en los cuales el contrapeso primario a la presión de la tierra es suplido por el fluido o la mezcla de perforación.

EARTH PRESSURE BALANCE (EPB) SHIELD: Protector del tunelaje mecánico que utiliza un apoyo a la tierra adelante, y es empleado generalmente para extraer el material de una manera controlada.

EPB: Abreviatura para el Balance de Presión de Tierra (Earth Pressure Balance).

EXPANDER: Herramienta que agranda el alesaje experimental, durante una operación de pull-back, por la compresión de la tierra circundante más que por excavación. Algunas veces es usada durante un proceso de empuje tanto como durante el pull-back.

**FLUID ASSISTED:** Método de perforación dirigida, usando una combinación de flúidos presurizados de perforación mecánica que facilitan la acción de corte del suelo.

**FOLD & FORM LINING:** Método de rehabilitación de la tubería en el cual un trazador de líneas (tubería, por lo general de PE), es doblado para reducir su tamaño antes de la inserción y la reversión a su forma original por la aplicación de presión y/o calor.

**FREE BORING:** Método de auger boring sin una tubería de apoyo o casing.

**GROUTING:** Método de llenar vacíos, generalmente, con una lechada de cemento.

**GUIDE RAIL:** Dispositivo usado de apoyo o guía, primero al eje y luego a la tubería dentro del eje impulsor durante una operación de pipe jacking.

**GUIDED AUGER BORING:** Método de perforación que agujerea, en el cual el mecanismo de guía es colocado en el eje impulsor. El término también se puede aplicar a los sistemas auger boring con articulación rudimentaria de la cubierta cerca de la cabeza de corte activada por las barras del eje impulsor.

**GUIDED DRILLING:** Método para la instalación de tuberías, de conductos y de cables usando una plataforma de perforación lanzada superficialmente. Se perfora usando una secuencia del taladro que rota y después el alesaje experimental es agrandado al tamaño requerido para la tubería producto. La desviación necesaria durante la perforación piloto es proporcionada por una superficie

inclinada a la cabeza del taladro, a los flúidos excéntricos o a una combinación de éstos, generalmente junto a un localizador.

GRUNDOCRACK: Equipos estáticos y dinámicos para renovación de tuberías in situ hasta de 56 pulgadas de diámetro.

GRUNDOMAT: Topos neumáticos para instalación de tuberías rectilíneas hasta de 6 pulgadas de diámetro.

GRUNDORAM: Martillos neumáticos para hincado de camisas de acero hasta de 2000 mm de diámetro.

GRUNDODRILL: Equipos de perforación horizontal dirigida para instalación de mayor complejidad.

IMPACT MOLING: Método de crear un alesaje usando un martillo neumático o hidráulico dentro de una cubierta, generalmente en forma de torpedo. El término se asocia generalmente a los dispositivos no-dirigibles o de dirección limitada, sin accesorio rígido para marcar los hoyos, confiando en la resistencia de la tierra para el movimiento delantero. Durante la operación se desplaza, no se retira el suelo.

INFILTRATION: Agua del suelo subterráneo que ingresa a través de los defectos de las tuberías o juntas en una línea de conducción o a través de conexiones laterales, Water from the surrounding ground which enters through defects in pipes or joints in a pipeline or through the lateral connections, bocas o cámaras de inspección.

INFILTRATION/INFLOW (I/I): Cantidad total de agua, debido a la infiltración y a la afluencia sin distinguir la fuente.

**INFLOW:** Agua descargada en conexiones del alcantarillado de un sistema de servicio y de fuentes en la superficie.

**INTERMEDIATE JACKING METHOD:** Método pipe jacking que redistribuye la fuerza del jacking (gato), por el uso intermedio de estaciones jacking.

**INTERMEDIATE STATION JACKING (IJS):** Un protector de acero fabricado que incorporaba el diseño de gatos hidráulicos para operar entre las tuberías interjack y proporcionar un incremento en el empuje o redistribuir el empuje del pipe jacking.

**INTERNAL INSPECTION:** Medios de comprobación de la condición de las tuberías, por inspección visual (entrada de personal), o por el uso de instrumentos de mando a distancia.

**JACKING FORCE:** Fuerza aplicada a tuberías en una operación pipe jacking.

**JACKING SHIELD:** Cilindro de acero fabricado desde que se realiza la excavación, manualmente o por medios mecánicos. Las instalaciones se incorporan dentro del protector para controlar la línea y el nivel.

**JET CUTTING:** Método de perforación dirigida, que utiliza fluidos presurizados para el corte de tierra.

**JOINT SEALING:** Método en el cual se insertan un embalador inflable en una tubería para atravesar un empalme que se escapa, inyectando resina o una lechada hasta que se sella el empalme, y el embalador es retirado.

LAUNCH PIT: Como un hoyo de inserción o impulsión pero asociado generalmente a lanzar un taladro de impacto o una herramienta similar.

LINING WITH CLOSE-FIT PIPES: Método de recubrimiento de una tubería continua para la cual la sección transversal se reduce para facilitar la instalación, y se invierte después de la instalación para proporcionar un cierre de ajuste a la tubería existente.

LINING WITH CURED-IN-PLACE PIPES: Método de recubrimiento con un tubo flexible impregnado, con una resina termoendurecible, que sella un daño en la tubería después de la curación de la resina.

LINING WITH DISCRETE PIPES: Método de recubrimiento con tuberías más cortas que la sección que se renovará, que no se articulan antes de la inserción para formar una tubería continua, y que no se han deformado para darles un diámetro representativo más pequeño que el diámetro final después de la instalación.

LINING WITH INSERTED HOSE: Método de recubrimiento con una manguera reforzada, floja para proporcionar una tubería alineada, de modo que permita transportar líquidos bajo presión.

LINING WITH SPIRALLY WOUND PIPES: Método de recubrimiento con una tira perfilada, enrollada en espiral para formar una tubería continua después de la instalación.

LIVE INSERTION: Método de instalación de un trazador de líneas mientras que la tubería producto permanece en servicio.

**LOCALISED REPAIR:** Trabajo de reparación localizada de una tubería, particularmente alcantarillado, para longitudes menores que el funcionamiento entre dos puntos de acceso adyacentes.

**LOCATOR:** Instrumento electrónico que determinaba la posición y la fuerza de las señales magnéticas electro- emitidas desde un sonar del transmisor en la cabeza piloto de un sistema de perforación, en una herramienta moledora de impacto o de los servicios subterráneos existentes que se hayan energizado. Algunas veces es designado como un sistema Walkover.

**LUBRICATION:** Medios para reducir la fricción alrededor de una tubería que es alzada con el gato o de un eje que es hundido en la tierra.

**MAN-ENTRY:** Descripción de cualquier operación que requiera al operario entrar en una tubería, canalizarla o agujerear. El tamaño mínimo y otras condiciones para las cuales esto es permitido se pueden definir bajo legislación de salud y de seguridad.

**MANUAL MECHANICAL SHIELD:** Protector abierto en el cual la mano de obra es usada para excavar el material que tiene cierta capacidad de manejo.

**MEASUREMENT WHILE DRILLING (MWD):** Instrumentación en un alesaje que provee de datos continuos, simultáneamente con las operaciones que perforan, por lo general transmite a un receptor o cerca de la plataforma de perforación.

**MICROTUNNELLING:** Método de pipe jacking orientable a distancia para instalar las tuberías de diámetros internos que impiden la

entrada de personal. En Norteamérica el término se utiliza para describir el pipe jacking continuo controlado a distancia, en todos los diámetros.

MIDI-RIG: Equipo de perforación orientable para la instalación de tuberías, de conductos y de cables. Aplicado a las plataformas de perforación clasificadas intermedias, usadas como una perforadora direccional pequeña o una taladradora dirigida grande. La secuencia del taladro se puede obtener con cualquier herramienta de localización.

MINI-HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING: Un término alternativo para el Guided Drilling.

NARROW TRENCHING: Método de excavación de un foso hasta 100mm más ancho que el diámetro exterior del servicio que se instalará, generalmente empleando un rockwheel o el trencher del tipo de cadena.

NOMINAL SIZE: Tamaño de la tubería o del eje usado para definir el diámetro de trabajo interno.

OPEN CUT: Método convencional de corte abierto de zanja.

OPEN FACE SHIELD: Protector en el cual la excavación manual se realiza dentro de un tubo de acero en el frente de un gato (jack).

OVALITY: Diferencia entre el diámetro máximo y el diámetro mínimo de una tubería dividido por el diámetro promedio en cualquier sección transversal, expresada generalmente como porcentaje. No debe ser mayor al 5%.

**PILOT BORE:** Es la acción preliminar, generalmente orientable. El paso de cualquier operación de perforación que requiere escariar más adelante o de otra ampliación.

**PIPE BURSTING:** Método de reemplazo en el cual una tubería existente es quebrada por fractura frágil, usando una fuerza mecánica aplicada desde adentro. Los fragmentos de la tubería son forzados (compactados) en la tierra circundante. Simultáneamente, la tubería producto se va instalando.

**PIPE EATING:** Método del reemplazo, basado generalmente en el microtunnelling, en el cual una tubería defectuosa se excava junto con la tierra circundante y una tubería nueva es instalada. La máquina protectora del microtunnelling por lo general requiera de cierta capacidad machacante. La tubería defectuosa se puede llenar de lechada para mejorar el funcionamiento del manejo.

**PIPE JACKING:** Método para instalar directamente, una tubería detrás de una máquina de gateado hidráulico o de otra de eje impulsor, formando con las tuberías una secuencia continua en la tierra.

**PIPE PULLING:** Método para sustituir tuberías de diámetro pequeño, donde una tubería nueva es unida a la tubería existente, que luego es retirada de la tierra.

**PIPE RAMMING:** Método No-orientable que forma un alesaje conduciendo una cubierta de acero, generalmente ampliable, con un martillo de percusión dese un hoyo de inserción. El suelo se puede quitar con el barreno, echando un chorro o con aire comprimido. En

condiciones apropiadas de tierra se puede utilizar una cubierta cerrada.

**PIPE SPLITTING:** Método de reemplazo que rompe la tubería existente rajandola en forma longitudinal. Simultáneamente una nueva tubería de igual o mayor diámetro se puede colocar dentro detrás de la herramienta que fractura.

**POINTING:** Método de reparar una alcantarilla o una boca de ladrillo usando mortero de cemento donde ha ocurrido la falla.

**PRECONDITIONING WORK:** Esa parte de un proyecto, generalmente antes del trabajo de la renovación, que incluye la limpieza preparatoria y la inspección interna.

**PREPARATORY CLEANING:** Limpieza interna de las tuberías, particularmente alcantarillas, antes de la inspección, generalmente con agua echada a chorro y el retiro del material cuando sea apropiado.

**PRODUCT PIPE:** Línea de tubería permanente para el uso operacional.

**PULL-BACK:** Esa parte de un taladro dirigido o de una operación de perforación direccional en los cuales la secuencia del taladro se tira a través del alesaje al hoyo de entrada o superficial, instalando generalmente al mismo tiempo la tubería producto.

**PULL-BACK FORCE:** Carga de tensión aplicada a una secuencia del taladro durante el pull-back. El taladro dirigido y las las

plataformas de perforación direccionales son clasificados generalmente por su fuerza máxima del pull-back.

RECEPTION/EXIT SHAFT/PIT: Excavación en la cual el equipo de la tecnología trenchless se conduce y se puede recuperar durante la instalación o la renovación de una tubería producto, de un conducto o de un cable.

REHABILITATION: Todos los métodos para restaurar o aumentar el funcionamiento de un sistema existente de la tubería.

REINSTATEMENT: Método de relleno, de compactación y de volver a allanar cualquier orden de la excavación para restaurar la estructura superficial y subyacente y permitirle realizar su función original.

RENOVATION: Métodos de rehabilitación en los cuales el todo o una parte de la tela original de una tubería se incorpora y se mejora su funcionamiento actual.

REPLACEMENT: Métodos de rehabilitación de un sistema existente de tubería por la instalación de un nuevo sistema, en la línea existente, sin incorporar la tela original.

REROUNDING: Operación preparatoria en la cual un dispositivo de la extensión se inserta en una tubería torcida para volverla a una sección transversal circular. Se realiza generalmente antes de la inserción de un trazador de líneas permanente o de una venda de soporte.

**RESIN INJECTION:** Método usado en la reparación localizada de tuberías, generalmente alcantarillas, por la inyección en grietas, defectos o cavidades de una fórmula de resina que cura posteriormente para prevenir la salida y la deterioración.

**ROBOT:** Dispositivo de mando a distancia con la supervisión del circuito cerrado de televisión (CCTV), usada principalmente en trabajos de reparación.

**ROD PUSHING:** Método que forma un alesaje experimental conduciendo una cabeza cerrada de la tubería con el accesorio rígido desde un hoyo de lanzamiento en el suelo que se desplaza. Se puede proporcionar la capacidad limitada del manejo y de la supervisión, conjuntamente con un localizador.

**SHIELD TUNNELLING METHOD:** Método de excavación en el frente de un túnel o de un gato hidráulico usando un protector.

**SLEEVE PIPE:** Tubería instalada como protección externa a una tubería producto.

**SLIME SHIELD:** Protector de balance de la presión de tierra con aditivos acondicionadores del suelo para facilitar la excavación subterránea.

**SLIPLINING:** Término general usado para describir los métodos de alisajes con tuberías continuas y recubrimientos con tuberías discretas.

**SLURRY SHIELD METHOD:** Método usando un protector de tunelado mecánico con la superficie cerrada que emplea los medios

hidráulicos para quitar el material excavado y balancear la presión del agua subterránea.

**SPACER BLOCK:** Dispositivo usado para extender/ampliar la distancia que los arietes hidráulicos dentro de un sistema que alza con el gato pueden propulsar la tubería. Device used to extend the distance that the hydraulic rams within a jacking system can propel the pipeline.

**SPRAY LINING Method** for applying a lining, usually of cement mortar or resin, by a rotating spray head which is winched through an existing pipeline.

**SSES** Sewer system evaluation survey of tributary sewer systems with levels of infiltration and inflow.

**STANDARD DIMENSIONAL RATIO (SDR)** The ratio of minimum outside diameter of a pipe to wall thickness. **STEERABLE MOLING Method** similar to impact moling with a limited steering capability.

**SUBSIDENCE** Process in which the ground may be displaced causing a settlement at the surface.

**SURVEY TOOLS** Downhole equipment and instruments used to determine the position of a bore in directional drilling or in site investigation.

**SWAGELINING Method** of lining with close-fit pipes in which a temporary reduction in diameter is achieved by passing it through one or more dies which may be heated. This is a Registered Trade Mark of BG plc.

**THRUST BORING** Unpreferred term, loosely applied to various trenchless installation methods. See Rod Pushing.

**THRUST JACKING METHOD** Method in which a pipe is jacked through the ground without mechanical excavation of material from the front of the pipeline.

**THRUST RING** Load spreading device to transfer force from the hydraulic rams on to the pipeline in a pipe jacking operation.

**TRENCHLESS TECHNOLOGY** Methods for utility and other line installation, rehabilitation, replacement, renovation, repair, inspection, location and leak detection, with minimum excavation from the ground surface.

**TUNNEL BORING MACHINE (TBM)** A machine that excavates a tunnel by drilling out the face to full size in one operation. It may be controlled from within the shield or remotely.

**UNCASED BORE** Self supporting bore without a lining or inserted pipe, whether temporary or permanent.

**UPSIZING** Method in which the cross sectional area of an existing pipeline is increased by replacing it with a larger diameter pipe.

**UTILITY CORRIDOR** Duct in which two or more different utility services are installed with access for maintenance. Also referred to as a Common Utility Tunnel, Common Duct or Utilidor.

**WASHOVER PIPE** Rotating drill pipe of larger diameter than the pilot drill and placed around it with its leading edge less far advanced. Its

purpose is to provide stiffness to the drilling pipe in order to maintain steering control over long bores, to reduce friction between the drill string and the soil and to facilitate mud circulation. See Directional Drilling.

**WATER JETTING** Method for the internal cleansing of pipelines using high pressure water jets.

## ANEXOS

### ANEXO A: LISTADO DE OBRAS

En Colombia se han realizado algunas obras aplicando tecnología trenchless. Aunque la implantación de estos sistemas, es relativamente nueva, algunas empresas cuentan con personal técnico y asesores capacitados para la instalación y renovación de redes de servicios públicos, por medio de las técnicas no destructivas.

Por ejemplo, la Empresa Treltec Ingeniería Ltda., ha sido pionera en la investigación, incorporación y desarrollo de estos sistemas, realizando obras importantes utilizando la Perforación Horizontal Dirigida. Entre ellas se destacan:

| OBRA                                                                                             | ENTIDAD<br>CONTRATANTE              | CANTIDAD<br>INSTALADA | FECHA          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|----------------|
| I.S. Ducto de 3" PE para gas, atravesando la Av. Cra 68 CII100                                   | GAS NATURAL<br>S.A. E.S.P.          | 6 m                   | Marzo<br>1996  |
| I.S. Ducto de 6" PE, para energía, cruce vía férrea Av. El Dorado frente a la empresa de Energía | SIEMENS S.A.                        | 12 m                  | Julio 1996     |
| I.S. Ducto de 4" PE para drenaje, cruce vía Autopista Medellín Km 2, para drenar separador       | CONCESIÓN<br>SABANA DE<br>OCCIDENTE | 21 m                  | Mayo 1997      |
| I.S. Ducto de 4" PE para drenaje, cruce vía Autopista Medellín Km 4                              | CONCAY LTDA.                        | 32 m                  | Agosto<br>1997 |

|                                                                                                              |                               |      |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------|----------------|
| I.S. Ducto de 4" PVC para energía, cruce vía Autopista Medellín frente a la planta                           | PRODUCTOS MORGAN              | 32 m | Noviembre 1997 |
| I.S. Ducto de 8" PVC para drenaje aguas negras, cruce Call19 con Cra50 frente a la estación de servicio Esso | PENTAPROYECT OS LTDA.         | 37 m | Marzo 1998     |
| I.S. Dos ductos de 4" PVC más uno de PE, cruce CII42 sur con Av. Ciudad de Cali                              | E.T.B. - DISICO               | 29 m | Mayo 1998      |
| I.S. Ducto de 3" PE para gas, cruce Cra. 7 desde la CII121                                                   | GAS NATURAL S.A. E.S.P.       | 80 m | Agosto 1998    |
| I.S. Ducto de 4" PE para fibra óptica, cruce vía Autopista Medellín 1 Km. Antes del peaje a Siberia          | FEDETEL                       | 35 m | Agosto 1998    |
| I.S. Dos ductos de 4" PE para energía, dos cruces en la vía Autopista Medellín frente a la planta            | CESVI COLOMBIA S.A.           | 80 m | Julio 1999     |
| I.S. Ducto de 4" acero para gas, tres cruces                                                                 | PELDAR S.A.                   | 35 m | Agosto 1999    |
| I.S. Dos ductos de 4" PE para energía, dos cruces en la vía Autopista Medellín                               | TEDINCO - SHELL               | 84 m | Noviembre 1999 |
| I.S. Cuatro ductos de 4" PE para drenaje aguas lluvias, dos cruces de dos ductos en la Autopista Medellín    | CONCESIÓN SABANA DE OCCIDENTE | 50 m | Febrero 2000   |
| I.S. Dos ductos de 4" PE para energía, un cruce en la vía Autopista Medellín Km 2 vía Siberia – La Vega      | RAC INGENIEROS - ERICSSON     | 42 m | Marzo 2000     |

|                                                                                                                                    |                               |      |                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------|-----------------|
| I.S. Dos ductos de 4" PE para drenaje aguas lluvias, un cruce de ductos en la vía Autopista Medellín Km 13.7 vía Siberia – La Vega | CONCESIÓN SABANA DE OCCIDENTE | 8 m  | Mayo 2000       |
| Dos cruces dobles de 6", instalación tubería Acero vía Villavicencio Tauramena - Casanare                                          | CÉSPEDES Y GÓMEZ LTDA.        | 24 m | Febrero 2000    |
| I.S. Ducto de 90 mm PE de alta densidad para semaforización                                                                        | CONAVIAS S.A.                 | 12 m | Septiembre 2001 |
| I.S. Tres ductos de HDPE de 6" para drenaje de aguas lluvias en el Km 1+900 de la Carretera Bogotá – Siberia – La Punta – El Vino  | CONCESIÓN SABANA DE OCCIDENTE | 47 m | Noviembre 2001  |
| I.S. Ducto de 3" para fibra óptica atravesando la vía Bogotá – Siberia, un kilómetro al occidente del río Bogotá                   | ALVARO CABRERA                | 40 m | Mayo 2003       |
| Dos cruces de un ducto 110 mm para aguas en el Barrio Bosa – Bogotá                                                                | ACUANORTE                     | 13 m | Septiembre 2003 |
| Tres cruces de dos ducto de 90 mm para semaforización en la Calle 170 con Cra 52                                                   | CONSORCIO CALLE 170 - IDU     | 42 m | Septiembre 2003 |
| Un cruce de un ducto de 160 mm para gas en la Diag. 45 Cra 87                                                                      | OPERAOMNIA LTDA.              | 35 m | Octubre 2003    |

|                                                                                                                     |                                            |       |                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|--------------------------|
| Cuatro cruces de dos ductos 90 mm , un cruce de tres ductos de 90 mm para semaforización en la Calle 170 con cra 49 | MARTÍN RODRIGUEZ                           | 50 m  | Octubre 2003             |
| Tres cruces de un ducto de 160 mm para gas en la Av. Ciudad de Cali con Diag. 45                                    | OPERAOMNIA LTDA. - GAS NATURAL S.A. E.S.P. | 125 m | Octubre – Noviembre 2003 |
| Un cruce de un ducto de 200 mm para alcantarillado en el Municipio de Nobsa (Boyacá)                                | MARIELA ALFONSO P.                         | 22 m  | Noviembre 2003           |
| Dos cruces de dos ductos de 63 mm para semaforización en Calle 80 con Cra 30                                        | OPERAOMNIA LTDA. – METROVÍA                | 150 m | Diciembre 2003           |
| Dos cruces de un ducto de 160 mm para alcantarillado en el Municipio de Chocontá (Cundinamarca)                     | HOLCIM DE COLOMBIA S.A.                    | 45 m  | Enero 2004               |

## ANEXO B: EVALUACIÓN DE PROYECTOS TRENCHLESS

A continuación se presentan datos económicos para algunas tecnologías trenchless en las conducciones de agua, y alcantarillado, basados en algunos costos de contratos de obra realizadas en Canadá y los Estados Unidos. Para propósitos de comparación, también se incluyen datos de costos de obra del método tradicional de excavación abierta de zanja.

Desafortunadamente, los detalles de los costos o la separación de costos directos y sociales raramente se dan en los costos finales de los contratos, ya que estos costos sociales, no son fáciles de identificar y por lo tanto su cuantificación es difícil.

### Presentación de los datos de costo

Estos datos, fueron recogidos y compilados de varias fuentes. Aunque se trató de considerar estos datos con exactitud, se aconsejan algunos puntos al analizar los costos de este informe:

- Cada proyecto es único y el costo real depende de muchos factores, y algunos por lo general, no se consideran en las evaluaciones.
- Los datos de costo presentados son los costos totales de los contratos, en algunos, no se sabe si los costos sociales fueron incluidos.
- En el análisis de costo, la inflación no está considerada.

Todos los valores de costos, se expresan en dólares canadienses. El índice de conversión usado es de US \$1 = \$1,48 CDN (la tarifa media para el año 2001).

## Costos de las técnicas Trenchless.

Algunos de los costos totales incluyeron el costo de la construcción de una pequeña cantidad de fosos de acceso (bocas), que no podrían ser separados. De acuerdo con por lo menos cinco expedientes de datos, los costos de ocho técnicas trenchless se demuestran en la tabla 1, junto con el método de corte abierto.

Estos costos se expresan en dólar por milímetro de diámetro por el metro linear, y también en dólares por el metro linear para cuatro rangos del diámetro. La última columna, corresponde al número de proyectos revisados para cada método.

Tabla 1. Costo medio de los métodos trenchless para cuatro rangos de diámetro (incluyendo el método de corte abierto de zanja)

| MÉTODO                  | COSTO PROMEDIO TOTAL (\$/mm diám./m long) | DIÁMETROS, mm |                |                 |              | Número de proyectos considerados |
|-------------------------|-------------------------------------------|---------------|----------------|-----------------|--------------|----------------------------------|
|                         |                                           | ≤ 300 (\$/m)  | 330-940 (\$/m) | 960-1830 (\$/m) | >1830 (\$/m) |                                  |
| Microtunneling          | 9.52                                      | 2.614         | 4.770          | 15.399          | 46.898       | 51                               |
| Tunneling               | 3.74                                      | -             | 1.962          | 7.093           | 7.969        | 24                               |
| CIPP                    | 1.38                                      | 299           | 531            | 2.654           | -            | 39                               |
| HDD                     | 2.97                                      | 265           | 1.791          | 6.239           | -            | 10                               |
| Sliplining              | 1.38                                      | 231           | 988            | 2.441           | 2.567        | 16                               |
| Pipe Bursting           | 2.20                                      | 726           | 1.165          | -               | -            | 11                               |
| Pipe Jacking            | 4.29                                      | -             | -              | 7.540           | 9.515        | 6                                |
| Relining                | 0.95                                      | 295           | -              | -               | -            | 6                                |
| Método de corte abierto | 3.85                                      | 609           | 2.314          | 2.225           | -            | 14                               |

- Para los proyectos considerados donde se trabajó con tuberías de varios diámetros, se utilizó el diámetro medio para determinar el coste medio total.
- Los proyectos, donde no se podían separar los valores, por diámetros utilizados, no fueron tenidos en cuenta en el promedio total.
- Todos los costos se expresan con valores comerciales para el año 2001 y en \$ CDN (Dólar Canadiense). US \$ 1 = \$1,48 CDN.

En términos del costo medio total, el método más costoso es el Microtunneling en \$9.52/mm/m, seguido por el Pipe Jacking en \$4.29/mm/m. Estos dos métodos son también más costosos que el método abierto del corte (\$3.85/mm/m). El menos costoso resulta ser el Relining (\$0.95/mm/m), según los valores de la tabla anterior.

Se observa también que para las tuberías de diámetros mayores a 960 mm, ninguno de los métodos Trenchless aplicados, parece ser más económico que el método tradicional de corte abierto de zanja. Esta observación indica que los costos presentados en los contratos, eran costos directos.

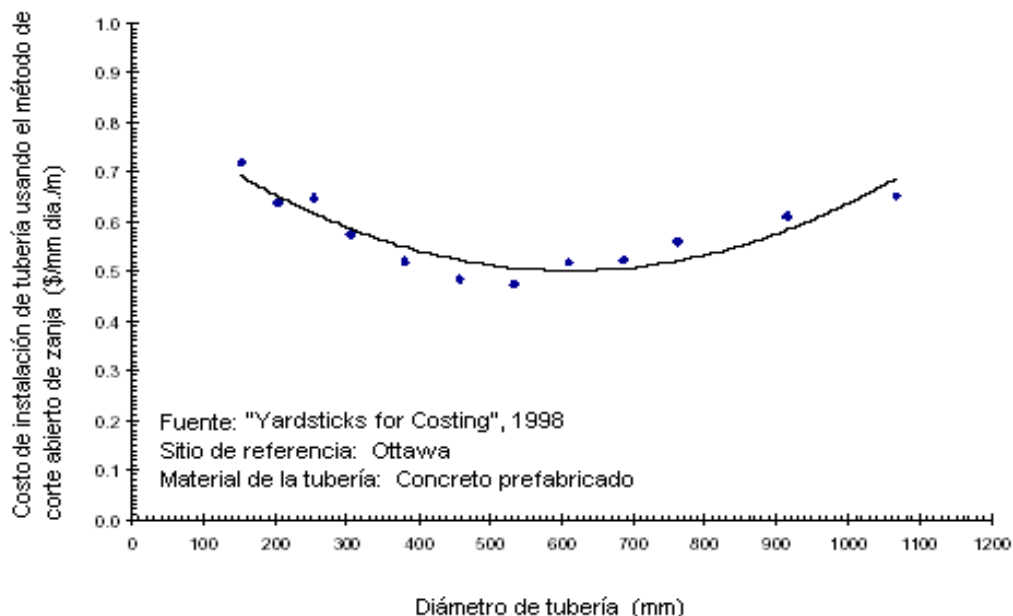
El costo actual del proyecto de Ottawa sirvió como parámetro en la consideración de los datos para las Tecnología Trenchless. En 1999, la ciudad de Ottawa (antes la región de Ottawa Carleton) rehabilitó con el método Sliplining una de sus conducciones principales de agua de 915 mm de diámetro en el centro de la ciudad. El costo final del contrato era \$1.453.630 (valorado en el año 2001 = \$1,503,262) para una longitud de 1.500 m. El costo unitario era \$1.11/mm/m, que es más bajo que el promedio de \$1,38/mm/m para Sliplining.

Si el costo se expresa en dólar por longitud del metro solamente, el proyecto de Ottawa sería valorado en \$1,003/m, dentro del 2% del costo medio de \$988/m para el segundo rango de diámetros considerados.

Los costos de todos los métodos trenchless de rehabilitación y construcción son proporcionales al aumento en el diámetro de la tubería. Este aumento en el costo, es debido al nivel creciente de complejidad y dificultad de realizar los trabajos de rehabilitación.

### Comparación con el método de Corte Abierto

Para el método de corte abierto de zanja, el promedio de los costos observados en el rango de diámetro de 960 a 1830 mm, parece ser menor que para el rango de 330 y 940 mm de diámetro. Los datos para el método de corte abierto, proporcionados en el “Yardsticks for Costing” (CMD/Cánada 1998), sugieren una relación polinómica de segundo grado entre el costo y el diámetro de tuberías entre 152 y 1.065 mm. El costo más bajo ocurre cuando el diámetro de la tubería es alrededor de los 600 mm.



Aunque la localización del proyecto, y por ende los costos considerados son para Ottawa, las relaciones similares entre los diámetros y los costos sirven para otras ciudades.

Comparando el costo medio total para el método de corte abierto, se puede concluir que los datos estimados en “Yardsticks for Costing”, son mucho más bajos que los costos reportados.

La Tabla 2 enumera los costos de las técnicas trenchless para rehabilitación, tomadas de otros proyectos. Aunque estos datos, no se consideran representativos, pueden proporcionar un punto de partida para realizar valoraciones de costos.

Estos costos están expresados en dólares por hora, según lo presentado por Haas et (1995). El costo para el método de corte abierto también se incluye para la comparación.

Tabla 2. Costo de algunas técnicas de mantenimiento o rehabilitación en dólares/hora

| TÉCNICA DE REHABILITACIÓN | COSTO (Valores en el 2001) |
|---------------------------|----------------------------|
| Spirally Wound            | \$2.5/mm/m                 |
| Chemical Cleaning         | \$0.74/mm/m                |
| Resin Injection           | \$221/hr.                  |
| Robotic Spot Repair       | \$241/hr.                  |
| Método de Corte Abierto   | \$356/hr.                  |

#### Mantenimiento de una Conducción de Agua

El costo para mantener una línea de servicio de agua congelada en época de invierno, está alrededor de los \$830 según la experiencia para la ciudad de Ottawa. El deshelar de las líneas de servicio

congeladas de agua durante el invierno de 1983 y 1984 costó a la ciudad aproximadamente \$2.000.000 (para el año 2001 = \$2.957.400).

#### Costo de Reparación o Reemplazo

La falla de una línea de conducción de agua, o de una alcantarilla, implica una reparación de urgencia, imprevista, y el costo puede variar drásticamente de un caso a otro, dependiendo de varios factores como la localización y el grado del daño, de la profundidad y el tamaño de la tubería. Se consideraron tres casos de reparaciones con la Tecnología Trenchless, usando el método de C.I.P.P. El costo unitario medio era de \$5.01/mm/m, que es 3,6 veces el costo unitario medio de \$1,38/mm/m observado en la rehabilitación sin emergencia con C.I.P.P. (Tabla 1).

Collins y Stude (1995) divulgaron que el servicio metropolitano de alcantarillado de St. Louis experimentó una falla cada año en sus viejas tuberías del ladrillo y los costos de la reparación se extendieron desde \$483.000 a \$2.400.000 por cada uno.

Para las fallas catastróficas de los conductos de agua, de un diámetro más grande, las reparaciones pueden costar millones de dólares. En tales casos, los costos sociales pueden también ser muy significativos. Por ejemplo, Nankivil y Nichols (1997) presentaron que el costo directo de dos fallas de una tubería de agua viene siendo de \$186.000 y \$215.000. Indicaron que el cociente social de estos costos directos puede ampliarse desde la relación 1:1 a 4:1, dependiendo de la localización de la falla.

Tabla 3. Costo de Reparación Urgente para servicios de agua usando Tecnología Trenchless

| METODO DE REPARACIÓN DE EMERGENCIA | LOCALIZACION        | COSTO (Valores en el 2001) |                      |
|------------------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------|
|                                    |                     | PROYECTO TOTAL (\$)        | (\$/mm diám./m long) |
| C.I.P.P.                           | Ft. Pierce, Fla.    | 1,377,479                  | 4.94                 |
| C.I.P.P.                           | Greenwich, Conn.    | 537,860                    | 7.72                 |
| C.I.P.P.                           | Los Angeles, Calif. | 1,836,265                  | 2.37                 |
|                                    |                     | PROMEDIO =                 | 5.01                 |

Nota: Estos datos de costos no se consideraron para los datos del C.I.P.P. de la Tabla 1

#### Costo de los métodos de la inspección

Los rangos de costo para algunos métodos internos comúnmente usados de inspección y de evaluación, se muestran en la Tabla 4. Estos costos se basan en la información recogida en 10 municipios canadienses y en dos firmas de consultoría que participaron en un proyecto de investigación anual sobre la valoración de la condición y la rehabilitación de las tuberías de diámetros grandes.

Tabla 4. Costos por Inspección / Evaluación interna de tubería

| MÉTODO DE INSPECCIÓN               | COSTO (Valores en el 2001) |
|------------------------------------|----------------------------|
| CTV                                | \$2 - \$10/m               |
| Sonar Combinado / CCTV             | \$7 - \$10/m               |
| Inspección con entrada de personal | \$2 - \$20/m               |
| Cámara Estacionaria                | \$100 por hoyo de acceso   |
| Dispositivo Sónico Rotatorio       | \$12 - \$15/m              |

## ANEXO C. ORGANIZACIONES TRENCHLESS

1. La Sociedad Internacional Para La Tecnología De Trenchless (ISTT), fue establecido en 1986 con los siguientes objetivos:

El desarrollo de la ciencia y la práctica de la tecnología Trenchless.  
Promover la educación, la capacitación, el estudio y la investigación de estas técnicas.

ISTT anima la formación y la afiliación de las sociedades que comparten sus objetivos por todo el mundo. Ahora hay más de 20 sociedades afiliadas en cinco continentes. Cada uno con derecho a nominar a un director en el comité de ISTT:

|                                                   |        |                                                            |
|---------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------|
| Australasian Society for Trenchless Technology    | ASTT   | <a href="http://www.astt.com.au">www.astt.com.au</a>       |
| Austrian Association for Trenchless Technology    | AATT   | <a href="http://www.oegl.at">www.oegl.at</a>               |
| Argentina Association for Trenchless Technology   | ARATT  |                                                            |
| Brazil Association for Trenchless Technology      | ABRATT | <a href="http://www.abratt.org.br">www.abratt.org.br</a>   |
| China Hong Kong Society for Trenchless Technology | CHKSTT | <a href="http://www.chkstt.org">www.chkstt.org</a>         |
| China Society for Trenchless Technology           | CSTT   | <a href="http://www.cstt.org">www.cstt.org</a>             |
| China Taipei Society for Trenchless Technology    | CTSTT  |                                                            |
| Czech Society for Trenchless Technology           | CZSTT  | <a href="http://www.czstt.cz">www.czstt.cz</a>             |
| Finnish Society for Trenchless Technology         | FISTT  |                                                            |
| French Society for Trenchless Technology          | FSTT   | <a href="http://www.fstt.org">www.fstt.org</a>             |
| German Society for Trenchless Technology          | GSTT   | <a href="http://www.gstt.de">www.gstt.de</a>               |
| Hungarian Society for Trenchless Technology       | HSTT   |                                                            |
| Iberian Society for Trenchless Technology         | IBSTT  | <a href="http://www.ibstt.org">www.ibstt.org</a>           |
| Indian Society for Trenchless Technology          | INDSTT | <a href="http://www.indianodig.com">www.indianodig.com</a> |
| International Society for Trenchless Technology   | ISTT   | <a href="http://www.istt.com">www.istt.com</a>             |

|                                                    |        |                                                                          |
|----------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------|
| Italian Association of Trenchless Technology       | IATT   | <a href="http://www.iatt.it">www.iatt.it</a>                             |
| Japan Society for Trenchless Technology            | JSTT   | <a href="http://www.jstt.jp">www.jstt.jp</a>                             |
| Netherlands Society for Trenchless Technology      | NSTT   | <a href="http://www.nstt.nl">www.nstt.nl</a>                             |
| North American Society for Trenchless Technology   | NASTT  | <a href="http://www.nastt.org">www.nastt.org</a>                         |
| Polish Foundation for Trenchless Technology        | PFTT   |                                                                          |
| Russian Society for Trenchless Technology          | RSTT   | <a href="http://www.robt.ru">www.robt.ru</a>                             |
| Scandinavian Society for Trenchless Technology     | SSTT   | <a href="http://www.sstt-skandinavien.com">www.sstt-skandinavien.com</a> |
| Slovak Society for Trenchless Technology           | SVKSTT |                                                                          |
| Southern African Society for Trenchless Technology | SASTT  | <a href="http://www.sastt.org.za">www.sastt.org.za</a>                   |
| Swiss Society for Trenchless Technology            | CHSTT  |                                                                          |
| Ukraine Society for Trenchless Technology          | USTT   |                                                                          |
| United Kingdom Society for Trenchless Technology   | UKSTT  | <a href="http://www.ukstt.org.uk">www.ukstt.org.uk</a>                   |

## 2. Entidades vinculadas al desarrollo Trenchless:

ASCE. American Society of Civil Engineers

<http://www.asce.org>. Tiene una sección dedicada a las líneas de servicio subterráneo, incluyendo las técnicas Trenchless.

AWWA. American Water Works Association

<http://www.awwa.org>. Ofrece una amplia gama de publicaciones y reportes en todos los aspectos del abastecimiento de agua en USA.

Directional Drilling

<http://www.directionaldrilling.com>. Website dedicado al avance en la perforación dirigida.

#### National Sewerage Association

<http://www.sewerage.org>. Una asociación de organismos involucrados en la industria del abastecimiento de servicios públicos en el Reino Unido.

#### Open Directory Project

<http://www.dmoz.org>. Website que ofrece información relacionada con las compañías y organizaciones vinculadas en la construcción trenchless en USA.

#### Trenchless Online

<http://www.trenchlessonline.com>. Amplia gama de información de la industria trenchless en USA.

#### UK Government Information site

<http://www.open.gov.uk>. Ofrece información gubernamental, de departamentos y organizaciones en el Reino Unido.

#### Water and Environment Federation

<http://www.wef.org>. Organización americana que ofrece información relacionada al abastecimiento de agua.

## BIBLIOGRAFIA

ASCE. Evaluación y Rehabilitación de Servicios Existentes. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 62. American Society of Civil Engineers. 1994.

AWWA, 2000. Técnicas de Rehabilitación y Reemplazo de Tuberías, Gregory J. Kirmeyer (Editor), Abril 2000

Barsoom, J. Experiencia en Tecnología Trenchless en la ciudad de Denver, Avances en la Ingeniería Subterránea, Proceedings of Second International Conference, J.K. Jeyapalan and M. Jeyapalan (eds.), American Society of Civil Engineers. pp.572-588. 1995.

Bell, R.E. Jr. and Williams, G.G. Rehabilitación de Servicios: desarrollo de alternativas de costo efectivo. Managing Engineered Construction in Expanding Global Markets, ASCE Construction Congress Proceedings, Minneapolis, MN, U.S.A. Oct. 4-8. pp. 331-337. 1997.

CMD/Canada. Yardsticks for Costing. The R.S. Means Co., Inc., North York, ON, Canada 1998.

EPA 1975. Handbook for Sewer System Evaluation and Rehabilitation. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., U.S.A.

Galeziewski, T.M., Edmondson, S.A. and Webb, R. Condition assessment and rehabilitation program for large diameter sanitary sewers in Phoenix, Arizona. Advances in Underground Pipeline Engineering, Proceedings of Second International Conference, J.K.

Jeyapalan and M. Jeyapalan (eds.), American Society of Civil Engineers. pp. 560-571. 1995.

Garibaldi, B. Ramificaciones sociales y ambientales de la tecnología trenchless. Conference on New Developments in Municipal Transportation and Public Works, International Plaza Hotel, Toronto, ON, Canada. Jan. 11-15. 1999.

GESPRO S.A., [gespro@col1.telecom.com.co](mailto:gespro@col1.telecom.com.co) Bogotá, D.C. Colombia.

Giedelman Vásquez, Alfonso. TRELTEC INGENIERÍA LTDA. [treltec.ing@terra.com.co](mailto:treltec.ing@terra.com.co), [treltecingenieria@yahoo.com](mailto:treltecingenieria@yahoo.com) Bogotá, D.C. Colombia.

Harbuck, R.H. 2000. Economic evaluation of trenchless technology. 2000 AACE International Transactions. 44th Annual Meeting, Association for the Advancement of Cost Engineering. Calgary, AB, Canada. pp. 12.1 – 12.7.

Iseley, T., and R. Tanwani, 1992. Trenchless Excavation Construction Methods Equipment and Methods Manual,” January 1992, The National Utility Contractors Association (NUCA), 65p., Arlington, VA.

Jadranka Simicevic, Raymond L. Sterling. U.S. Army Corps of Engineers Engineering Research and Development Center (ERDC). Guidelines for Pipe Bursting. TTC Technical Report #2001.02 3909 Halls Ferry Road Vicksburg, MS 39180. March 2001

Jadranka Simicevic, Raymond L. Sterling. U.S. Army Corps of Engineers Engineering Research and Development Center (ERDC). Guidelines for Impact Moling. TTC Technical Report #2001.02 3909 Halls Ferry Road Vicksburg, MS 39180. March 2001

Mesa P. Humberto, RENOVACIÓN SIGLO XXI.  
hmsap@cable.net.co Bogotá, D.C. Colombia.

Ospina M. Rodrigo, CENTRAL LTDA. Av. Las Américas,  
central@elsitio.net.co Bogotá, D.C. Colombia

Pereira, Gabriel. CONCIERTO S.A. 3061 P.B. 11300  
www.concierto.com.uy/equipos.html. Montevideo -Uruguay

REVISTA NOTICRETO, PROYECTO SANTA FÉ I. Bogotá,  
Colombia 2001.

Robert H. Harbuck, PE CCE, Economic Evaluation of Trenchless  
Technology RISK.12 AACE INTERNATIONAL TRANSACTIONS.  
2000

Saning José Gabriel, REHABIDUCTOS LTDA.  
Rehabiductos@hotmail.com Bogotá, D.C. Colombia.

## REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

APLICACIONES ESPECIALES DE INGENIERÍA CIVIL,S.A. marzo 2002 [online]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.aples.net>, <mailto:cfgomez@peresdi.com>. > Copyright © 2001

Les Forages souterrains Nella inc. 118, rue de la Gare. Saint-Henri-de-Lévis (Québec) G0R 3E0, CANADA. Disponible en Internet : <URL : <http://www.nella-drilling.com/esp.html> >. Tel. : (418) 882-2002 Fax : (418) 882-2721

SISTEMAS DE PERFORACIÓN, S.L. Disponible en Internet: <URL: <http://www.perforaciones.com> >. Tel. 965587334 Fax : 965887260

1999 CHEVRON CHEMICAL CO., LLC Rev.2/99 Boletín No. 1 Tecnología fuera de zanja. (Reservado el derecho a cambios. 2/2000).

<http://www.chez.com/atlantiqueforages/index.htm>

<http://www.cmic.org/tecnologico/boltenologico/oct96.htm>

<http://www.elconstructor.com/ie-tunelería.htm>

<http://www.mtk.cl>

<http://www.tecnicsuprot.com/fonta/reglament/lindex.htm>

<http://www.tracto-technik.de>

<http://www.vermer.com>