



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

L.38

(09/99)

SERIE L: CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y
PROTECCIÓN DE LOS CABLES Y OTROS
ELEMENTOS DE PLANTA EXTERIOR

**Utilización de las técnicas de tendido sin zanja
en la construcción de infraestructuras
subterráneas para la instalación de cables de
telecomunicación**

Recomendación UIT-T L.38

(Anteriormente Recomendación del CCITT)

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE L
**CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS CABLES Y OTROS ELEMENTOS DE
PLANTA EXTERIOR**



Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

RECOMENDACIÓN UIT-T L.38

UTILIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE TENDIDO SIN ZANJA EN LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS SUBTERRÁNEAS PARA LA INSTALACIÓN DE CABLES DE TELECOMUNICACIÓN

Resumen

Esta Recomendación describe las principales técnicas de instalación de infraestructuras de redes de telecomunicación subterráneas reduciendo al mínimo o eliminando la necesidad de efectuar excavaciones. En la aplicación de dichas técnicas, conocidas normalmente como técnicas de tendido sin zanja o técnicas sin excavación, se realiza una perforación horizontal por debajo del suelo en la que se puede instalar la infraestructura subterránea (conductos, tuberías o cables enterrados directamente).

Las técnicas de tendido sin zanja pueden reducir el daño causado al medio ambiente y los costes sociales y, al mismo tiempo, proporcionar una alternativa económica a los métodos de instalación con apertura de zanjas.

Tras una descripción de las técnicas disponibles, la presente Recomendación examina los diferentes tipos de trabajo que se realizan, la tarea preliminar que deberá llevarse a cabo, la operación de taladrado y el procedimiento de instalación señalando cuáles son los requisitos generales.

Orígenes

La Recomendación UIT-T L.38 ha sido preparada por la Comisión de Estudio 6 (1997-2000) del UIT-T y fue aprobada por el procedimiento de la Resolución N.º 1 de la CMNT el 24 de septiembre de 1999.

PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución N.º 1 de la CMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión *empresa de explotación reconocida (EER)* designa a toda persona, compañía, empresa u organización gubernamental que explote un servicio de correspondencia pública. Los términos *Administración*, *EER* y *correspondencia pública* están definidos en la *Constitución de la UIT (Ginebra, 1992)*.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT no ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 1999

Es propiedad. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o utilizarse, de ninguna forma o por ningún medio, sea éste electrónico o mecánico, de fotocopia o de microfilm, sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

Página

1	Alcance	1
2	Técnicas disponibles	1
3	Tipos de trabajo	1
3.1	Secciones largas	2
3.2	Cruces	2
3.3	Entorno urbano	2
4	Estudio del lugar en el que se va a trabajar.....	2
5	Operaciones preliminares.....	3
5.1	Utilización de técnicas de tendido sin zanja que no requieren la excavación de un pozo de ataque	3
5.2	Utilización de técnicas de tendido sin zanja que requieren la excavación de un pozo de ataque	4
5.2.1	Topeo por impacto.....	4
5.2.2	Empuje de los tubos por impacto	5
5.2.3	Microtunelamiento y empuje de los tubos mediante gatos.....	5
6	Operaciones de taladrado.....	6
6.1	Perforación guiada/taladrado direccional.....	6
6.1.1	Creación del taladro guía.....	6
6.1.2	Dilatación y arrastre.....	7
6.1.3	Inspección de los conductos	8
6.2	Topeo por impacto	8
6.3	Empuje de los tubos por impacto.....	9
6.4	Empuje de los tubos mediante gatos y microtunelamiento.....	9
7	Archivos y documentación.....	10
8	Condiciones del terreno	11
8.1	Perforación guiada/taladrado direccional.....	11
8.2	Topeo por impacto	12
8.3	Empuje de los tubos por impacto.....	12
8.4	Empuje de los tubos mediante gatos y microtunelamiento.....	12
9	Aplicaciones.....	13
9.1	Perforación guiada/taladrado direccional.....	13
9.2	Topeo por impacto	14
9.3	Empuje de los tubos por impacto.....	14
9.4	Empuje de los tubos mediante gatos microtunelamiento.....	14

	Página
10	Conclusión 15
11	Glosario..... 15
	Apéndice I – Técnicas disponibles..... 16
I.1	Perforación guiada y taladrado direccional..... 16
	I.1.1 Métodos 16
	I.1.2 Máquinas taladradoras 18
	I.1.3 Tubos de taladrar 20
	I.1.4 Fluidos de taladrar 21
	I.1.5 Sistemas de localización y guía 21
	I.1.6 Equipo auxiliar 22
I.2	Topeo por impacto 23
	I.2.1 Supervisión 24
	I.2.2 Tipos de cabeza 24
I.3	Empuje de los tubos por impacto..... 25
	I.3.1 Montaje del dispositivo 25
	I.3.2 Opciones de perforación 25
I.4	Empuje de los tubos mediante gatos y microtunelamiento..... 26
	I.4.1 Planificación 27
	I.4.2 Excavación y eliminación de residuos en el procedimiento de empuje de los tubos mediante gatos..... 28
	I.4.3 Excavación y eliminación de residuos en microtunelamiento..... 28
	I.4.4 Clasificación de los métodos de trabajo por microtunelamiento..... 32
	I.4.5 Métodos de detección de la posición..... 33
	I.4.6 Métodos de mejora del suelo 34
	I.4.7 Estructuras de empuje de los tubos mediante gatos..... 35
	I.4.8 Fosos 35
	I.4.9 Tubos 36
	I.4.10 Lubricación 36
	I.4.11 Estaciones intermedias de empuje mediante gatos..... 37
	I.4.12 Cargas de empuje mediante gatos..... 37

Recomendación L.38

UTILIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE TENDIDO SIN ZANJA EN LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS SUBTERRÁNEAS PARA LA INSTALACIÓN DE CABLES DE TELECOMUNICACIÓN

(Ginebra, 1999)

1 Alcance

Esta Recomendación:

- establece una clasificación de los diferentes tipos de trabajos que se realizan;
- describe las tareas preliminares;
- describe la operación de taladrado y los requisitos de los procedimientos de instalación;
- describe situaciones para las que se recomiendan las técnicas de tendido sin zanja.

2 Técnicas disponibles

En el cuadro 1 se muestra una amplia clasificación de las técnicas de tendido sin zanja disponibles. En el apéndice I se hace una descripción más detallada de cada una de las técnicas.

Cuadro 1/L.38 – Clasificación de las técnicas de tendido sin zanja

Perforación guiada/taladrado direccional	<ul style="list-style-type: none">• Perforación con ayuda de fluidos• Perforación en seco	
Topeo por impacto		
Empuje de los tubos por impacto		
Empuje de los tubos mediante gatos		
Microtunelamiento	<ul style="list-style-type: none">• Método de tubos de alta resistencia mecánica	<ul style="list-style-type: none">* Método penetrante* Método de excavación por barrenado* Método a base de pasta fangosa* Método a base de pasta fangosa con presión compensada* Método perforante
	<ul style="list-style-type: none">• Método de tubos de baja resistencia mecánica	<ul style="list-style-type: none">* Método penetrante* Método de excavación por barrenado* Método a base de pasta fangosa* Método a base de pasta fangosa con presión compensada* Método perforante

3 Tipos de trabajo

La clasificación de los trabajos que sigue se hace a título orientativo respecto a cuál es el mejor equipo a utilizar, a tenor de las diferentes necesidades operativas.

3.1 Secciones largas

Las técnicas de tendido sin zanja se pueden utilizar para instalar conductos subterráneos a lo largo de las carreteras como una alternativa a las técnicas de excavación tradicionales. Se pueden alcanzar grandes longitudes de instalación (varios kilómetros) dividiendo la longitud de la obra en secciones más cortas (100 a 200 m como media). La longitud de cada sección dependerá de las características de las máquinas y de los requisitos del diseño.

Se recomienda:

utilizar máquinas de perforación guiada/taladrado direccional (tanto con ayuda de fluidos como en seco) para esta aplicación particular.

3.2 Cruces

Los cruces de ríos y vías férreas fueron las primeras aplicaciones de la tecnología sin excavación abierta porque las técnicas de excavación tradicionales no eran adecuadas. A menudo la mejor solución son las máquinas que comienzan a perforar desde la superficie porque pueden sortear los obstáculos con un trayecto de perforación curvo, evitando así la necesidad de excavar profundos pozos de ataque y recepción (especialmente al cruzar ríos). Cabe considerar dos tipos diferentes de cruce con respecto a la longitud y la profundidad del conducto instalado.

- Cruces de carreteras y vías férreas: la longitud a taladrar no es normalmente muy larga. Para estas situaciones

se recomienda:

utilizar máquinas de taladrado direccional tanto con ayuda de fluidos como en seco o emplear sistemas de microtunelamiento, dependiendo del diámetro del conducto.

- Cruces de ríos: la longitud y la profundidad de la perforación requeridas son normalmente muy largas y profundas y es importante evitar la excavación de grandes pozos de ataque y recepción en los lados opuestos del río. Para estas situaciones

se recomienda:

empezar el taladrado directamente desde la superficie utilizando un sistema de taladrado direccional con ayuda de fluidos.

3.3 Entorno urbano

El entorno urbano representa una de las aplicaciones más atractivas de la tecnología sin excavación abierta porque permite evitar o reducir drásticamente las engorrosas molestias que normalmente provoca la apertura de zanjas en zonas urbanas. Debido a los pequeños diámetros de los conductos y a la corta longitud de cada sección de taladrado (las bocas de inspección o cámaras de registro están muy próximas normalmente),

se recomienda:

utilizar una pequeña máquina de taladrado direccional en seco, para reducir el tamaño total de la obra y evitar que se produzcan fugas del fluido de taladrar a lo largo del trayecto de la perforación, y utilizar sistemas de microtunelamiento dependiendo del diámetro del conducto.

4 Estudio del lugar en el que se va a trabajar

Es fundamental tener un conocimiento exhaustivo del lugar en el que se va a trabajar, y de su subsuelo, ya desde las primeras fases del diseño, para reducir el número de incidentes y/o limitar el posible daño infligido a servicios o estructuras preexistentes y reducir al mínimo los costes de la perforación horizontal utilizando las diversas técnicas sin excavación abierta.

Se recomienda por tanto proceder como sigue:

- Acompañar el plan de taladrado de una serie de datos de los tipos que a continuación se indican:
 - estatutario/administrativo;
 - tecnológico (por ejemplo, la presencia de instalaciones de servicios públicos u otros obstáculos);
 - geolitológico, hidrogeológico y geotécnico.

La mayor parte de esa información se puede obtener consultando la documentación ya existente relativa a los trabajos efectuados en la zona (por ejemplo, la instalación de servicios públicos, etc.).

- Prestar la máxima atención a los servicios públicos potencialmente peligrosos (tales como, las conducciones de gas) o de importancia pública (por ejemplo, líneas telefónicas de hospitales). Información fundamental adicional sobre circunstancias importantes o potencialmente peligrosas se puede obtener a veces de la compañía constructora que ejecutó las obras.
- También es necesaria la siguiente información sobre servicios o estructuras:
 - materiales (PVC, metales);
 - diámetro, simple o múltiple;
 - profundidad planificada y/o real del emplazamiento;
 - materiales de relleno (cascotes, arena).
- A veces, cuando se trabaja con documentación facilitada por las autoridades locales o compañías privadas, es necesario distinguir entre planos "de proyecto" y planos "de instalación".

Por todo lo anterior, para obtener una información precisa sobre la ubicación de material de servicios públicos enterrado,

se recomienda:

efectuar un estudio directo y definitivo del terreno en el que se va a trabajar utilizando el equipo apropiado.

Los localizadores de tubos y cables pueden detectar tuberías metálicas, cables eléctricos portadores de corriente y cables de telecomunicaciones. Los sistemas de radar penetrante en suelo (GPR, *ground penetrating radar*) dan más información detectando a menudo tuberías no metálicas, cables, zonas de fugas y discontinuidades bajo la superficie tales como capas subyacentes de la construcción de carreteras o estratos rocosos.

Mediante calicatas y perforaciones convencionales se puede obtener una información completa sobre las condiciones del suelo.

5 Operaciones preliminares

5.1 Utilización de técnicas de tendido sin zanja que no requieren la excavación de un pozo de ataque

En el caso de técnicas de tendido sin zanja que no requieren la excavación de pozos de ataque y recepción,

se recomienda proceder como sigue:

- antes de iniciar el trabajo, efectuar una evaluación precisa del espacio disponible cerca del punto de comienzo, teniendo en cuenta el tamaño del equipo que se va a utilizar;

- cuando se utilicen fluidos de taladrar, tener en cuenta las dimensiones del camión que lleva la bomba y los tanques que se conectan a la máquina taladradora;
- cuando se posicione la máquina, considerar el ángulo de incidencia de la primera barra perforadora con respecto al suelo. Dicho ángulo no deberá ser superior a 20° y, en consecuencia, la máquina taladradora se ha de situar a una distancia conveniente del punto de comienzo;
- si se utilizan fluidos de taladrar, excavar un pequeño pozo en torno al punto de comienzo para recoger el lodo producido por las operaciones de taladrado;
- para poder supervisar la posición del taladro guía desde la superficie durante las operaciones de perforación, equipar la cabeza taladradora con sensores que permitan medir los siguientes parámetros:
 - la profundidad;
 - la inclinación;
 - la orientación;
 - la temperatura;
- cuando se utilice el sistema de control desde la superficie (véase el apéndice I), calibrar la ganancia del receptor, de acuerdo con las instrucciones del fabricante, antes de comenzar la perforación del taladro guía;
- conviene también marcar los tubos de taladrar de acuerdo con una posición clara de la cabeza taladradora (por ejemplo, con la cara oblicua hacia arriba). De esta manera, el operador podrá saber cuál es la posición exacta de la cabeza taladradora durante la perforación del agujero guía.

5.2 Utilización de técnicas de tendido sin zanja que requieren la excavación de un pozo de ataque

5.2.1 Topeo por impacto

En el caso de la técnica de topeo por impacto, una vez establecido el itinerario deseado, y antes de iniciar la perforación del barreno,

se recomienda proceder como sigue:

- excavar primero un pozo de ataque y un pozo de recepción en los extremos del trayecto de la perforación, que tengan una profundidad ligeramente mayor que la de la instalación planificada;
- instalar a continuación, si es que se utiliza, el caballete de lanzamiento; de manera alternativa, se puede posicionar el topo directamente en el suelo del pozo de ataque;
- utilizando una mira telescópica en el pozo de recepción y un antejo de puntería en el pozo de ataque, establecer la trayectoria inicial de la perforación apuntando físicamente el topo hacia el objetivo de la mira telescópica;
- lanzar el topo y dejar que avance una corta distancia. Se comprueba la orientación por última vez antes de que el cuerpo del topo entre en el terreno en su totalidad. Si la orientación no es correcta, se reinicia la perforación.

5.2.2 Empuje de los tubos por impacto

En el caso del sistema de empuje de las tuberías por impacto, se recomiendan las siguientes operaciones preliminares:

- establecer una base sólida, según requiere la operación típica de empuje por impacto; normalmente una losa de cimentación de hormigón, en el lado de lanzamiento de la instalación. La losa se posicionará normalmente en un pozo de comienzo o, de manera alternativa, contra el lateral de una pendiente;
- instalar a continuación en la losa de cimentación raíles de guía hacia la línea de perforación;
- tras posicionar el primer tramo de tubo de acero sobre los raíles guía, formar o acoplar un borde cortante en el extremo delantero del tubo y unir el martillo de empuje por impacto al extremo posterior del mismo;
- dependiendo del diámetro, quizás se tengan que utilizar accesorios suplementarios para asegurar un contacto sólido y uniforme entre el martillo y el tubo.

5.2.3 Microtunelamiento y empuje de los tubos mediante gatos

En los trabajos de microtunelamiento y empuje de los tubos mediante gatos se deberá tener un cuidado especial al preparar el foso de ataque o avance.

Las condiciones que debe satisfacer el foso de avance varían mucho dependiendo de la máquina utilizada, las condiciones del terreno, la longitud y el material de que está hecho el tubo, la longitud de la perforación y el tipo de instalación. El pozo puede ser de sección circular, rectangular u oval; a base de cablestacas, revestidos segmentalmente, de construcción especial o incluso carente de soporte si las condiciones del terreno son lo suficientemente buenas y las reglas de seguridad locales así lo permiten; un factor común a todos los fosos de avance es que han de tener algún tipo de superficie de reacción para que pueda presionar contra la misma la estructura de empuje de las tuberías mediante gatos.

Si las condiciones del terreno son las adecuadas, la superficie de reacción puede ser simplemente el muro posterior del foso, pero por lo general no es ese el caso y se ha de prever un muro de presión. El muro de presión, construido normalmente de hormigón, forma parte integrante del soporte del foso y se puede diseñar de modo que permita la rotación de la estructura de empuje con gatos para efectuar un segundo barreno en sentido opuesto, o hacer posible que una máquina perforadora llegue desde otro sitio al foso como punto de recepción.

Se recomienda por tanto que:

- el muro de presión sea tal que permita a la estructura de empuje con gatos ejercer su fuerza de empuje máxima mientras se mantiene la integridad de la estructura del foso y la del terreno circundante, sin poner en peligro la estructura final de la canalización;
- el foso se construya estanco al agua, sobre todo cuando sea profundo y las condiciones del terreno no sean las idóneas, para reducir al mínimo las perturbaciones del suelo fuera del foso. Un foso estanco disminuirá además en gran medida los drenajes y desecaciones no controlados de la zona en torno al mismo;
- el suelo del foso se realice con la inclinación correcta y tenga una estructura lo suficientemente robusta como para soportar todo el equipo de microtunelamiento. El suelo deberá estar aislado estructuralmente del muro de presión del foso;
- el muro de presión se construya perpendicular a la dirección en que se va a instalar el tubo y con una capacidad estructural suficiente como para transferir las cargas de empuje de los tubos con gatos a través de las paredes del foso y al suelo;

- incluso cuando la salida del escudo perforador se haga directamente al suelo en una posición fija, deberá diseñarse una disposición de recepción para evitar la contaminación ambiental por fuga de lubricante o fangos derramados, o para evitar la entrada de agua en la canalización.

6 Operaciones de taladrado

6.1 Perforación guiada/taladrado direccional

El trabajo se puede dividir en diferentes fases, indicadas en las subcláusulas que siguen.

6.1.1 Creación del taladro guía

Se recomienda proceder como sigue:

- planificar la ubicación de los puntos de comienzo y llegada en función de las prestaciones de la máquina taladradora, para optimizar el número total de secciones de taladrado;
- en el caso de cruces, cuando el conducto nuevo se va a conectar a una infraestructura existente, determinar la posición de los puntos de comienzo y llegada en función de la posición de los agujeros de hambre o cámaras de registro presentes, teniendo en cuenta el radio de curvatura admisible de los tubos de taladrar y el conducto que se va a instalar;
- cuando se trabaje en un entorno urbano, efectuar el taladrado detrás de las aceras, para reducir en la medida de lo posible las perturbaciones causadas al tráfico;
- cuando se trabaje en un entorno urbano, evitar por completo el empleo de fluidos de taladrar, que pudieran filtrarse hacia los cimientos de los edificios adyacentes;
- cuando se utilice el sistema de control desde la superficie, un operador deberá seguir caminando por la superficie el avance del taladro guía mediante el localizador, una vez iniciado el taladrado;
- cuando se alcance la profundidad prevista, efectuar la perforación siguiendo una línea horizontal paralela a la superficie del terreno. Durante esta fase, es aconsejable leer los datos en el receptor al menos cada cinco metros y hacer marcas en el suelo de acuerdo con la posición detectada de la cabeza taladradora para indicar de manera inmediata la posición final del conducto (por ejemplo, para actualizar el mapa de instalaciones de servicios públicos de la zona);
- cuando se aplique la combinación de sistema de control desde la superficie con equipo de motores de lodo, habrá que tener en cuenta que, dada la posición de la sonda con respecto a la cabeza taladradora, la detección de datos sólo puede hacerse a uno o dos metros de la cabeza, siendo necesario que el operador anticipe la dirección que ha de tomar;
- en ausencia de una unidad de control a distancia de la máquina taladradora, el operador que sigue el avance del taladro guía (localizador) deberá comunicar dicho avance al operador de la máquina (taladrador), que necesita esta información para controlar la dirección de la perforación;
- en el caso de determinados cruces (por ejemplo, de ríos y autopistas) no siempre es posible seguir el avance de la cabeza perforadora mediante un localizador desde la superficie. Incluso si se emplea un sistema de seguimiento por cable, conviene utilizar todos los datos disponibles, tales como la longitud de los tubos de taladrar y los últimos parámetros medidos por los sensores situados en la cabeza taladradora (profundidad, inclinación y rotación) para determinar el trayecto de la perforación;
- al acercarse al pozo de llegada, la cabeza taladradora deberá ser izada gradualmente de modo que se alcance el punto final con una inclinación similar a la de comienzo (20° como máximo);

- una vez que la cabeza taladradora haya salido a la superficie en el punto de salida, deberá efectuarse una medición para determinar si la salida se ha producido dentro de los márgenes de tolerancia admisibles. Si un tramo del barreno queda fuera de esos márgenes, deberá extraerse la cadena de tubos de taladrar y podrá taladrarse de nuevo ese segmento del barreno.

6.1.2 Dilatación y arrastre

En determinadas instalaciones, el tubo se puede instalar directamente tirando del mismo una vez completado el taladro guía. Sin embargo, en la mayoría de las instalaciones será preciso ensanchar el barreno para que dé cabida a las tuberías definitivas. En este caso,

se recomienda que:

- una vez completado el taladro guía, se sustituya la cabeza taladradora por un dilatador del que se arrastra tirando del mismo dentro del barreno para ampliar el diámetro de éste. Para que la instalación sea correcta, el diámetro interno del barreno deberá ser superior al diámetro externo máximo del conducto (o haz de conductos) al menos en un 20%. De esa manera queda un espacio anular vacío que permite el retorno de los fluidos de taladrar y los materiales de desecho y hace posible la curvatura de las tuberías definitivas;
- a veces se necesita más de una operación de dilatación para taladrar un barreno lo suficientemente ancho. En tal caso, se conectará una segunda cadena de tubos de taladrar al dilatador utilizando una junta de rótula. Las barras se introducen tirando de ellas dentro del barreno, de tal manera que, cuando se complete la operación de dilatación, se puedan utilizar inmediatamente para tirar de otro dilatador;
- cuando se alcance el diámetro de barreno requerido, los tubos de taladrar se conectarán a las tuberías definitivas utilizando un cabezal de arrastre o un orificio de arrastre y una rótula. Se instalará también un dilatador entre el cabezal de arrastre y la cadena de tubos de taladrar para asegurar que el agujero permanece abierto y para que se pueda bombear más fluido lubricante en el agujero durante la operación de arrastre;
- durante la fase de arrastre, es necesario que los extremos del conducto o los conductos permanezcan cerrados herméticamente para evitar la entrada de lodo y suciedad;
- si un solo barreno no es suficiente para alojar los conductos que se van a instalar, se efectuará un segundo barreno. En este caso, es necesario mantener una cierta distancia entre el primero y el segundo barreno para no dañar el conducto o los conductos instalados. Esa distancia depende sobre todo del diámetro de los conductos, pero es aconsejable que la distancia entre ambos barrenos sea de por lo menos un metro;
- si las terminaciones del conducto se entierran directamente, se señalarán con marcadores de superficie o enterrados;
- los extremos de todos los conductos instalados se cerrarán herméticamente para evitar la entrada de lodo y suciedad;
- dependiendo del diámetro, los tubos que se han de instalar se suministran enrollados en carretes o bien en secciones rectas más cortas. En este segundo caso, para poder tirar de los tubos dentro del barreno es necesario unir las diferentes secciones antes de empezar la fase de arrastre y evitar así alteraciones del diámetro externo de los tubos, lo que podría crear problemas durante dicha fase;
- si es necesario unir dos secciones de tubería dentro de un pozo o un agujero de hambre, se aconseja utilizar acopladores mecánicos (por ejemplo, acopladores de plástico o de latón) cuando se disponga de ellos. Los acopladores mecánicos permiten efectuar el cierre hermético necesario cuando se utiliza aire o agua para la subsiguiente instalación de los cables;

- por lo que se refiere a los tubos metálicos, los procedimientos de empalme de los mismos deberán seguir las recomendaciones que se dan en la Norma ISO 6761.

6.1.3 Inspección de los conductos

Al final de la instalación,

se recomienda:

verificar el diámetro interno en toda la longitud de los conductos para estar seguro de que durante la fase de arrastre no se ha producido en los mismos ningún estrechamiento u obstrucción.

Esta operación se puede efectuar simplemente impulsando con aire a presión dentro del tubo una sonda circular ligera cuyo diámetro sea un poco menor que el diámetro interno del propio tubo; la sonda alcanzará el otro extremo del tubo si no existen estrechamientos u obstrucciones. De manera alternativa, se puede efectuar una inspección más precisa utilizando el sistema de televisión en circuito cerrado (CCTV, *close circuit television*) con un cable semirrígido que permita empujar la cámara a lo largo de la tubería desde un solo punto de acceso.

6.2 Topeo por impacto

Tras determinar cuál es la línea de comienzo del barreno, se lanza el topo y se deja que avance una corta distancia. Para evitar desvíos con respecto a la dirección planificada,

se recomienda:

- verificar la trayectoria una última vez antes de introducir en el terreno el cuerpo del topo en su totalidad;
- recomenzar la perforación si la dirección no es correcta;
- utilizar, cuando sea posible, radiosondas que se puedan instalar en la parte posterior del topo de impacto o, en algunos casos, en el extremo frontal. Aunque las sondas instaladas en la parte posterior dan indicación del avance, proporcionan una información menos útil que las unidades instaladas en la parte delantera. Dependiendo del tamaño del topo y de su longitud, es posible que la sonda se encuentre a cierta distancia del extremo penetrante de la herramienta y, por consiguiente, responda mucho más tarde que una sonda instalada en la parte delantera a los cambios que se produzcan en la dirección y la inclinación y dé así al operador menos tiempo para detener la perforación y pensar cuál ha de ser la próxima acción. Las sondas montadas en el morro de penetración, no obstante, tienen que ser mucho más robustas y estar bien protegidas, ya que deberán soportar el choque de la fuerza aplicada por el martillo de empuje a la parte frontal de la unidad.

Si un obstáculo desvía un topo de impacto hacia fuera de su camino o le impide que avance, es a menudo más fácil cavar hasta la unidad, eliminar la obstrucción, realinear el topo y ponerlo de nuevo en marcha, en vez de empezar de nuevo la perforación. Esto lo facilita con frecuencia el sistema de marcha atrás de que disponen la mayoría de los topes de impacto, que permite hacer retroceder la unidad alejándola de la obstrucción hasta un punto en el que se encuentre en la dirección y al nivel correctos. Tras eliminar el obstáculo y rellenar el agujero, se arranca de nuevo el topo siguiendo el trayecto deseado.

Además, deberá prestarse una atención especial a la profundidad de la instalación, para reducir al mínimo o evitar daños en superficie producido al superar los límites de compresión que tolera el suelo.

Se recomienda por tanto:

efectuar la perforación a un metro de profundidad como mínimo por cada 100 mm de diámetro de la herramienta.

En la mayoría de los países, muchos de los conductos de servicios públicos y servicios generales (excepto las cloacas) están situados a profundidades de menos de dos metros, lo que da un límite superior efectivo de 200 mm para los diámetros del topo de impacto.

6.3 Empuje de los tubos por impacto

Para aplicar de manera correcta los sistemas de empuje de los tubos por impacto,

se recomienda proceder como sigue:

- establecer con claridad el trayecto de perforación antes de comenzar los trabajos, lo cual es fundamental ya que normalmente no hay manera de supervisar la dirección del tubo durante la operación;
- cuando se aplica un sistema de extremo abierto (véase el apéndice I), el cilindro de tierra que circunscribe el borde cortante permanece dentro del tubo durante la perforación. En distancias cortas en las que normalmente se aplica el empuje de tubos por impacto, esta acumulación de residuos no es por lo general un problema. Sin embargo, cuando se trate de largos barrenos habrá que tener en cuenta que el residuo se añade al peso de la cadena de tubos de taladrar que están siendo empujados y afectará, por tanto, a la velocidad de avance. En algunos casos puede ser aconsejable eliminar los residuos durante los trabajos de alargamiento de la cadena de tubos, para limitar la carga adicional que ha de vencer el martillo de empuje. Dependiendo del diámetro, la eliminación puede hacerse manualmente o con un dispositivo rascador;
- si no hace falta una limpieza intermedia y los residuos permanecen en los tubos durante toda la perforación, habrá que eliminarlos al final de la instalación. Cuando se emplee agua a presión o aire comprimido, al llegar el tubo al pozo de recepción, el extremo abierto del mismo deberá cerrarse herméticamente con un obturador adecuado.

6.4 Empuje de los tubos mediante gatos y microtunelamiento

Teniendo en cuenta las indicaciones del apéndice I en el marco de una descripción detallada de las técnicas,

se recomienda:

tomar en consideración los siguientes puntos antes de comenzar el trabajo:

- la deflexión de la cara de las juntas de los tubos no deberá ser superior a $0,5^\circ$ aunque se pueden admitir deflexiones de más de $1,0^\circ$ en tramos curvados utilizando en las juntas materiales amortiguadores apropiados;
- el operador deberá cuidar especialmente de que el recorrido de la perforación se mantenga tan recto como sea posible aprovechando por completo la carga de diseño de los tubos. Deflexiones elevadas reducen la carga máxima que la cadena de tubos puede soportar sin miedo a que se produzca la rotura de los tubos una vez en el terreno;
- las juntas entre tubos no deberán rebasar el cuerpo cilíndrico de los mismos. En otras palabras, la totalidad de la junta deberá quedar contenida dentro del diámetro externo del tubo normal;
- deberá efectuarse una correcta aplicación de materiales y técnicas de lubricación para reducir de manera considerable las cargas de empuje con gatos y los problemas de soporte del terreno. Además, esa correcta aplicación puede facilitar el empleo de estructuras de empuje con gatos más pequeñas, reduciendo el tamaño del pozo de ataque de la perforación y contribuyendo a reducir el coste global de la obra;
- deberá inyectarse lubricante inmediatamente en el anillo creado por la máquina tuneladora y de manera continua durante el proceso de microtunelamiento;

- es conveniente consultar con expertos en lodos antes de comenzar el microtúnel para que recomienden los lubricantes más apropiados y los procedimientos correspondientes a las condiciones del suelo y del agua subterránea;
- las condiciones del suelo pueden influir en los tipos y cantidades de lubricante necesario para mantener una fricción baja, por lo que es preciso conocer las condiciones cambiantes del suelo a lo largo del recorrido de los tubos;
- cuando la lubricación de un tubo no baste por sí misma para conseguir una compleción satisfactoria de la operación de empuje mediante gatos (por ejemplo, cuando la longitud de la cadena de tubos es tal que su resistencia al movimiento excede de la capacidad de una estructura de empuje con gatos de dimensiones manejables, o cuando las fuerzas de fricción o factores imputables al movimiento de la tierra sean difícilmente superables), deberá considerarse la opción de una estación de empuje "intermedia" antes de reducir la longitud de trabajo proyectada (véase el apéndice I).
- es fundamental seleccionar un sobrecorte (diferencia entre el diámetro excavado del barreno y el diámetro exterior del escudo de perforación o la tubería) adecuado para completar los tramos de microtunelamiento sin tener que aplicar una fuerza de empuje desmesurada o correr el riesgo de que se hunda la superficie. Los valores normales de sobrecorte pueden variar de 0,7 cm a 3,7 cm, sobre el radio, dependiendo del diámetro de la máquina, la profundidad por debajo de la superficie y las condiciones del terreno. Incluso en este caso es recomendable consultar con expertos en suelos y fabricantes de equipos para determinar cuál es el sobrecorte correcto para unas condiciones de suelo determinadas;
- el desecamiento del suelo que atraviesa la máquina de microtunelamiento puede tener un efecto muy importante en el conjunto de fuerzas de empuje con gatos. A menudo es necesario eliminar el agua para construir el foso, y a veces para hacer que el escudo perforador pase del suelo al foso. Sin embargo, efectuar una desecación que vaya más allá de esa necesidad tiene efectos perjudiciales en el proceso de microtunelamiento. Puede causar, con frecuencia, cambios sustanciales en la matriz del suelo y normalmente es un procedimiento caro y no necesario para la construcción de microtúneles. Se recomienda por tanto desecar el suelo sólo en la medida en que se necesite para preparar el lugar en el que se va a efectuar el microtunelamiento y no durante el avance de la máquina;
- es fundamental conducir de manera gradual el sistema de microtunelamiento durante la perforación para mantener las cargas de empuje con gatos tan bajas como sea posible. El operador deberá contrastar continuamente la posición del escudo perforador con respecto a la trayectoria y la inclinación requeridas y graduar y utilizar en pequeñas dosis los mandos de dirección para mantener el escudo de microtunelamiento en línea. Si se mantiene una supervisión correcta no serán necesarias modificaciones súbitas de la dirección, que deberán evitarse;
- existe la tendencia a efectuar cambios de dirección bruscos e importantes para corregir la posición, por lo que es esencial que la máquina inicie su marcha siguiendo la trayectoria apropiada, evitando así un exceso de ajustes durante la primera parte de su recorrido.

7 Archivos y documentación

Puesto que los corredores de las instalaciones de servicios públicos y los cruces existentes se congestionan un poco más con las nuevas instalaciones, el mantenimiento de documentación precisa para futura referencia adquiere una importancia mayor.

Se recomienda por tanto:

establecer registros cronológicos de las perforaciones o informes que contengan:

- la posición de los tubos instalados;
- datos específicos;

- fechas y ubicaciones;
- condiciones del suelo;
- datos de la perforación, tales como profundidad, ángulo y velocidad de penetración y cruces con instalaciones de servicios públicos.

8 Condiciones del terreno

8.1 Perforación guiada/taladrado direccional

La capacidad de las máquinas de perforación guiada puede variar considerablemente según sea el tipo de terreno a través del cual han de taladrar. Por lo general, los suelos más favorables son los arcillosos homogéneos. La arena puede presentar problemas especialmente si se halla por debajo del nivel freático o no es estable. La grava se puede penetrar a costa de un desgaste acelerado de la cabeza perforadora. Si el terreno es una gravera, es fundamental utilizar lodos de perforación que refuercen las paredes del túnel.

Para elegir la técnica adecuada a cada tipo de terreno, deberán tenerse en cuenta las recomendaciones que aquí se hacen y la clasificación del cuadro 2:

- las máquinas corrientes sin acción percusora ni motores de lodos son por lo general inadecuadas para penetrar rocas u obstrucciones de gran dureza;
- para empujar cabeceras de corte de rocas se pueden utilizar motores de lodos impulsados por el fluido de taladrar y sistemas de tubo doble y revestimiento de cabecera;
- una manera de mejorar el rendimiento en terrenos duros consiste en combinar la acción percusora con el empuje hacia adelante y la rotación;
- la percusión permite una mejor penetración y un control direccional en suelos pedregosos o rocas blandas, pero no sirve para taladrar a través de rocas duras o grandes masas de material muy duro, por ejemplo, el hormigón;
- las máquinas perforadoras en seco que utilizan una combinación de acciones percusoras y de empuje y rotación, con lubricación a base de agua pulverizada, permiten la penetración de formaciones rocosas duras;
- la perforación con ayuda de fluidos tiene una mayor versatilidad en términos de condiciones del terreno y diámetros máximos que se pueden alcanzar. Sin embargo, requiere más equipos y exige trabajar con excavaciones llenas de lodo y deshacerse de materiales o reciclarlos;
- la perforación en seco es básicamente una técnica por desplazamiento. Como tal, se adapta mejor a suelos compresibles y estables, pero puede no ser la adecuada para arenas y gravas cuando los diámetros de perforación sean superiores a 75 mm. Habrá que tener en cuenta además el riesgo de dañar la superficie, sobre todo en suelos granulares.

El cuadro 2 da una clasificación general de los sistemas de taladrado direccional adecuados con respecto a los diferentes tipos de terreno (véase también el apéndice I).

Cuadro 2/L.38 – Clasificación general de las técnicas de perforación guiada/taladrado direccional (véase el apéndice I) a emplear en función del tipo de terreno

Tipo de terreno	Técnica de taladrado
Sedimentos, arcillas, arena	Chorro a baja presión Perforación en seco
Graveras, margas, residuos, esquistos, arcillas	Chorro a alta presión Perforación en seco Sistemas de tubo doble/revestimiento de cabecera cortante Motores de lodos
Margas, residuos, arcillas, calizas, arenisca	Chorro a alta presión Sistemas de tubo doble/revestimiento de cabecera cortante Perforación en seco (percusión y lubricación con agua pulverizada) Motores de lodos
Calizas, arenisca, algunos granitos, residuos, neis	Motores de lodos con incrustaciones de tungsteno o diamante Perforación en seco (percusión/rotación y lubricación con agua pulverizada)

8.2 Topeo por impacto

El topo de impacto tiene una acción compactadora por lo que, en general, la utilización de esta técnica sólo se recomienda con suelos que pueden ser comprimidos o desplazados.

8.3 Empuje de los tubos por impacto

Dependiendo de la naturaleza del terreno, el empuje se puede llevar a cabo con un tubo de extremo abierto o cerrado. El empuje por impacto con extremo abierto es el preferido por lo general. Tiene varias ventajas, entre ellas, una menor reacción contra la fuerza del impacto ya que sólo el borde cortador se introduce empujándolo en el terreno.

Se recomienda por tanto:

- la utilización del empuje por impacto con extremo abierto en terrenos duros, porque, dado lo reducido de la superficie del borde cortador, no es necesario que el suelo sea compresible;
- la utilización del empuje por impacto con extremo cerrado en caso de terreno estable, ya que el suelo se desplaza alrededor de la tubería y se compacta en torno a la pared del barreno.

8.4 Empuje de los tubos mediante gatos y microtunelamiento

La tecnología moderna ha permitido, en los últimos años, la aplicación de ambos métodos con una gran diversidad de condiciones del terreno, por ejemplo, arenas y graveras acuosas, arcillas blandas, duras, secas o acuosas, esquistos arcillosos y rocas duras.

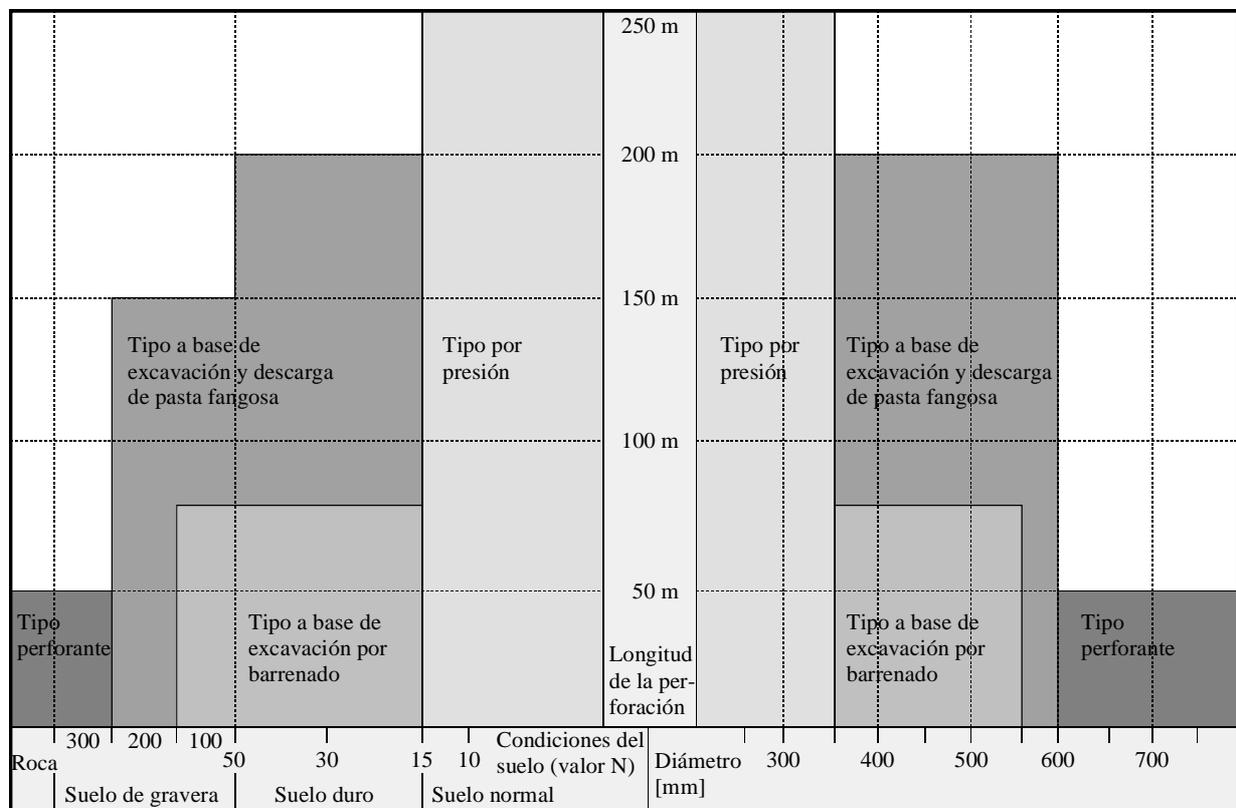
Se puede hacer una clasificación de los métodos de perforación por microtunelamiento en función de sus resultados con diferentes condiciones del terreno (véase el cuadro 3).

Además se recomienda que se tengan en cuenta los siguientes puntos:

- los métodos penetrantes o a presión sólo se deberán utilizar en suelos que puedan ser comprimidos;

- el método de excavación por barrenado se puede aplicar con una amplia gama de calidades del suelo seleccionando la cabecera de excavación apropiada. Sin embargo, la máquina perforadora tiene un extremo abierto, por lo que resulta inadecuada con suelos friables;
- el método a base de pasta fangosa se puede aplicar con una amplia gama de calidades del suelo, desde suelos friables y sobremanera blandos a suelos pedregosos;
- el método de compensación de la presión de la pasta fangosa es el más aplicable de todos. Se puede utilizar incluso en terrenos que contengan gravas y cantos rodados montando discos cortadores o un cabezal triturador de perfil cónico;
- el método de perforación que utiliza un taladro ultraduro montado en el extremo del tubo interior se puede aplicar a suelos muy duros.

Cuadro 3/L.38 – Campos de aplicación de las diferentes técnicas de excavación por microtunelamiento en función de la longitud de la perforación, el diámetro del túnel y las condiciones del suelo



T0604310-98

9 Aplicaciones

9.1 Perforación guiada/taladrado direccional

Una máquina típica de perforación guiada de comienzo o ataque en superficie y alcance medio tiene una capacidad de empuje y arrastre entre 8000 y 15 000 kg y un momento torsor de hasta 5000 Nm, dependiendo de su velocidad de giro. Esa máquina podría instalar por lo general, y según cuales fuesen las condiciones del terreno, tubos de unos 250-500 mm de diámetro en distancias comprendidas entre 100 y 350 metros.

Las mayores taladradoras direccionales pueden tener un empuje superior a los 100 000 kg y se utilizan sobre todo para cruces largos o de gran diámetro bajo ríos, estuarios, autopistas principales y secciones largas. En el otro extremo de la escala, taladradoras compactas a utilizar en espacios limitados, con un empuje y un arrastre de unos 4000 kg, pueden instalar tuberías de hasta unos 160 mm en distancias de hasta 100 metros. También esto depende de las condiciones del terreno. Algunas taladradoras incorporan la posibilidad de reducir la separación entre bandas de nodadura para pasar a través de aperturas estrechas.

Los sistemas de taladrado direccional en seco que utilizan un dilatador cónico con dientes cortadores de carburo de tungsteno conectado directamente a las barras taladradoras pueden efectuar la instalación de tubos de pequeño tamaño, conductos o cables (de hasta unos 65 mm).

Para la instalación en seco de tubos con diámetro de hasta 250 mm hace falta un martillo dilatador impulsado por aire comprimido que actúe sobre la cabeza taladradora.

9.2 Topeo por impacto

Puesto que, por lo general, el topeo por impacto no es guiado, esta técnica es la más adecuada para perforaciones cortas (de hasta 50 metros). A menudo resulta más fácil conseguir una perforación rectilínea si el diámetro es grande. Los diámetros varían entre 45 y 200 mm aproximadamente, dependiendo del tubo o el cable que se instala.

9.3 Empuje de los tubos por impacto

El empuje de los tubos por impacto es el procedimiento más frecuentemente utilizado para instalar canalizaciones o alojamientos nuevos dentro de los que se ubica material nuevo de servicios públicos. Las distancias de instalación son por lo general muy cortas, unos 50 metros por término medio. Como alojamiento se utilizan tubos de acero ya que ningún otro material es lo suficientemente resistente como para soportar el impacto del martillo. Esta técnica es la preferida a menudo para cruzar bajo vías férreas, carreteras y vías fluviales. Una vez instalado el tubo de acero, se puede utilizar como canalización por sí mismo o como conducto de muchos tipos de tubos o cables.

Es posible perforar barrenos de hasta 2000 mm de diámetro si las condiciones del terreno son las adecuadas, utilizando martillos de empuje de hasta 600 mm de diámetro que generan el equivalente a un impacto superior a los 2 000 000 kg.

9.4 Empuje de los tubos mediante gatos microtunelamiento

Tanto el empuje de los tubos mediante gatos como el microtunelamiento son procedimientos adecuados para aquellas situaciones en las que una canalización se ha de atener a criterios estrictos de trayectoria y nivel. Los sistemas de guía y control permiten efectuar las instalaciones de manera precisa dentro de unos márgenes estrechos con respecto al objetivo pretendido.

La mayoría de los microtúneles que se construyen son rectilíneos entre fosos, aunque se dispone de sistemas especializados para construcciones curvadas. Cuando, debido a la curvatura del microtúnel, no es posible la visibilidad directa entre el foso de ataque de la perforación y la máquina de microtunelamiento, se pueden utilizar sistemas de alineación específicos (por ejemplo, dispositivos giroscópicos o una combinación de inducción electromagnética y diferencia de presión entre líquidos) como alternativa al equipo láser habitual.

Los campos de aplicación recomendados se indican en el cuadro 3.

10 Conclusión

Considerando toda la información dada en la presente Recomendación y en el apéndice I, *se recomienda utilizar las técnicas de tendido sin zanja en las situaciones siguientes:*

- cuando los trabajos de excavación en vías públicas estén limitados o prohibidos por los organismos administrativos, etc. (carreteras recién construidas, entradas/salidas de vehículos de emergencia, etc.);
- cuando el método de excavación abierta no pueda garantizar la seguridad o pudiera provocar riesgos para el tráfico y los peatones;
- cuando el método de excavación abierta cause ruido, vibraciones, polvo y otros contaminantes;
- cuando el método de excavación abierta impida quizás el tráfico rodado y perjudique por tanto la actividad comercial de las empresas del entorno;
- cuando se trate de secciones congestionadas en las que el método de excavación abierta pudiera perjudicar al material enterrado de otras compañías o secciones en las que la presencia de objetos enterrados provoque una notable reducción de la productividad del trabajo;
- cuando los conductores se hayan de enterrar en sitios profundos y el trabajo en excavación abierta pudiera aumentar en gran medida el volumen de tierra extraída;
- cuando en la superficie de las carreteras se utilice material de alta calidad que pudiera aumentar el coste de reposición de las mismas tras la excavación;
- cuando se trate de tramos de carreteras con grandes volúmenes de tráfico en donde sólo se puede trabajar durante las horas nocturnas (menor productividad, mayores costes laborales);
- cuando el trabajo en excavación abierta conllevaría los costes adicionales de desplazar restos históricos u otros elementos.

11 Glosario

11.1 método de excavación por barrenado: Sistema de excavación que utiliza un transportador sin fin dentro de la máquina perforadora para eliminar los residuos.

11.2 sistema de localización por cable: Sistema de control que funciona con un enlace directo por cable entre la sonda y el receptor.

11.3 estación intermedia de empuje mediante gatos: Anillo de gatos hidráulicos dentro de un marco de acero que se inserta en un determinado punto de la cadena de tubos de perforación para reducir la fuerza de empuje de los gatos en los tubos.

11.4 topo: Máquina que perfora la tierra.

11.5 motor de lodos: Motor hidráulico impulsado por un flujo de lodos a alta presión situado en la cabeza perforadora.

11.6 valor N: Número de golpes necesarios para que un medidor de penetración se introduzca 30,5 cm dentro de la tierra dejando caer un peso normalizado desde una altura de 76 cm (prueba de penetración normalizada de la ASTM).

11.7 método excavación abierta: Método de construcción que implica la excavación de una zanja abierta.

11.8 junta de rótula: Junta mecánica que impide la transmisión de fuerzas rotacionales.

11.9 sistema de control desde la superficie: Sistema de control en el que un operador sigue, caminando por la superficie, el avance del taladrado mediante un receptor a distancia.

APÉNDICE I

Técnicas disponibles

I.1 Perforación guiada y taladrado direccional

Las técnicas de perforación guiada y taladrado direccional se utilizan para la instalación sin zanja de nuevas canalizaciones, conductos y cables. El trayecto de taladrado puede ser recto o curvado gradualmente y la dirección de la cabeza taladradora se puede ajustar en cualquier momento durante la perforación para sortear obstáculos o pasar por debajo de autopistas, ríos o líneas férreas. El taladrado se puede llevar a cabo entre pozos excavados previamente de comienzo o ataque y recepción, o desde la superficie fijando la máquina taladradora con un ángulo de ataque pequeño respecto a la horizontal del terreno: este segundo caso es el que se trata principalmente en la presente Recomendación. En términos de campo de aplicación y capacidades ofrecidas, la "perforación guiada" y el "taladrado direccional" tienden a situarse entre las técnicas de topeo por impacto y microtunelamiento. Las expresiones "perforación guiada" y "taladrado direccional" son, a los efectos de esta Recomendación, intercambiables. La segunda expresión se utiliza frecuentemente para describir el extremo más laborioso del abanico de posibilidades, por ejemplo, el cruce de un río importante, un canal o una autopista cubriendo a menudo largas distancias, pero en la actualidad existe tal solapamiento entre las capacidades de los equipos que probablemente sea innecesario e inútil trazar una línea de separación entre ambas.

La instalación del tubo o conducto definitivo es normalmente una operación en dos etapas. Primero se perfora un taladro guía que sigue el trayecto pretendido (véase figura I.1.a) y a continuación se dilata el barreno a un diámetro mayor para colocar el tubo definitivo (véase figura I.1.b). Durante esta segunda etapa, efectuada al arrastre, el tubo definitivo se acopla al dilatador mediante un conector de rótula y se tira de él introduciéndolo en la perforación dilatada a medida que se retira la cadena de tubos de taladrar. En condiciones de terreno difíciles, o cuando el ensanchamiento de la perforación sea considerable, puede haber una o más etapas de dilatación intermedias durante las cuales el diámetro del barreno aumenta progresivamente.

Las capacidades de los equipos han mejorado en los últimos años y las ventajas de la tecnología de tendido sin zanja para las nuevas construcciones van siendo apreciadas cada vez más. Algunas compañías de servicios públicos tienen ahora una cierta prevención en contra de las técnicas de excavación abierta (sobre todo en las carreteras) para las que no se dispone de una alternativa sin apertura de zanjas. Aparte la ventaja ambiental evidente de la instalación sin zanjas, el coste relativo de la perforación guiada ha descendido por debajo del de excavación abierta en muchas aplicaciones, incluso sin tener en cuenta los costes sociales que conllevan la perturbación del tráfico y las demoras.

I.1.1 Métodos

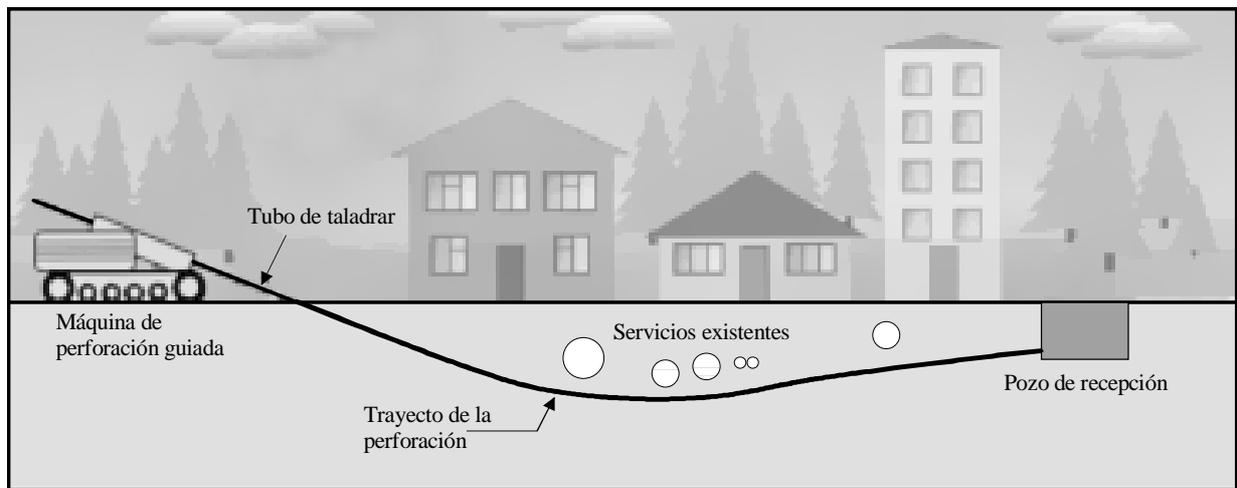
La mayoría de las máquinas de perforación guiada, pero no todas, utilizan una cabeza de taladrar con ayuda de fluidos a la que se empuja a través del terreno en el extremo de una cadena de tubos de taladrar. La cabeza taladradora tiene normalmente una estructura angular, con lo que la rotación constante de la cadena de taladrar produce un barreno recto, mientras que el mantenimiento de la cabeza en una posición fija hace que la trayectoria se desvíe. En la cabeza o cerca de ella se suele incorporar una sonda o baliza y las señales que emite son recogidas y rastreadas por un receptor en superficie, lo que permite supervisar la dirección, la profundidad y otros parámetros. También se utilizan sistemas de guía por cable, con el cable tendido a través de la cadena de taladrar, sobre todo cuando no es fácil seguir la trayectoria de la perforación desde la superficie (por ejemplo, a través de ríos) o cuando la profundidad del barreno es demasiado grande como para que se le pueda localizar con exactitud aplicando métodos a base de radiofrecuencias. Hay también sistemas de localización que utilizan la magnetometría.

A menudo se utiliza una mezcla de bentonita y agua como fluido de taladrar o "lodo", que lleva los desechos en suspensión y se puede filtrar a través de un sistema de recirculación. Una vez concluido el taladro guía, el fango tixotrópico estabiliza el agujero y lo deja preparado para proceder a su dilatación. La tubería o conducto de servicio, por lo general de polietileno o acero, se introduce siguiendo al dilatador a medida que se ensancha el barreno original.

En el caso de grandes máquinas, una buena parte del trabajo se hace por rotación de la cadena de taladrar, y el momento torsor de la unidad es tan fundamental como el empuje y el arrastre axiales. Al igual que ocurre con equipos de menores dimensiones, es práctica normal perforar un pequeño taladro guía y dilatarlo a continuación hasta el diámetro requerido mientras se tira del conducto que va detrás del dilatador. Se utiliza un fluido de taladrar para ayudar en la operación de corte y para lubricar y enfriar la cabeza cortadora. El fluido puede también propulsar un "motor de lodos" situado en el fondo de la perforación para cortar rocas y otras formaciones duras, en cuyo caso es preciso que el fluido circule a velocidades mayores.

Algunos sistemas están diseñados para funcionar en seco sin utilizar fluidos de taladrar. Su funcionamiento es más sencillo, producen menos desechos y no requieren tanto equipo sobre el terreno, pero puede haber limitaciones respecto a los tamaños que se pueden instalar y en relación con las condiciones del terreno que las máquinas pueden soportar.

Existe una tendencia cada vez mayor a utilizar la acción percusora para complementar la fuerza axial y la rotación. Se consigue con un martillo de percusión situado en la cabeza perforadora o generando en superficie la percusión aplicada a la máquina y transmitiéndola a lo largo de la cadena de taladrado. De una manera u otra, este proceso mejora notablemente la capacidad de las máquinas de perforación guiada de atravesar terrenos difíciles o duras obstrucciones.



T0604320-98

Figura I.1a/L.38 – Esquema general de la técnica de taladrado direccional: perforación del taladro guía

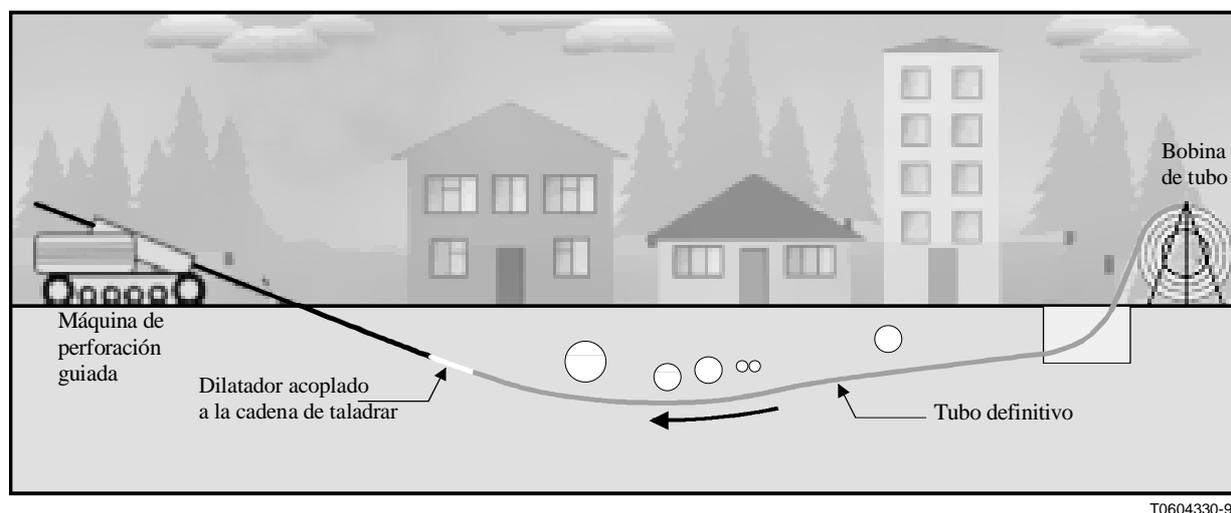


Figura I.1b/L.38 – Esquema general de la técnica de taladrado direccional: dilatación y arrastre del tubo definitivo

I.1.2 Máquinas taladradoras

Los fabricantes de todo el mundo ofrecen una gran diversidad de equipos, que van desde equipos compactos para diámetros pequeños y longitudes cortas, a máquinas muy grandes capaces de instalar más de un kilómetro de tubos de gran diámetro. Se dispone además de una gama igual de amplia de sistemas de guía de la perforación, cabezas taladradoras, dilatadores y accesorios.

Las taladradoras que comienzan en superficie están instaladas con frecuencia a bordo de camiones y se pueden desplazar posicionándose por sí mismas. Si bien no se necesitan pozos de ataque o recepción para instalar el tubo nuevo, hacen falta no obstante excavaciones para efectuar las conexiones en cada extremo. Cuando los tubos que se conectan se encuentran a cierta profundidad bajo tierra, es posible que los primeros metros de la nueva canalización se desaprovechen al tener que taladrar hasta la profundidad requerida.

Algunas de las máquinas más compactas pueden trabajar desde una excavación sólo ligeramente mayor que la necesaria para efectuar el acoplamiento tras la instalación o directamente desde cámaras de registro o agujeros de hambre existentes. Por lo general estas máquinas están concebidas de manera que taladren siguiendo una trayectoria próxima a la línea recta y a menudo utilizan tubos de taladrar más rígidos que los sistemas de ataque desde la superficie. Tienen por ello mayores limitaciones en lo que se refiere a la capacidad de sortear obstáculos. La longitud de cada una de las secciones de los tubos de perforación está limitada también por el tamaño de la excavación y esto puede influir en la velocidad con que se efectúa la instalación y en el coste de la cadena de tubos de taladrar.

I.1.2.1 Perforación con ayuda de fluidos

Las máquinas de perforación guiada con ayuda de fluidos tienen tres características fundamentales. La primera es un dispositivo motorizado que empuja la cadena de taladrado a través del terreno perforando el taladro guía y que a continuación arrastra de aquélla y del tubo definitivo a través del barreno durante la operación de dilatación. Normalmente, la inclinación del dispositivo en una perforadora que comienza en superficie se puede ajustar entre unos 10° y unos 20° con respecto a la horizontal. La segunda característica es un sistema de motor y empuje que hace girar la cadena taladradora (junto con la cabeza perforadora o el dilatador acoplado) y proporciona un momento de torsión rotacional. La tercera característica es un sistema hidráulico con el que se produce un chorro de lodo de alta o baja presión, que en algunas máquinas representa la principal fuerza taladradora.

Las máquinas que comienzan en un pozo se fijan en su posición, dentro del pozo de ataque o cámara de registro/agujero de hambre, utilizando sus caras posterior y delantera para provocar la reacción a las fuerzas de empuje y arrastre.

Las perforadoras que comienzan desde la superficie tienen un sistema a base de postes para anclarlas al terreno. En las máquinas más complejas, el sistema de anclaje puede ser controlado mediante un circuito hidráulico. Algunas máquinas de ataque desde la superficie son autónomas y disponen de tanques de mezcla incorporados y bombas para el fluido de taladrar, además de la alimentación en energía, las válvulas y los sistemas de control asociados. De manera alternativa, se puede bombear a través de la cadena taladradora hueca hasta la cabeza perforadora fluido aparte que retorna por el espacio comprendido entre la cadena de taladrar y las paredes del barreno. El fluido, junto con el material excavado que se haya mezclado con él, se bombea normalmente hacia una unidad de filtrado para separación y reciclaje.

Las máquinas taladradoras, sobre todo las que comienzan en superficie, pueden incorporar un sistema automático de carga de los tubos de taladrar en el que los tramos de tubo están contenidos en un "carrusel" y se añaden a, o se eliminan de, la cadena de taladrar automáticamente a medida que avanza la perforación o la dilatación. Este procedimiento puede actuar junto con un dispositivo automático que rosca unos con otros los tubos de taladrar, o los desenrosca, durante el proceso de dilatación. Cada vez es más frecuente la manipulación automática de los tubos, incluso con máquinas pequeñas, ya que se acelera la instalación, se mejora la seguridad y se reducen las necesidades de personal.

La disponibilidad de herramientas y accesorios para la dilatación es muy amplia, muchos de ellos tienen unas características de diseño particulares y, según sus fabricantes, mejoran las prestaciones. La mayoría de los dilatadores tienen forma de torpedo con un dispositivo a base de dientes de carburo de tungsteno y conductos para la inyección de los lodos. La parte posterior del dilatador tiene un acoplamiento al que se puede enganchar un cabezal de arrastre para tirar del tubo definitivo. Existen equipos especiales para condiciones de terreno difíciles, en concreto, mandriladoras para perforar y dilatar en terrenos rocosos.

Se han diseñado sistemas con ayuda de fluidos específicos para taladrar rocas: sistema de doble tubo, sistema de "revestimiento delantero" del túnel y motores de lodos.

El sistema de doble tubo utiliza un conjunto doble de tubos de taladrar coaxiales. Los tubos interiores impulsan la herramienta perforadora (normalmente, una cabeza cortadora tricónica) y el dilatador, mientras que los tubos externos permiten la rotación del soporte prerrosca de un sensor que hace posible la guía del taladrado.

Al igual que en el sistema de doble tubo, también en el sistema de revestimiento delantero del túnel el principio aplicado es el de impulso mecánico a una cabeza tricónica vía el conjunto de tubos, pero en vez de utilizar un segundo conjunto de tubos coaxiales, la guía de la cabeza se hace posicionando en el terreno un "escudo" asimétrico alrededor del primer tubo que puede ser enganchado o desenganchado a voluntad y que se utiliza para dirigir la marcha en el sentido requerido.

Los motores de lodos se colocan en la parte frontal de la cadena de tubos. Tiene una forma curvada que permite dirigirlos. Un motor hidráulico (rotor y estator) impulsado por un flujo de lodo a alta presión hace girar la herramienta de corte (cabeza tricónica con incrustaciones duras de carburos o incluso de diamante) situada en la cabeza del motor de lodos. La guía se puede hacer mediante cables que se unen a los tubos a medida que avanzan, o mediante un detector.

I.1.2.2 Perforación en seco

La mayoría de las máquinas de perforación guiada utilizan un fluido de taladrar para lubricar la cabeza perforadora, llevar el material de desecho hacia el pozo de comienzo o ataque y estabilizar el barreno, pero algunos de estos sistemas están diseñados para funcionar en seco. Se dispone de versiones tanto de comienzo en superficie como de comienzo en pozo y las máquinas de perforación en seco tienden a ser más compactas y más sencillas que la mayoría de las perforadoras con ayuda de fluidos.

En vez de depender totalmente del empuje y la rotación generados por la perforadora, las máquinas de perforación en seco utilizan un martillo neumático rápido situado en la cabeza perforadora que permite penetrar y compactar el terreno en torno al taladro guía. A este respecto, el concepto no difiere del de topeo por impacto al final de los tubos de taladrar huecos que actúan también como el impulso neumático. Lo mismo que en los sistemas con ayuda de fluidos, la cabeza barrenadora de la parte delantera del martillo tiene forma angular, lo que permite dirigir la perforación deteniendo el giro con una orientación determinada.

Para la instalación de tubos, conductos o cables de diámetro pequeño (hasta unos 65 mm de diámetro) utilizando los métodos en seco, se puede conectar directamente a las barras de taladrar un dilatador de forma cónica con dientes cortantes de carburo de tungsteno. El dilatador dispone de conductos de aire que se inyecta a través de la cadena de taladrar, y un flujo de aire a alta velocidad ayuda a limpiar el barreno durante la dilatación. Se hace girar el dilatador y se tira del mismo para ensanchar el barreno, con la cadena de tubos enganchada a la parte posterior utilizando un conector de rótula y alguna forma de cabecera de arrastre.

Para la instalación en seco de tubos con diámetro de hasta 250 mm se utiliza un martillo dilatador neumático, con la cadena de tubos enganchada también a la parte posterior del dispositivo mediante una rótula. El efecto percusor del martillo dilatador, más bien que la fuerza de arrastre de la máquina, es el principal agente ensanchador del barreno y no hace falta rotación alguna durante la dilatación. Al igual que con el martillo neumático utilizado para el taladro guía, el aire necesario para impulsar el martillo dilatador fluye a través de la cadena taladradora.

Algunas máquinas que combinan la acción percusora de un martillo neumático en la cabeza taladradora y las acciones de empuje y arrastre, así como la rotación hidráulica, permiten efectuar un taladrado direccional incluso en rocas duras. El aire a alta presión que llega al martillo neumático se utiliza también, mezclado con un porcentaje muy bajo de agua y un aditivo biodegradable (lubricación mediante agua pulverizada), para lubricar las herramientas taladradoras y el barreno y humedecer y ablandar el suelo aumentando la productividad en condiciones de suelo seco. Durante el proceso de taladrado, el aire comprimido elimina todos los desechos, dejando un agujero limpio y sin ningún residuo de fluidos.

I.1.3 Tubos de taladrar

Los tubos de taladrar se someten a unos esfuerzos físicos enormes. Su resistencia longitudinal ha de ser suficiente como para soportar las fuerzas de empuje y arrastre, han de tener una robustez torsional tal que les permita soportar el momento tensor rotacional de la máquina y sin embargo han de ser lo bastante flexibles como para admitir cambios de dirección durante la perforación. Además, han de ser tan ligeros como sea posible para facilitar su transporte y manipulación, resistiendo al mismo tiempo el daño causado por el desgaste abrasivo y las rayaduras. La longitud de cada uno de los tubos depende del tipo de máquina taladradora y del espacio disponible. Normalmente, las perforadoras que comienzan en superficie utilizan tubos de hasta 4 ó 5 metros de largo, mientras que los tubos de taladrar de las máquinas que comienzan en un pozo tienen a menudo una longitud comprendida entre 1,0 y 1,5 metros. Lo más frecuente es utilizar acoplamiento a rosca, si bien en algunos sistemas se encuentran empalmes de bayoneta.

La mayoría de los fabricantes de máquinas taladradoras ofrecen sus propios tubos de taladrar patentados y hay también compañías especializadas en la producción de diversas alternativas. Importa mucho, naturalmente, tener la seguridad de que los tubos de taladrar son totalmente compatibles con la máquina taladradora, sobre todo si el equipo incorpora un sistema de manipulación automática de los tubos de taladrar, y de que también lo son con otros componentes tales como cabezas perforadoras, sondas y dilatadores.

I.1.4 Fluidos de taladrar

Dependiendo de su formulación, el fluido de taladrar puede tener varias funciones:

- lubricar la cabeza cortante y reducir su desgaste;
- ablandar el terreno de manera que sea más fácil taladrarlo;
- llevar material excavado en su suspensión hacia el pozo de ataque;
- estabilizar el barreno antes de proceder a su dilatación;
- lubricar el tubo definitivo durante la dilatación y la inserción;
- propulsar los motores de lodos para taladrar a través de terrenos duros.

El fluido de taladrar más sencillo es el agua y a menudo no se necesita utilizar algo más complejo para barrenos cortos de pequeño diámetro a través de terreno de buena calidad.

Una mezcla de bentonita y agua es el tipo más común de fluido de taladrar o "lodo". La bentonita es un tipo de arcilla con propiedades tixotrópicas, lo que significa que permanece fluido mientras se esté bombeando o agitando, pero que forma un gel si se le deja en reposo. Si se agita de nuevo, vuelve al estado fluido. Este material actúa por tanto como lubricante y agente portador durante la operación de taladrado, pero se solidifica para estabilizar el barreno una vez que se deja de taladrar. Durante el proceso de dilatación, el lodo sirve de lubricante entre el tubo definitivo y las paredes del barreno, y reduce la regresión y la fricción del suelo.

Además de los fluidos sencillos a base de agua y bentonita, existen materiales a base de polímeros y una amplia gama de aditivos que se utilizan para modificar las propiedades del fluido de taladrar de modo que se adapte a las condiciones del suelo y a la naturaleza del proyecto. Por ejemplo, la viscosidad deberá ser lo suficientemente baja como para que el flujo a través del sistema se produzca a presiones razonables, pero lo bastante alta como para impedir que se produzcan filtraciones importantes hacia el terreno.

La formulación del fluido de taladrar es, por sí mismo, un asunto complejo y que influye de manera importante en el éxito de los proyectos. La mayoría de los fabricantes de máquinas taladradoras tienen sus propias recomendaciones sobre los fluidos que son más adecuados a aplicaciones particulares y se puede también pedir asesoramiento a los fabricantes de productos. En este tema habrá que recabar el consejo de los especialistas, principalmente cuando las condiciones del terreno sean difíciles. El diseño de la planta de mezclado, bombeo, filtrado y reciclaje es asimismo un asunto que requiere mucha atención, sobre todo si se trata de proyectos de gran escala, y también aquí deberá buscarse el asesoramiento de constructores y fabricantes especializados.

I.1.5 Sistemas de localización y guía

La mayoría de las técnicas de perforación guiada, salvo algunas aplicaciones comenzadas en pozo para cortas distancias, se basan en sistemas precisos de localización y guía de la perforación. La capacidad de los dispositivos de seguimiento ha aumentado considerablemente con los avances de la tecnología electrónica y en la actualidad se puede alcanzar un alto grado de exactitud.

Hay varios tipos de sistemas de seguimiento. Los más frecuentes, llamados sistemas de "seguimiento por control" desde la superficie, se basan en una sonda o baliza contenida en un recinto situado detrás de la cabeza perforadora. La sonda emite una señal radioeléctrica recogida por un receptor en la superficie. Además de la posición y la profundidad bajo el suelo de la cabeza perforadora, los

datos transmitidos dan a menudo la inclinación de la punta taladradora, la orientación de la cabeza, la situación en que se encuentran las baterías de la baliza y la temperatura de la misma. Es frecuente que esta información se retransmita a un receptor por satélite situado en la máquina taladradora, de manera que el operador pueda acceder directamente a los datos y efectuar cualesquiera ajustes que sean necesarios.

Los sistemas de seguimiento por control desde la superficie son en muchos aspectos similares a los detectores de tuberías y cables, en el sentido de que el receptor se desplaza a la posición en donde se produce la señal más fuerte, en cuyo lugar deberá encontrarse directamente encima de la baliza. Su limitación principal consiste en la necesidad de tener que acceder a la superficie situada justo encima de la cabeza perforadora, lo que puede ser difícil o imposible si la perforación transcurre por debajo de un edificio o de una masa de agua. Esta dificultad se puede superar empleando un sistema de guía "por cable", o una baliza que lleve en sí misma una brújula electrónica.

Los sistemas por cable utilizan un cable tendido a través de la cadena de tubos de taladrar para transmitir datos de la baliza a la consola de control. Aunque el cable añade complejidad al sistema, permite el seguimiento de la perforación a través de cualquier terreno sin depender de la transmisión de señales radioeléctricas, y se puede utilizar también en lugares que se vean afectados por la interferencia electromagnética.

Cuando se inicializa con un rumbo acimutal predeterminado, la baliza brújula notifica al operador el momento en que se ha desviado la cabeza perforadora con respecto al trayecto de perforación pretendido. La información de desviación a derecha/izquierda se envía a un receptor de seguimiento y se visualiza en un formato similar al de la información de cabeceo de un barco. No es preciso que el operador se sitúe por encima de la baliza o en el trayecto de perforación pretendido y, en algunos casos, los datos se pueden recibir a una distancia superior a los 300 metros con respecto a la baliza.

Debido al entorno en que trabajan, las balizas deben ser muy resistentes a los choques y las vibraciones y muy duraderas. Tal es el caso sobre todo cuando se trabaja con taladradoras de acción percusora, en las que probablemente haga falta algún tipo de mecanismo de absorción de choques.

Para evitar que los dispositivos electrónicos estén sometidos a fuertes cargas dinámicas, se utiliza un sistema de localización y guía basado en la magnetometría con las máquinas de perforación guiada que emplean la acción de un martillo percusor. Se alojan magnetos permanentes en una sección del martillo piloto y se detecta el campo magnético mediante magnetómetros situados en superficie y una unidad de tratamiento informático interpreta los datos dando la ubicación, la profundidad y el ángulo de cabeceo de la cabeza perforadora. Al igual que con las radiobalizas, la información de seguimiento se puede retransmitir a la consola del operador de la taladradora.

I.1.6 Equipo auxiliar

Aunque la atención se centra sobre todo en los elementos principales del equipo, hay numerosos accesorios y elementos auxiliares que contribuyen de manera importante al éxito de una perforación guiada o un taladrado direccional.

Se dispone de diversos tipos de cabeceras de arrastre para tuberías de polietileno, entre ellas, cabeceras herméticas y versiones de las mismas diseñadas de manera específica para el taladrado direccional. Una de las funciones de las cabeceras de arrastre del taladrado direccional consiste en evitar la entrada de fluido de taladrar o desechos en el tubo definitivo. Los conectores de rótula son un componente fundamental durante la operación de dilatación y arrastre de tubos y deberán estar diseñados de manera que impidan la entrada de lodo y residuos en los cojinetes. Se dispone de modelos con capacidades de menos de 5 a más de 200 toneladas.

Algunos constructores utilizan "conectores de ruptura" para proteger el tubo definitivo. Estos conectores tienen una serie de pasadores calculados para que se rompan bajo una determinada carga y se fijan de acuerdo con la carga de tracción que puede admitir el tubo definitivo. Los conectores de ruptura no sólo reducen el riesgo de daño inadvertido sino que además tienen un efecto psicológico

en los operadores, que saben que no se puede exceder la fuerza de arrastre admisible y por tanto resisten la tentación de aumentar la carga para aumentar la productividad.

Otros equipos auxiliares importantes son las máquinas de fusión de extremidades para unir tubos de polietileno, los tambores de soporte de tubos y los dispositivos de arrastre de cables.

I.2 Topeo por impacto

El topeo por impacto, o "perforación de la tierra" como se le conoce normalmente en América del Norte, consiste en la creación de un barreno utilizando una herramienta que consta de un martillo percusor instalado dentro de un alojamiento cilíndrico adecuado, por lo general con forma de torpedo (véase figura I.2). El martillo puede ser hidráulico o neumático. El topeo por impacto se asocia normalmente a dispositivos no dirigidos o con una capacidad de dirección limitada sin conexión rígida con el pozo de comienzo o ataque, que depende para sus movimientos hacia adelante de la acción del martillo interno con el que supera la resistencia de fricción del terreno. Durante su funcionamiento, la tierra es desplazada pero no eliminada. Si el terreno es adecuado se puede formar un barreno no soportado o se puede tender un tubo o introducirlo empujándolo inmediatamente detrás de la herramienta de topeo por impacto. También se pueden introducir cables tirando de ellos.

Aunque se dispone de topos de percusión impulsados hidráulicamente, la mayoría lo son por aire comprimido. Una posible desventaja de los topos neumáticos es la contaminación del tubo definitivo por el aceite lubricante presente en los productos de escape, pero existen procedimientos con los que superar ese inconveniente. Los topos hidráulicos necesitan dos mangueras flexibles (de ida y retorno) y suelen tener una complejidad mecánica mayor.

El mecanismo básico del topeo por impacto es la acción alternativa del martillo, ya sea neumático o hidráulico, dentro del cuerpo de acero cilíndrico. El pistón es impulsado hacia adelante y, al golpear el extremo delantero de la unidad, transmite su energía cinética al cuerpo que a su vez es impulsado hacia adelante. La energía del pistón en la carrera de vuelta se regula de manera que se reposicione para la siguiente percusión, en vez de hacer retroceder la unidad sacándola del barreno (a menos que esto sea necesario).

Impactos repetidos del pistón del martillo hacen que avance toda la unidad a través del terreno. A medida que se produce el desplazamiento hacia adelante, la tierra situada delante del topo es desplazada lateralmente y compactada por el morro cónico o dentado formando así las paredes del barreno. A menudo se utiliza también la potencia de la unidad para tirar del tubo definitivo, del cable o del conducto de cables a través del barreno al mismo tiempo que avanza el topo de impacto.

Las herramientas del topeo por impacto reciben diversos nombres, incluidos los de herramientas de perforación de la tierra, martillos de desplazamiento de tierra, martillos de impacto, topos percusores o topos neumáticos, dependiendo del término empleado por el fabricante y de la zona geográfica en la que se esté utilizando el equipo.

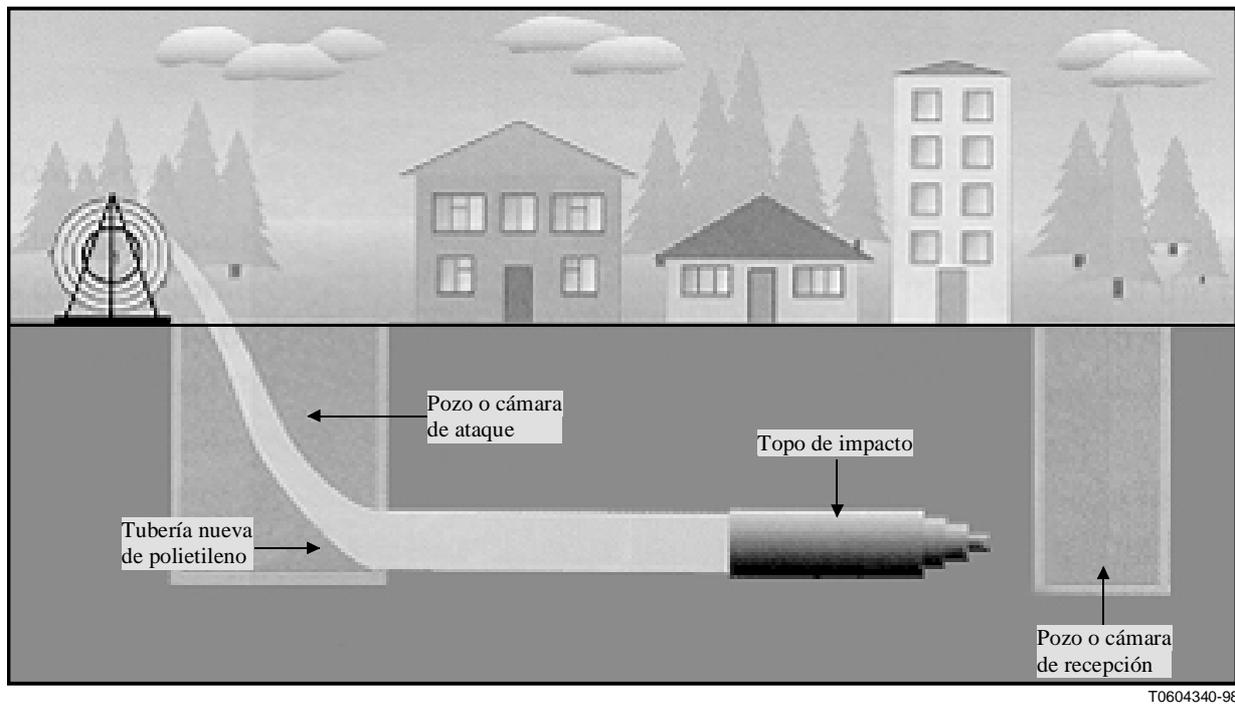


Figura I.2/L.38 – Instalación de tubería mediante topeo por impacto

I.2.1 Supervisión

En la mayoría de los topos se pueden instalar ahora radiosondas, similares a las utilizadas para supervisar el avance de las unidades de taladrado direccional, que permiten un seguimiento estrecho del avance del tope tanto por lo que se refiere a su dirección con respecto al itinerario planificado como a su profundidad. Las sondas se instalan en la parte posterior del tope de impacto o, en algunos casos, en el extremo frontal.

Aunque las sondas montadas en la parte posterior dan una indicación del avance, la información que proporcionan es menos útil que la de las montadas en la parte frontal. Dependiendo del tamaño del tope y de su longitud, es posible que la sonda esté a cierta distancia del extremo penetrante de la herramienta y responda por tanto mucho más tarde a los cambios de dirección e inclinación que una sonda montada en la parte frontal y que da por tanto al operador más tiempo para detener la perforación y hacer una estimación de cuál ha de ser el movimiento siguiente. No obstante, las sondas montadas en el morro tienen que ser mucho más robustas y estar bien protegidas, puesto que han de soportar el choque de las fuerzas impulsoras aplicadas a la parte frontal de la unidad por la acción del martillo.

Si un obstáculo hace que el barreno se desplace de su dirección o impide que avance, es más fácil a menudo excavar hasta la unidad, eliminar el obstáculo, realinear el tope y relanzarlo, en vez de empezar de nuevo la perforación. Para ello se cuenta con frecuencia con la ayuda de un dispositivo de marcha atrás, disponible actualmente en la mayoría de los topos de impacto, que permite hacer retroceder la unidad alejándola de la obstrucción hasta un punto en el que se encuentre en la dirección y al nivel correctos. Tras eliminar el obstáculo y rellenar el agujero, se reanuda el tope en la dirección deseada.

I.2.2 Tipos de cabeza

Con los topos de impacto se utilizan normalmente dos perfiles de cabeza básicos. El primero es un simple cono que, durante el funcionamiento, perfora el terreno y empuja la tierra hacia un lado. El segundo es una cabeza escalonada o cortante, que de hecho es un cono dentado. En funcionamiento normal, los espacios entre los escalones se llenan de tierra y la cabeza actúa como un cono sencillo.

Sin embargo, cuando la cabeza golpea un obstáculo, los bordes de los escalones concentran la energía del impacto contra la obstrucción. Mientras que un cono liso tendería a ser desviado por un obstáculo, el perfil escalonado puede aplicar una fuerza longitudinal suficiente como para desplazar el obstáculo o romperlo reduciendo el riesgo de desviarse de la dirección pretendida.

La mayoría de los topos tienen cabezas fijas, lo que significa que la cabeza forma parte integrante del cuerpo del topo una vez ensamblada la unidad. Cuando actúa el pistón, lo hace en la totalidad del cuerpo del topo impulsándolo hacia adelante.

Una alternativa es el topo de cabeza móvil, en el que la cabeza no está unida directamente al cuerpo sino que flota en un eje que pasa a través del extremo frontal del topo. La parte posterior del eje es el yunque contra el que golpea el martillo oscilante. Utilizando esta configuración, la fuerza inicial y más alta del martillo se transfiere sólo a la cabeza, introduciéndola en el terreno. A este sistema se le atribuyen varias ventajas, entre ellas, la mayor energía del impacto para perforar terrenos más duros y desplazar o romper obstáculos. El cuerpo del topo actúa a modo de anclaje direccional inicial de la cabeza a medida que avanza, con lo que se obtiene un mejor control de la dirección.

I.3 Empuje de los tubos por impacto

El sistema de empuje de los tubos por impacto es un sistema no guiado de formación de un barreno impulsando un escudo de acero, normalmente de extremos abiertos, mediante un martillo de percusión desde un pozo de ataque. La tierra acumulada en el escudo de extremos abiertos se puede eliminar barrenando, arrojando chorros de agua o inyectando aire a presión. En condiciones de terreno apropiadas se puede utilizar un tubo cerrado.

I.3.1 Montaje del dispositivo

La operación típica de empuje de tubos por impacto requiere el establecimiento de una base sólida, normalmente una losa de hormigón, en el lado de ataque de la instalación. La losa se situará normalmente contra la lateral de una pendiente o en un pozo de comienzo o ataque. A continuación se instalan en la losa los raíles de guía en la dirección del barreno. Se sitúa el primer tramo del tubo de acero en los raíles de guía, se forma o se acopla un borde cortante en el extremo anterior del tubo y se une el martillo percusor al extremo posterior del mismo. Dependiendo del diámetro, es posible que haya que intercalar piezas suplementarias para asegurar un contacto sólido y uniforme entre el martillo y el tubo.

Se conecta la alimentación de potencia y se arranca el martillo. El martillo de empuje fuerza el tubo de acero dentro del terreno siguiendo la dirección impuesta por los raíles de guía. Una vez introducido un tramo de tubo, se para el martillo, se le retira, y se suelda in situ el siguiente tramo del tubo de acero. El ciclo se repite hasta que el borde delantero del primer tramo llegue al extremo o foso de recepción.

Al igual que con el topeo por impacto, un requisito fundamental en los trabajos de empuje de tubos consiste en efectuar un profundo estudio del terreno. Obstáculos voluminosos pueden desviar un tubo o dañar el borde cortante provocando un desvío de la dirección. Puesto que normalmente no hay manera de supervisar la dirección del tubo durante la perforación, es fundamental establecer claramente el trayecto de la misma antes de comenzar el trabajo.

I.3.2 Opciones de perforación

Dependiendo de la naturaleza del terreno, el empuje por impacto se puede llevar a cabo con tubos de extremos abiertos o cerrados. El empuje con extremos abiertos es el preferido por lo general, ya que tiene varias ventajas, entre ellas, una menor reacción contra la fuerza del impacto porque sólo se empuja el borde cortante contra el terreno. Se pueden penetrar terrenos más duros empujando mediante impactos tubos de extremos abiertos, ya que la tierra no tiene que ser compresible. Puesto que la superficie que el tubo presenta a un obstáculo es mucho menor cuando se trata de tubos de extremos abiertos, también es menor la probabilidad de que se produzca una deflexión del tubo.

Sin embargo, cuando se empujan mediante impactos tubos de extremos abiertos, el terreno ha de ser relativamente estable ya que de otro modo pueden producirse mermas del terreno delante del borde cortante a medida que la tierra se introduce por el extremo abierto del tubo y se desplaza a lo largo del mismo hasta el pozo de ataque. En casos graves, esto podría provocar el desplome de la superficie o pérdida del soporte de las canalizaciones adyacentes. En tales condiciones quizás sea mejor el empuje mediante impactos con extremos cerrados ya que la tierra es desplazada lateralmente alrededor del tubo y compactada en torno a las paredes del barreno.

Cuando se utiliza un sistema de extremos abiertos, el cilindro de tierra circunscrito por el borde cortante permanece dentro del tubo durante la perforación. Para distancias cortas, que son las que normalmente se abordan empujando los tubos mediante impactos, esta acumulación de tierra no es por lo general un problema. Sin embargo cuando se trate de perforaciones largas, habrá que tener en cuenta que la tierra añade peso a la cadena de tubos que se están empujando y afectará por tanto a la velocidad de avance. En algunos casos quizás convenga eliminar la tierra de los tubos durante los trabajos de alargamiento de la cadena de tubos, para limitar la carga adicional que ese peso representa para el martillo percusor. La limpieza se puede hacer manualmente o mediante un rascador, dependiendo del diámetro.

Si no hace falta una limpieza intermedia y la tierra permanece en el tubo durante toda la perforación, se pueden emplear, además de las palas o los rascadores, otras herramientas. Al llegar al pozo de recepción, el extremo abierto del tubo se puede cerrar herméticamente con un obturador adecuado. A continuación se introduce agua a presión o aire comprimido entre la tierra y el cierre hermético con lo que se fuerza la salida del cilindro de tierra hacia el pozo de ataque de donde puede ser eliminado. Seguidamente se retira el cierre hermético y se limpia y se pone en servicio el tubo o la máquina escudo.

Los principios del topeo por impacto y del empuje de los tubos por impacto son más bien sencillos y estas técnicas pueden ofrecer soluciones muy eficaces desde el punto de vista económico para obras en las que las longitudes de instalación sean relativamente cortas.

I.4 Empuje de los tubos mediante gatos y microtunelamiento

El empuje de tubos mediante gatos y el microtunelamiento forman parte básicamente de la misma familia de técnicas de instalación de canalizaciones, aplicadas para instalar tubos con un diámetro de unos 150 mm o superior (véase figura I.3). El sistema de empuje de tubos mediante gatos consiste en instalar los tubos directamente detrás de una máquina escudo aplicando la fuerza de unos gatos hidráulicos desde un foso conductor de tal manera que los tubos formen una cadena continua en el terreno. Los tubos, que están diseñados especialmente para soportar los esfuerzos de compresión que probablemente se produzcan durante la instalación, forman la canalización final una vez completada la operación de excavación.

En este contexto, el microtúnel se define de manera específica como un escudo controlado a distancia y ajustable para instalar, aplicando gatos hidráulicos, una cadena de tubos cuyo diámetro interno es inferior al que permite la entrada de un hombre. Los microtuneladores utilizan a menudo sistemas de guía por láser para mantener la orientación y la profundidad de la instalación, aunque, en las instalaciones de tubos mayores, se pueden utilizar tanto la guía por láser como las técnicas de supervisión normales.

Se dispone de sistemas para la instalación de canalizaciones principales y de bifurcaciones.

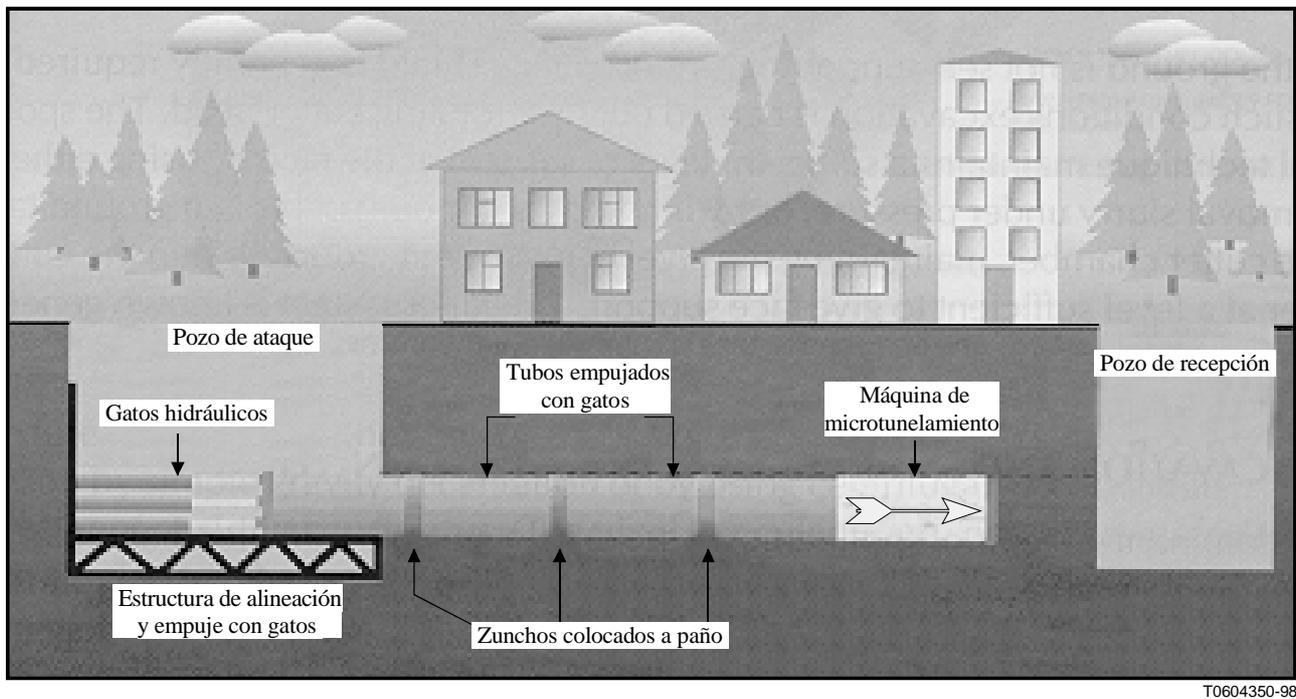


Figura I.3/L.38 – Instalación de tuberías por microtunelamiento

I.4.1 Planificación

En los primeros años del desarrollo del microtunelamiento, algunos proyectos se diseñaron en torno a un plan existente de instalación de una canalización utilizando técnicas a base de apertura de zanjas. Ello se debió a menudo a la falta de conocimientos por parte de los ingenieros de diseño de la tecnología de tendido sin zanja en general. Se pidió entonces a los constructores que ofrecieron una instalación alternativa utilizando la tecnología del empuje de tubos mediante gatos. Desgraciadamente no fue una solución acertada ya que no se tuvo en cuenta la opción de "cortocircuitar" los recorridos de las canalizaciones sometidos a restricciones por los criterios de acceso para operaciones con apertura de zanjas, tales como tener que seguir el trazado de carreteras, evitar el cruce de terrenos privados y trabajar en áreas lo suficientemente vastas como para que permitieran la utilización de equipos excavadores.

La mayoría de los trabajos de empuje de tubos mediante gatos y microtúneles se planifican ahora de tal modo que esas limitaciones se eliminan casi por completo. Sabiendo cuáles son los requisitos hidráulicos de los tubos, sus puntos de conexión, los tipos de terreno que se van a encontrar y las limitaciones de acceso a lo largo de la ruta requerida, se puede diseñar la posición del foso, su profundidad y su tamaño de manera que se reduzca al mínimo el número de excavaciones que es preciso efectuar, y se disminuye así el número de tramos de cualquier canalización.

La planificación no sólo reduce al mínimo el impacto físico de una obra limitando la duración del trabajo sino que reduce también sus efectos ambientales en términos de perturbación del tráfico y volumen de tierra desplazada. La optimización de la longitud de la canalización redundará además en un ahorro de materiales requeridos para la obra. Otra ventaja que reporta la reducción de la excavación se deriva del hecho de que muchos clientes y responsables administrativos de las autopistas insisten ahora en que los suelos excavados se rellenen con material de calidad superior. De ello resulta la necesidad de transportar el material excavado y deshacerse de él y la necesidad de extraer material de relleno. El empleo de técnicas sin excavación o con una excavación mínima disminuye la perturbación y el coste que representa la extracción, el transporte y el trasiego de áridos, al tiempo que se conservan los materiales naturales.

I.4.2 Excavación y eliminación de residuos en el procedimiento de empuje de los tubos mediante gatos

En el procedimiento de empuje de los tubos mediante gatos se utilizan varias técnicas de excavación diferentes. Lo primero que hace falta en una cadena de tubos empujados con gatos o en un microtúnel es cavar un foso de perforación. El diseño del foso depende de la instalación requerida y su tamaño depende sobre todo de la longitud de los tubos que se van a instalar. En ambos casos es necesario establecer un muro de presión contra el cual pueda actuar la estructura de empuje con gatos sin dañar ni deformar el propio foso.

Para la excavación del terreno en el procedimiento de empuje con gatos, la primera técnica consiste básicamente en excavar a mano utilizando un escudo abierto, en el que el minero utiliza herramientas manuales, motorizadas o no, para eliminar la tierra que se encuentra delante del blindaje. En condiciones de terreno más difíciles se puede utilizar una disposición a base de pala retroexcavadora, brazo cortante o cabeza cortadora rotatoria. En la mayoría de los casos, estos sistemas se utilizan junto con escudos con frente abierto y dependen en gran medida de que el terreno en la parte delantera tenga un cierto grado de estabilidad. La tierra excavada se elimina de la parte frontal utilizando volquetes de desescombro montados en raíles y arrastrados hasta y desde el frente mediante un sistema de cable continuo. Como alternativa, se puede utilizar una cinta transportadora que descargue en un montacargas situado en el fondo del foso.

En algunos casos se ha empleado un sistema de vacío para eliminar los residuos, en el que la tierra desmenuzada se saca del túnel por aspiración. También se ha desarrollado un "sistema de pasta fangosa" que utiliza el vacío para descargar el fango.

Cuando el terreno no es estable, se requiere por lo general un escudo con frente cerrado. En tales condiciones, la excavación se lleva a cabo con una cabeza cortante rotatoria. La técnica de eliminación de residuos permite mantener un nivel suficiente de estabilidad en la parte frontal eliminando a presión la pasta fangosa o limitando el volumen de tierra desmenuzada dentro de la cámara cortadora a un nivel suficiente como para conseguir esa estabilidad. Este último sistema se conoce por lo general como método del escudo compensador de la presión de la tierra.

I.4.3 Excavación y eliminación de residuos en microtunelamiento

En microtunelamiento, cuyos diámetros de trabajo son más pequeños, se emplean sobre todo dos sistemas de eliminación de residuos. En los suelos estables en los que la altura de la capa freática no pasa de unos 3 ó 4 metros, es posible utilizar una barrena de paletas rascadoras para eliminar la tierra desmenuzada. La cadena de paletas se instala en un alojamiento dentro de la tubería de empuje con gatos. Las paletas descargan los residuos en un volquete de desescombro situado debajo de la estructura de empuje con gatos en el foso de ataque. Cuando está lleno, se iza hasta la superficie, se vacía y se pone de nuevo en su sitio antes de continuar con la perforación (véase la figura I.4).

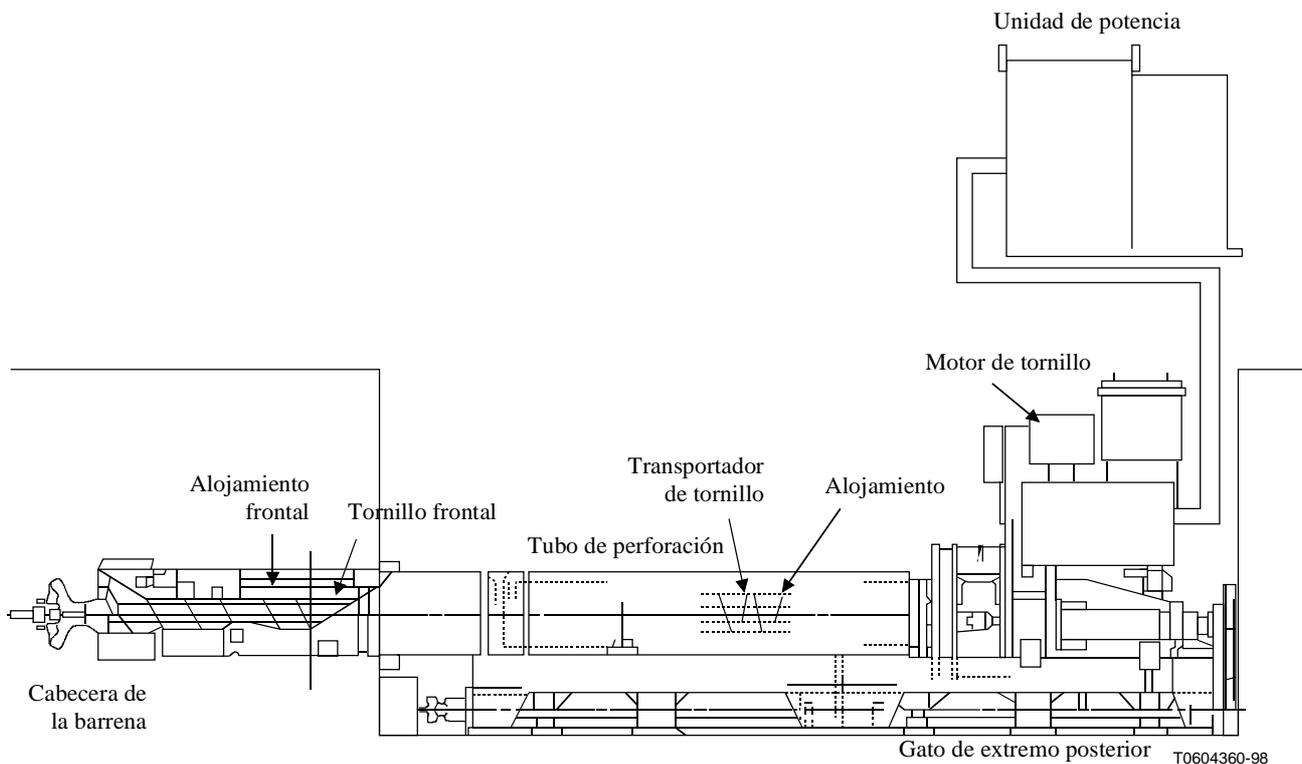


Figura I.4/L.38 – Ejemplo de método de excavación mediante paletas rascadoras

En condiciones de terreno más difíciles y alturas de capa freática mayores, se utiliza a menudo un sistema de recirculación de la pasta fangosa (véase la figura I.5). El sistema de pasta fangosa requiere que se prepare en la superficie una suspensión de bentonita o de un polímero artificial concebido especialmente (o una combinación de los dos). La suspensión se bombea hacia la cámara cortadora a través de un sistema de tubos dispuestos dentro del tubo de empuje con gatos. Si es necesario, la pasta fangosa se presuriza al nivel requerido para asegurar la estabilidad en la parte frontal. En la cámara cortadora, la pasta se mezcla con la tierra excavada y esta mezcla pasa normalmente a través de una trituradora incorporada con movimiento radial excéntrico que garantiza el que ninguna partícula con un tamaño mayor de lo que el sistema de fangos puede manejar se introduce en el circuito de retorno del sistema.

La mezcla se bombea a la superficie en donde las partículas de tierra se eliminan de la suspensión por simple decantación por gravedad o mediante centrifugación en hidrociclones o aparatos similares. A veces se añaden flocculantes químicos para mejorar la eficacia del sistema. La pasta fangosa recién limpiada se comprueba y reacondiciona añadiéndole otros productos químicos, para que cumpla las condiciones requeridas en el frente rozador, y se recicla a través del sistema.

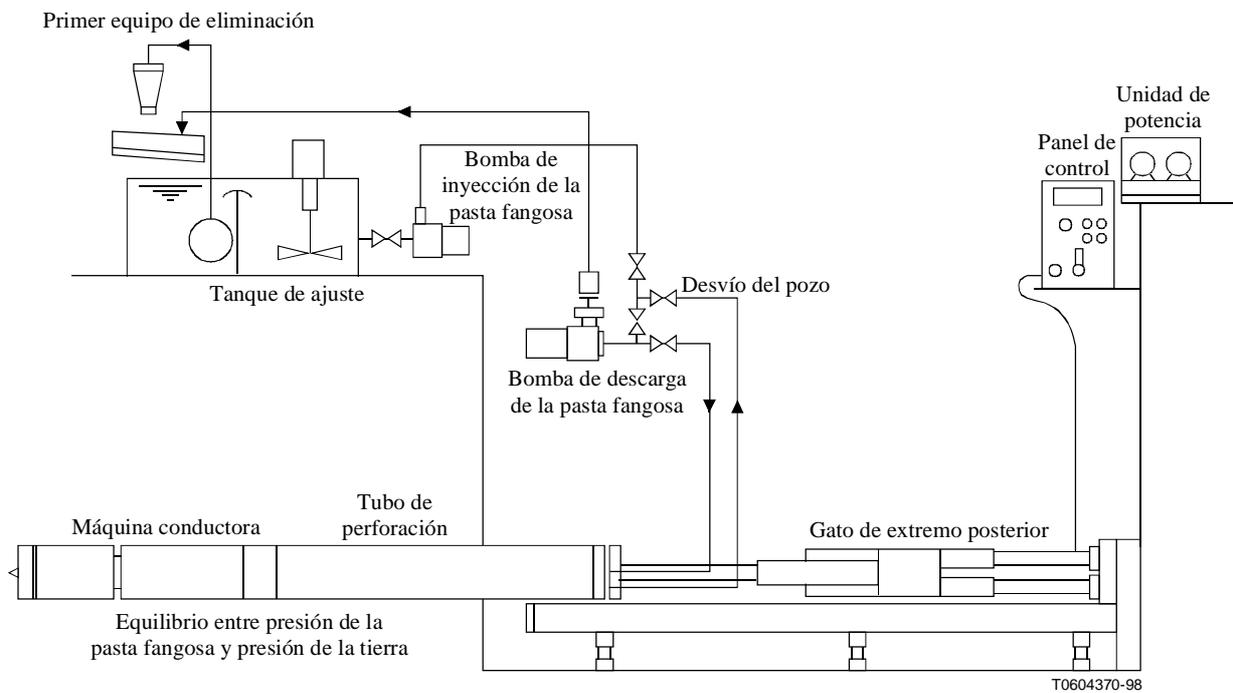


Figura I.5/L.38 – Ejemplo de método a base de pasta fangosa

El sistema a base de pasta fangosa tiene la ventaja de ser continuo, mientras que los métodos en los que se utilizan barrenas, que requieren el izado a superficie de los residuos, son más cíclicos y exigen interrupciones del funcionamiento de la cabeza cortadora.

Hay también un sistema que utiliza una puerta hermética de control hidráulico para limitar el volumen de tierra que se desplaza durante la excavación, y en el que la eliminación de residuos se completa utilizando un sistema rascador dentro del tubo de empuje con gatos. Este sistema no emplea normalmente una cabeza cortadora, sino más bien una pestaña cortante en el borde delantero del escudo para disgregar la tierra haciendo que se desprenda del frente rozador. La técnica ha sido utilizada con éxito, pero sólo se puede aplicar de manera restringida en comparación con los dos sistemas principales, debido sobre todo a la limitación de los tipos de terreno en los que puede operar.

Algunos sistemas emplean el llamado método de la pasta fangosa con presión compensada (véase la figura I.6). En dichos sistemas se instala una máquina conductora de descarga de pasta fangosa con presión compensada en el extremo de un tubo de perforación. La tierra se extrae haciendo girar las herramientas cortadoras mientras que se mantiene la estabilidad del suelo empleando una válvula de retención de agua e inyectando aditivos para facilitar la licuefacción plástica de la tierra excavada. Esta última se mezcla con agua para crear una pasta fangosa que a continuación se descarga en forma líquida a través de una tubería que pasa por el tubo de perforación o tubo de guía. Al igual que en el sistema de líquido pastoso, la perforación se efectúa mientras se ajusta la cantidad de aditivos inyectados y la velocidad de avance para estabilizar el suelo. Se pueden seleccionar aditivos del tipo bentonita o a base de polímeros, según la calidad del suelo.

En el método con compensación de la presión del agua se estabiliza el suelo utilizando la presión del agua en vez de un líquido pastoso, y se emplea en suelos con baja presión de agua, por ejemplo, capas arenosas empapadas de agua.

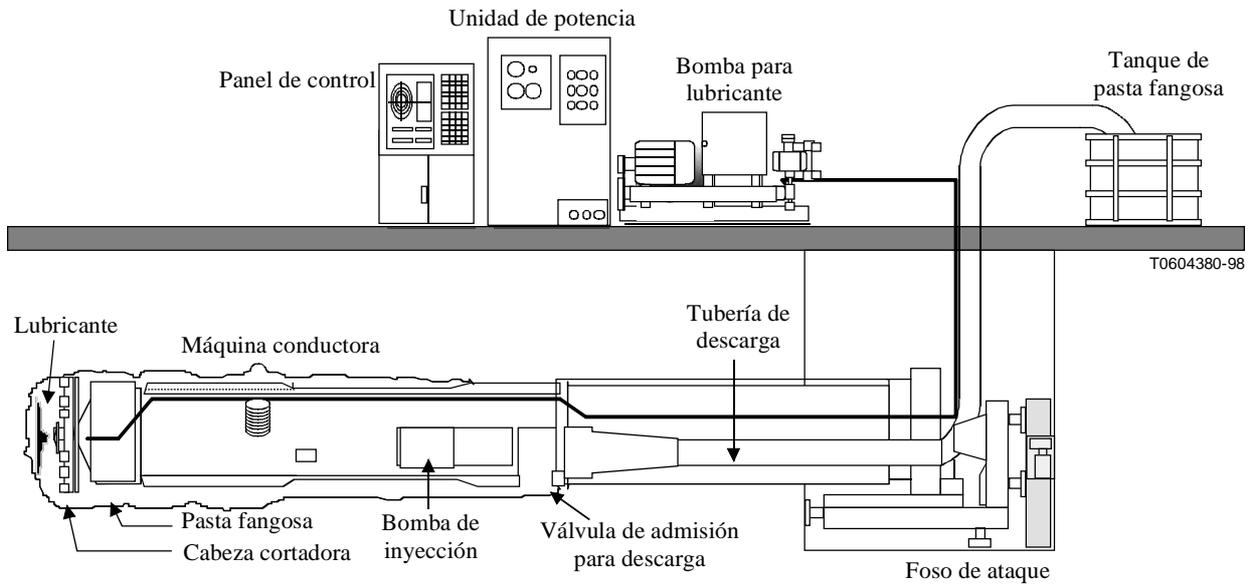


Figura I.6/L.38 – Ejemplo de método a base de pasta fangosa de presión equilibrada

Para perforaciones de menos de unos 300 mm de diámetro se dispone de otras dos técnicas de microtunelamiento especializadas. La primera es un método sencillo de compactación (método penetrante o por presión, véase la figura I.7) en el que la cabeza cortadora giratoria del microtunelador no remueve la tierra del frente rozador lo suficiente como para que se desplace lateralmente, sino que más bien la compacta en torno al perímetro del barreno.

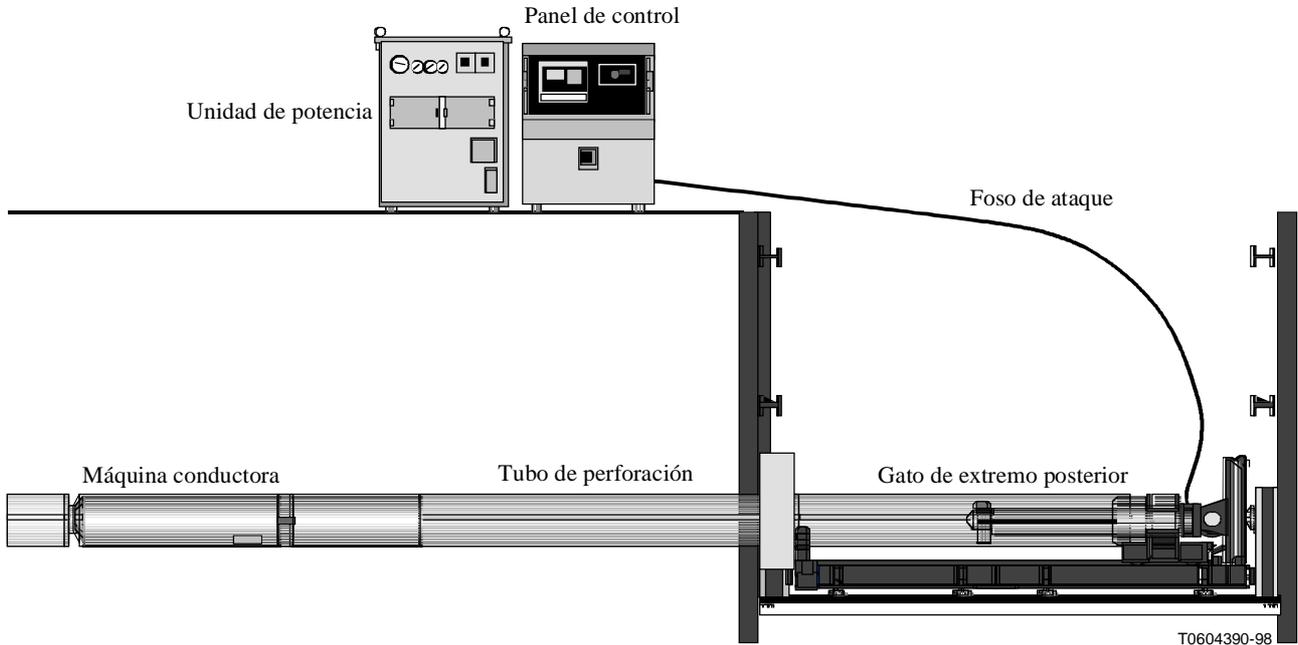


Figura I.7/L.38 – Ejemplo de método penetrante

Este procedimiento sólo se aplica en suelos compactables. El segundo método (método perforante) emplea un procedimiento de excavación que se puede comparar con el utilizado por la mayoría de las máquinas de taladrado direccional. La herramienta cortadora es una cabeza angular giratoria que, al girar, perfora en línea recta. Cuando la cabeza se orienta según un cierto ángulo, su

descentramiento permite efectuar los ajustes de guía. En este sistema se utiliza normalmente la técnica de eliminación de tierras mediante paletas rascadoras y es precisa una fase de dilatación previa a la instalación del tubo o bien montar un dilatador delante del tubo de perforación durante el proceso de empuje de los tubos mediante gatos. A menudo se emplea el sistema como una instalación en dos etapas, empezándose a instalar los tubos sólo después de haber concluido el taladro guía inicial.

Para completar una conducción empujando las tuberías con gatos o bien mediante microtunelamiento se necesita un foso de recepción. Las dimensiones del foso deberán ser tales que el escudo de empuje de tubos o microtunelamiento se pueda recuperar sin dificultad alguna. Puesto que estos fosos se utilizan normalmente para trabajar con gatos hidráulicos, no es necesario prever un muro de resistencia de fuerzas o empujes anormales.

I.4.4 Clasificación de los métodos de trabajo por microtunelamiento

Los métodos de trabajo por microtunelamiento se dividen a grandes rasgos en sistemas de alta resistencia y de baja resistencia mecánica, dependiendo del tipo de tubo de perforación, y a continuación se subdividen según los sistemas de excavación y descarga de la tierra. Los sistemas de alta resistencia transmiten la fuerza impulsora directamente a tubos de alta resistencia mecánica. Por el contrario, en los sistemas de baja resistencia se pasa una barra conductora de transmisión de fuerzas y una barra de tracción a través de tubos de baja resistencia mecánica y seguidamente se impulsan dichas barras, con lo que la fuerza impulsora no se transmite directamente a los tubos de baja resistencia. De esta manera, la resistencia de la punta actúa solamente en las barras de transmisión y tracción, y los tubos de baja resistencia mecánica sólo tienen que soportar la fricción entre la tierra y su superficie externa (figura I.8).

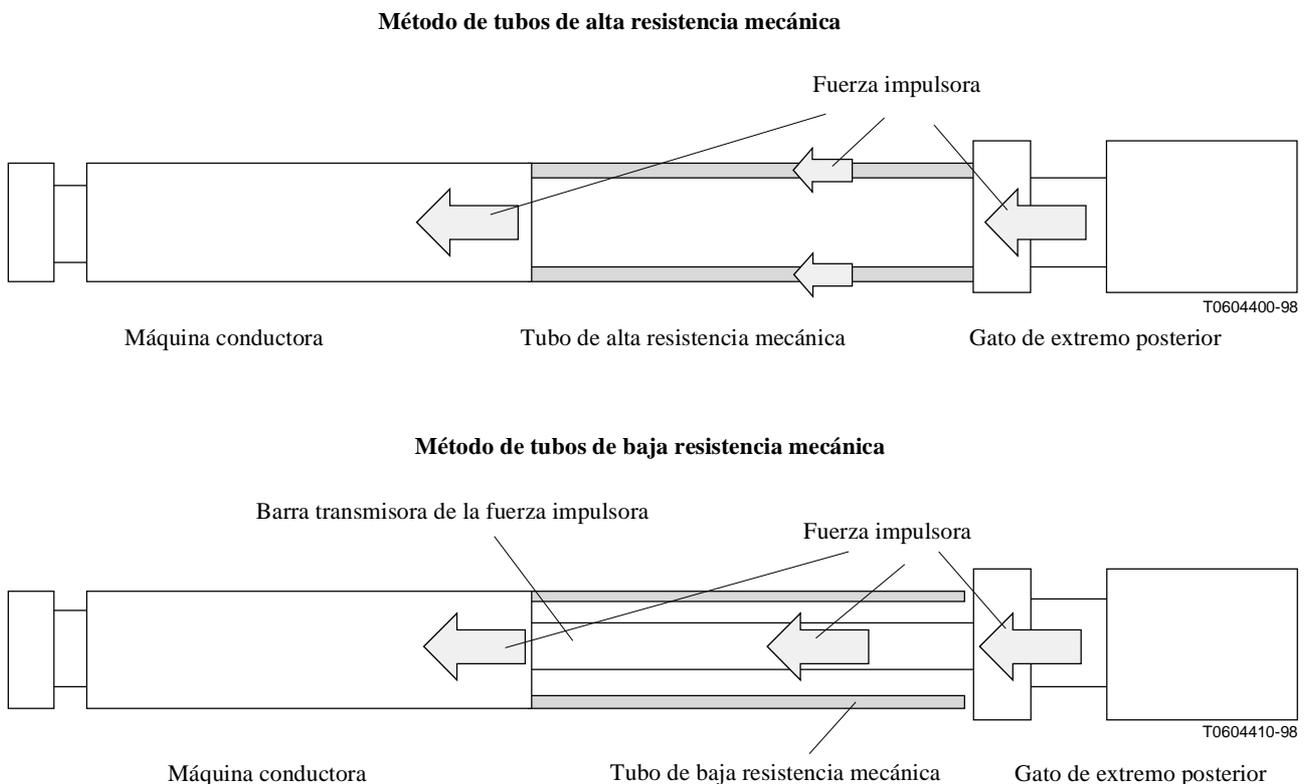


Figura I.8/L.38 – Método de tubería de alta resistencia y método de tubería de baja resistencia

Además, hay varios sistemas de una sola etapa en los que la máquina conductora y los tubos de perforación se impulsan directamente, y sistemas de dos etapas en los que primero se impulsan la máquina conductora y un tubo de guía y a continuación se impulsan los tubos de perforación a lo largo del tubo de guía. Los sistemas de dos etapas soportan por lo general diámetros de tubo mayores y gamas más amplias de distancias de perforación que los sistemas de una sola etapa (figura I.9).

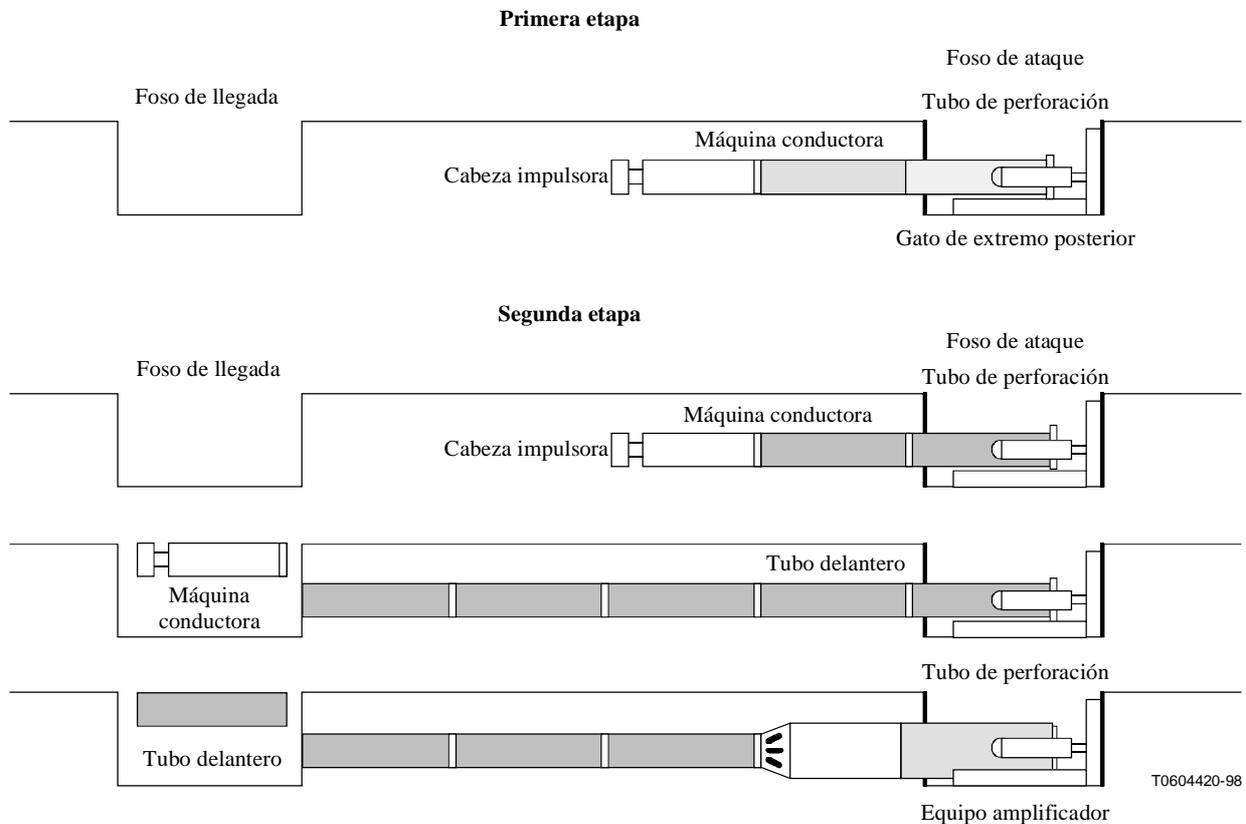


Figura I.9/L.38 – Diferencia entre la primera etapa y la segunda etapa

Se puede hacer una nueva clasificación teniendo en cuenta los principales métodos de impulsión:

- método de excavación por barrenado;
- método a base de pasta fangosa;
- método penetrante o por presión;
- método a base de pasta fangosa con presión compensada;
- método de compensación de la presión del agua;
- método perforante.

I.4.5 Métodos de detección de la posición

En el método de microtunelamiento, el material recorre largas distancias mientras se controla la dirección, por lo que es importante confirmar la posición de la máquina conductora bajo tierra.

I.4.5.1 Método de localización por láser

Se instala un emisor de haz de láser en el pozo de comienzo y se coloca una especie de diana de cristal o un fotorreceptor dentro de la máquina conductora. A continuación se observa la posición en la que el haz de láser incide en la diana mediante un teodolito situado en el pozo de comienzo o una cámara CCD dentro de la máquina conductora. La inclinación de la máquina se puede captar

también utilizando dos placas diana. Este método permite una percepción exacta en alineaciones rectas y da una seguridad de percepción de unos cuantos milímetros en distancias de hasta 100 m.

Sin embargo, cuando la distancia del recorrido supera 150 m, el haz de láser se dispersa y el diámetro del rayo de luz que incide en la diana aumenta, dando como resultado indicaciones de posición incorrectas. Además, hay otros problemas tales como la refracción del haz de láser debida a los cambios de temperatura dentro del tubo de perforación.

I.4.5.2 Método de la inducción electromagnética

Este método calcula la posición de la máquina conductora instalando una bobina electromagnética dentro de dicha máquina y midiendo por encima del terreno la intensidad del campo electromagnético emitido desde la bobina. Con este método se puede medir la posición absoluta con independencia de la distancia o la alineación, y cabe considerarlo como una importante tecnología del futuro para el trabajo en largas distancias y con rutas curvadas. La exactitud de medición varía de unos pocos centímetros hasta 20 centímetros.

Cuestiones que influyen en el método descrito son la imposibilidad de efectuar una detección exacta en presencia de otros campos electromagnéticos u objetos que perturben o bloqueen los campos electromagnéticos cerca de la posición de trabajo, y el hecho de que el campo electromagnético no puede alcanzar la superficie del terreno si la posición de trabajo es muy profunda.

I.4.5.3 Método de la diferencia de presiones de líquidos

Este método se utiliza para medir con exactitud la profundidad de la posición de trabajo. La profundidad se detecta conectando sensores de presión, que se hallan dentro de la máquina conductora y por encima del terreno, con una manguera llena de un líquido que tiene pequeños módulos de compresibilidad sensibles a los cambios de temperatura, y convirtiendo la diferencia de presión en diferencia de profundidad. Los medidores de presión son sumamente precisos y permiten efectuar detecciones con una exactitud de varios milímetros.

Una cuestión relacionada con este método es la posibilidad de que se produzcan errores con relativa facilidad debido al aire que entra en la manguera y a las diferencias entre la temperatura dentro de la máquina conductora y por encima del terreno. Es posible no obstante reducir esos errores haciendo circular el líquido constantemente dentro de la manguera y utilizando sensores de corrección por temperatura.

I.4.6 Métodos de mejora del suelo

A veces resulta difícil efectuar las construcciones de manera segura, o bien las construcciones pueden afectar al terreno y a las estructuras circundantes dependiendo de las condiciones del suelo. En estos casos, se debe optar por un método apropiado de mejora del suelo teniendo en cuenta el entorno de la obra, las condiciones del suelo y otros factores a fin de estabilizarlo.

I.4.6.1 Método de la reducción del nivel de la capa freática

Si los pozos están situados en lugares en los que la capa freática tiene un nivel alto, es posible que el agua fluya hacia los pozos o se produzcan fenómenos tales como la ebullición del agua o el bufamiento de las paredes. En tales casos, se cavan sumideros cerca de los pozos para recoger y drenar el agua. Métodos de drenaje son, por ejemplo, el drenaje por gravedad para suelos con un alto grado de permeabilidad o el drenaje al vacío cuando los suelos no son permeables.

El drenaje del agua durante largos periodos puede provocar ciertos problemas, por ejemplo, el hundimiento del terreno o el secado de las paredes circundantes, por lo que es preciso analizar en profundidad este tema antes de iniciar las obras.

I.4.6.2 Método de la inyección de productos químicos

Éste es un método general de aumento de la resistencia del suelo y mejora de los resultados por lo que se refiere a la detención del flujo de agua. Se inyectan productos químicos líquidos que contienen propiedades coagulantes en suelos blandos, en suelos cuyo nivel de capa freática es alto y en otros suelos que sea preciso mejorar mediante tubos de inyección para estabilizar el terreno y conseguir que se detenga el filtrado de agua, una vez que coagulen los productos químicos.

El tipo de productos químicos y el método de inyección utilizados pueden diferir según la calidad del suelo en el que se van a aplicar y de su permeabilidad.

I.4.7 Estructuras de empuje de los tubos mediante gatos

En los sistemas de empuje de tubos mediante gatos y microtunelamiento se suministran a menudo estructuras de empuje con gatos como parte del material adquirido. Las estructuras se diseñan de manera que proporcionen el nivel de presión por empuje que probablemente requiera el escudo utilizado en una obra determinada. Las características de la estructura de empuje con gatos de cualquier proyecto las fijan las condiciones del terreno y el tipo de escudo perforador.

I.4.8 Fosos

Como se mencionó anteriormente, casi todos los microtúneles y tubos empujados con gatos se instalan entre un foso de conducción y un foso de recepción. Las excepciones más notables son aquellas en las que el punto de salida del escudo perforador se hace directamente al suelo en una posición fija. Incluso entonces, se ha de diseñar una disposición de recepción para evitar la contaminación ambiental por pérdida de lubricante o fangos, o evitar la entrada de agua en la canalización.

Los requisitos del foso de conducción varían en gran medida dependiendo de la máquina utilizada, de las condiciones del terreno, de la longitud de los tubos y del material de que están hechas, de la longitud de la perforación y del tipo de instalación. Pueden ser redondos, rectangulares u ovals; formados a base de cablestacas, revestidos segmentalmente, contruidos en forma de cubículo o incluso carentes de soporte si las condiciones del terreno son lo suficientemente buenas y las reglas de seguridad lo permiten.

La diversidad normal de métodos utilizados de excavación y construcción de fosos está presente también en el empuje de tubos y el microtunelamiento, pero un factor común a todos los fosos de conducción es que han de tener alguna superficie de reacción para que la estructura de empuje de tubos con gatos presione contra ella. En terrenos adecuados, dicha superficie es simplemente el muro posterior del foso, pero por lo general no es ése el caso y se ha de construir un muro de presión. Construido normalmente a base de hormigón, el muro de presión forma parte integrante del soporte del foso y se puede diseñar con una boca central que permita la rotación de la estructura de empuje para proceder a una segunda perforación en sentido opuesto, o para que una máquina perforadora situada en otro lugar llegue al foso como punto de recepción. El muro de presión ha de permitir a la estructura de empuje de tubos ejercer su máxima fuerza manteniendo al mismo tiempo la integridad de la estructura del foso y la del terreno circundante, sin poner en peligro la canalización final. Los requisitos de los fosos que sólo se necesitan a efectos de recepción se indicaron anteriormente.

Ciertos sistemas de microtunelamiento están concebidos de manera que sólo se utilicen pequeños fosos conductores, y se dispone de técnicas que permiten la instalación de tubos de 1 metro de largo a partir de un foso de 2 metros de diámetro solamente. En uno de esos sistemas se emplea una cabeza cortadora y una trituradora cónica que se mueve con movimiento radial excéntrico y puede funcionar en una amplia gama de condiciones del terreno, incluido aquel que contiene piedras con un diámetro de hasta el 30% del diámetro exterior de la máquina.

I.4.9 Tubos

Los tubos de perforación se pueden dividir, en una primera aproximación, en tubos de alta resistencia mecánica y de baja resistencia mecánica. Tubos de alta resistencia mecánica son los tubos de acero, los de hormigón armado y los de otros materiales que permiten transmitir las fuerzas de perforación directamente al tubo. Los tubos de baja resistencia a la carga son los tubos de PVC rígido y otros tubos con los que no es posible transmitir directamente la fuerza de perforación.

Sin embargo, se dispone de una gran diversidad de materiales de tubos para instalaciones en las que se utilice el sistema de empuje con gatos y el microtunelamiento, dependiendo de la elección de los requisitos del cliente, las condiciones del terreno, los costes de transporte y la longitud de la canalización. Entre esos materiales figuran el hormigón armado y no armado, el hormigón a base de polímeros (agregado de hormigón dentro de un aglomerado de resinas), tubos de fibra de cristal o a base de resinas, arcillas vitrificadas (glaseadas o no), acero, hierro dúctil y plástico.

Probablemente, los aspectos más importantes del diseño, por lo que se refiere a los tubos, en un proyecto de instalación de tubos mediante gatos son el grado permisible de deflexión de la junta y la geometría de su superficie. Por lo general, la deflexión de la superficie de la junta del tubo no deberá ser superior a $0,5^\circ$, si bien se pueden admitir deflexiones superiores a $1,0^\circ$ en trayectorias curvadas utilizando materiales amortiguadores apropiados en las juntas de los tubos. La superficie de la junta deberá fabricarse de manera que se asegure su escuadría y se le ha de incorporar además un material de guarnición apropiado para garantizar la distribución uniforme de la fuerza de empuje a través de la junta. Es importante saber, que debido al aumento de la carga puntual, la carga máxima admisible de empuje con gatos en un determinado tubo disminuye mucho y muy rápidamente al aumentar la deflexión de las juntas de los tubos. El mantenimiento de la trayectoria lo más recta posible permitirá al operador aprovechar al máximo, si fuese necesario, la carga de diseño del tubo. Una deflexión elevada reducirá la carga máxima que la cadena de tubos puede soportar sin temor a que se produzca la rotura de los tubos en el terreno.

Un requisito esencial de los tubos de microtunelamiento y empuje con gatos consiste en que las juntas no se extiendan más allá del cuerpo de los tubos. En otras palabras, la junta ha de estar contenida en su totalidad dentro del espesor normal de la pared del tubo, al contrario que en los tubos convencionales de instalaciones en zanja abierta, que utilizan normalmente juntas de cubo y espiga, siendo el diámetro externo de los cubos superior al del resto del cuerpo del tubo. En los proyectos a base de microtunelamiento y empuje de los tubos mediante gatos, las ventajas de una superficie externa de los tubos de baja fricción sin partes salientes son evidentes.

La longitud de los tubos varía de acuerdo con el sistema de microtunelamiento utilizado, el diámetro de los tubos y las limitaciones que imponga el espacio. Las longitudes típicas son normalmente de entre 1,0 y 2,0 metros, aunque se dispone de tramos de 0,75 metros para diámetros pequeños. Gran parte del coste de los tubos de microtunelamiento corresponde a las juntas, por lo que la utilización de tramos de tubo más largos redundaría en un ahorro del coste debido a los tubos, aunque por otro lado, longitudes mayores requieren fosos más grandes.

I.4.10 Lubricación

Las dos fuerzas mayores que es preciso superar al empujar un tubo con gatos son el peso de la cadena de tubos y la fricción entre la superficie del tubo y el terreno a medida que éste se desplaza a lo largo del barreno. La fricción aumenta con el diámetro del tubo, ya que una superficie del tubo mayor roza contra la superficie inerte del barreno.

El problema de la fricción se trata de resolver casi siempre utilizando tubos cuyo diámetro sea lo más pequeño posible, y mediante la lubricación. En los primeros días de la aplicación de sistemas de empuje de tubos con gatos se dejaba a veces que la fuerza bruta superara la resistencia total instalando simplemente una estructura de empuje de capacidad mayor. Esto podría dar lugar a que se produjeran pronto roturas de los tubos ya que en condiciones difíciles se superaría su capacidad de soportar la carga máxima. La introducción de la lubricación utilizando un lodo a base de bentonita o

una combinación de bentonita y una mezcla de polímeros puede solucionar la mayoría de los problemas imputables a las cargas. La mezcla de lodos se prepara de modo que actúe con eficacia en las condiciones del terreno previstas. Se puede utilizar una formulación simple cuando el lubricante no vaya a ser absorbido ni se vaya a filtrar por el terreno circundante. En condiciones más difíciles, en las que quepa prever pérdidas de lubricante o cuando las presiones del terreno probablemente sean altas, se puede modificar el lubricante para reducir las pérdidas y facilitar la estabilidad del terreno mientras dure el proceso de empuje de los tubos mediante gatos.

El lubricante lo llevan los tubos instalados en la cadena de tubos principal y se inyecta por orificios taladrados en la pared de los tubos. A cada orificio de inyección se le conecta una línea de lubricación. La inyección se controla manualmente desde la estación del operador o mediante un sistema de supervisión informático a través de un juego de válvulas de distribución central. Este último sistema está teniendo mucho éxito últimamente y permite añadir cantidades precisas de lubricantes específicos en la posición correcta, con una presión óptima a lo largo de la cadena de tubos a medida que varía el terreno y la cadena se desplaza hacia adelante. La supervisión informática aumenta con frecuencia la eficacia de la lubricación al reducir al mínimo el exceso de lubricante en cualquier punto, y hay que tener en cuenta además que los lubricantes son productos caros. Con tubos empujados con gatos o microtúneles de diámetros menores, a menudo casi superficiales, ésta puede ser una ventaja importante ya que reduce mucho el buzamiento de la superficie o la fuga de lubricante a través de grietas hacia la superficie.

En muchos proyectos, el empleo de técnicas y materiales de lubricación adecuados puede generar una notable disminución de las cargas de empuje con gatos y de los problemas de estabilidad del terreno. También puede facilitar la utilización de estructuras de empuje con gatos más pequeñas, disminuyendo así el tamaño del foso de conducción y contribuyendo a reducir el coste global del proyecto. El empleo de técnicas de instalación y lubricación modernas permite instalar hasta 1000 metros de canalización de una sola vez.

I.4.11 Estaciones intermedias de empuje mediante gatos

Cuando la lubricación de un tubo no sea suficiente por sí misma para completar de manera satisfactoria la operación de empuje mediante gatos (por ejemplo, si la longitud de las cadenas de tubos es tal que su resistencia al movimiento excede de la capacidad de una estructura de empuje de tamaño práctico, o cuando resulte difícil superar las fuerzas de fricción o factores relativos al movimiento del terreno), debería considerarse otra opción antes de reducir la longitud planificada de una instalación de tubos: esta opción es la estación "intermedia de empuje mediante gatos".

La estación intermedia es un anillo de gatos hidráulicos dentro de una estructura de acero que se inserta en la cadena de tubos en puntos estratégicos. La estación intermedia divide la cadena en tramos más manejables. Cada tramo, ya sea entre una estructura de empuje mediante gatos y una estación intermedia, una estación intermedia y otra estación intermedia o una estación intermedia y la máquina escudo, se puede hacer avanzar individualmente y con independencia del resto de la cadena de tubos. Esto equivale a desarrollar varios procesos de empuje de tubos de alcance menor al mismo tiempo y en un mismo barreno, utilizando cada estación intermedia el tramo de tubo que está detrás de ella como muro de empuje. El empleo de estaciones intermedias de empuje mediante gatos reduce la posibilidad de rotura de los tubos, ya que la fuerza máxima aplicada en cada "subcadena" depende del número de secciones del tubo más el factor de fricción en ese tramo. Cada estación intermedia es controlada de manera independiente desde la estación del operador.

I.4.12 Cargas de empuje mediante gatos

La buena ejecución de un proyecto de microtunelamiento depende de la selección apropiada del método, la pericia de una mano de obra capacitada convenientemente y la reducción de los imprevistos haciendo una evaluación y una programación del proceso. La capacidad de predecir las cargas del empuje mediante gatos con un grado aceptable de precisión puede reducir notablemente el número de problemas no esperados.

Las cargas que ha de vencer el empuje mediante gatos son las fuerzas debidas a la fricción entre la superficie externa de los tubos y el terreno (fricción superficial) y la presión frontal que actúa en la cabeza de corte.

Las cargas de empuje afectan a algunos elementos básicos del proceso de microtunelamiento: la resistencia del tubo que se está introduciendo en el terreno mediante gatos, la posibilidad de emplear este sistema, la capacidad del muro de presión del foso de soportar la fuerza de empuje y la longitud del tubo que se va a instalar con un solo empuje.

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Transmisiones de señales radiofónicas, de televisión y de otras señales multimedios
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Y	Infraestructura mundial de la información y aspectos protocolo Internet
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación