

## La selección del método constructivo en hincas. Comparación con los túneles de dovelas de mediano diámetro



**Juan José Hoyo Rodríguez**  
Ingeniero Geólogo.  
Europea de Hincas Teledirigidas



**Manuel G. Romana**  
Profesor Doctor Ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos.  
ETSI Caminos, Canales y Puertos

### Resumen

El siguiente artículo resume un trabajo en el que se ofrecen unas nuevas y actualizadas recomendaciones del proceso constructivo en hincas, basándose en dos pilares: teórico y práctico. Este último ha sido fundamentado en una amplia base de datos de obras. El estudio completo está publicado en el Volumen 22 de Ingeo Túneles 2015. Además, se estudia el solape, comparación y viabilidad de esta técnica frente a los túneles de dovelas de mediano diámetro. De este modo, se muestra una práctica visión sobre las posibilidades de ejecutar un túnel entre 1,20 a 3,50m de diámetro.

### Palabras clave

Microtúnelización, microtuneladoras, hidroescudos, hinca de tubos, tecnología sin zanja

### Abstract

The following paper summarizes a study which provides new and updated recommendations for pipe jacking construction process based both theoretical and practical aspects. The latter was done with an extensive database of real existing projects. A part of this study is published in IngeoTúneles 2015, Volume 22. Moreover, it has been studied how several technically feasible solutions may overlap, by comparing them and considering the feasibility of using segmental concrete lining tunnels. Thus, it provides a practical approach about the possibilities for the tunnels construction with diameters from 1,20 to 3,50 m.

### Keywords

Microtunneling, MTBM, hydroshield, pipe jacking, trenchless technology

### 1. La tecnología sin zanja. Introducción

El uso de máquinas de tamaño reducido para la instalación de servicios en túneles de diámetro limitado, está al alza desde hace algunas décadas. Se ha llamado a este conjunto de técnicas “tecnologías sin zanja”, ya que permiten eliminar las molestísimas zanjas en las ciudades. Además, estas técnicas sirven para llevar los servicios a profundidades mayores, o a poder sortear y evitar otros servicios ya existentes.

¿Cómo han cambiado en los últimos años? De muchas maneras, ya que se emplean otros lubricantes y técnicas más ajustadas. El cambio más apreciable es la generalización de tuneladoras de tamaño muy reducido, o microtuneladoras, que, empleando tecnología desarrollada para tuneladoras “convencionales” (con diámetros de entre 7 y 16m), se ha implementado para poder perforar rocas duras y materiales que son mezcla de suelos y rocas.

Existen exhaustivos estudios sobre la lubricación de las hincas, predicciones de asentamientos, comportamiento de los tubos... pero un campo imprescindible, concerniente a la selección de la máquina a emplear, y en general al método constructivo de la hinca, aún tiene mucho camino por recorrer.

Sin duda, es inevitable inclinarse hacia una preselección del escudo para la hinca equiparándolo a criterios empleados en túneles de gran diámetro, pero esto no es correcto, ya que existen diferencias en estas técnicas respecto de túneles de diámetros mayores.

El objetivo de este trabajo ha sido realizar una guía en la selección del método constructivo para hincas de diámetros comprendidos entre 1 a 3 metros aproximadamente, según la naturaleza y las condiciones del terreno a perforar. Estos no son los únicos factores a considerar en la selección del método constructivo, pero sí son los factores más importantes.



## 2. Túneles de pequeño a mediano diámetro con escudos de perforación

### 2.1. Introducción y ciclo de trabajo

En estos últimos diez años, con el gran número de hincas realizadas en todo el mundo, la tecnología de los escudos para hincas ha sufrido un gran avance, sobre todo decantando a favor de las máquinas tipo hidroescudos. Algunas empresas lo asemejan al escudo universal, pero debido a esta tendencia, se han ejecutado gran cantidad de obras en las que han ocurrido numerosos y diversos problemas de diferente índole, además de verse encarecidas por no optar por otro tipo de máquina.

Por consiguiente, cada escudo, cerrado, abierto, mecanizado o semimecanizado, tiene su sitio según el terreno, longitud, diámetro, y diversos condicionantes que se verán más adelante.

Un microtúnel es un túnel de pequeño diámetro, menor a tres o tres metros y medio sin restricciones en la longitud, con posibilidad o no de acceso, perforados con medios mecanizados o semimecanizados, con guiado y seguimiento teledirigido desde superficie.

Este método constructivo consigue la instalación simultánea con la propia perforación de una estructura lineal y continua a base de tubos conectados con una mínima afección al terreno.

Los diámetros de los tubos instalados son muy variables, comprendidos habitualmente entre 150 y 3.000 mm, y de longitud limitada a 3.000 mm; dependiendo de la propia finalidad de la línea de instalación y del método de construcción elegido.

Las aplicaciones más comunes son el abastecimiento de agua y saneamiento, emisarios submarinos, drenaje y evacuación y para conducciones de todo tipo de servicios.

Las ventajas de la tecnología sin zanja respecto a la construcción en zanja son diversas:

- Mínima o inexistente perturbación tanto del tráfico como para peatones
- Mínima o nula interrupción o afección de servicios y estructuras cercanas

- Mayor seguridad laboral
- Capacidad para trabajar bajo nivel freático
- Menor impacto ambiental por el menor volumen de desescombro, contaminación atmosférica y afección a acuíferos superficiales.

Las técnicas de construcción de túneles de pequeño a mediano diámetro basadas en la excavación con escudos de perforación, tienen distintas modalidades según el escudo:



Gráfico 1. Esquema de escudos de perforación

Ciclo de trabajo de una hinka de tuberías:

- 1º) Los cilindros de empuje principales en el pozo de ataque empujan la sección de tubería instalada en el bastidor de empuje haciendo avanzar mientras el escudo perfora el frente.
- 2º) Los cilindros de empuje se retraen.
- 3º) Se desconectan todos los cables y conducciones de la tubería empujada.
- 4º) Se desciende por el pozo el nuevo tramo de tubería y se coloca en el bastidor.
- 5º) Se conectan y alargan de nuevo las conexiones, servicios y circuitos.



6º) Se vuelve a empujar mientras se perfora iniciando un nuevo ciclo.

## 2.2. Componentes del sistema

### Pozo de ataque

Su longitud, anchura y profundidad es función de las dimensiones de la máquina perforadora, tubería a instalar y profundidad del trazado, principalmente.

En el pozo de ataque es donde se hacen las labores de descenso y colocación de tubos y subida y bajada de la vagoneta que trae material excavado del frente, (en caso de desescombrado vía seca). Además, alberga el bastidor de empuje y en el extremo opuesto la junta o situación de entrada. Necesita un muro de reacción sobre el cual presiona el bastidor.

En perforaciones con microtuneladoras, la situación de arranque se inicia en la boca de entrada del túnel, donde se instala una junta de entrada, la cual asegura la correcta alineación y guiado del empuje, así como la estanqueidad en trabajos bajo nivel freático.

Además de la junta de entrada, el sello de reserva se coloca para que en caso de emergencia, se llene de agua aplicando una presión de cierre.

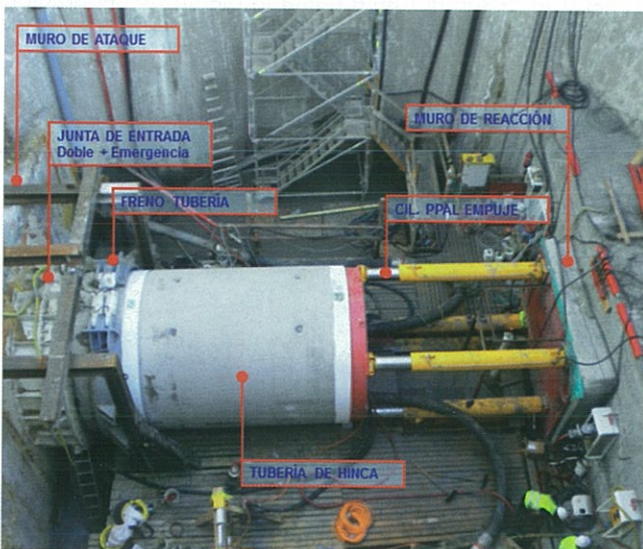


Foto 1. Vista del pozo de ataque. Fuente: Eurohinca



Fotografía 2. Equipo de empuje. Fuente: Conducciones y Vías

Para trabajos bajo nivel freático y diámetros grandes, suele ser conveniente instalar un freno de tubería, el cual impide que la tubería se retraiga durante la operación de cambio de tubo.

### Estación de empuje principal y estaciones intermedias

La estación hidráulica de empuje, que se ubica en superficie cerca o dentro de la estación de control, está compuesta por un equipo hidráulico que provee la potencia necesaria a los cilindros de empuje.

A un lado de los cilindros se encuentra la placa de apoyo que distribuye de manera uniforme los esfuerzos sobre el muro de reacción. Por el otro extremo se coloca el anillo de empuje o de reparto, que es el encargado de la transmisión homogénea de la presión horizontal sobre la tubería. Por último, el bastidor es la pieza por donde el anillo de empuje se desliza.

Las estaciones intermedias de empuje, permiten no sobrepasar el esfuerzo de empuje máximo permitido. De esta forma, una misma hincas puede ser más larga evitando la construcción de pozos intermedios.

De manera general, se instalan como una sección más de tubería cada 100-150m. Está formada por una camisa de acero con 16 a 20 cilindros repartidos en su periferia. La fuerza del equipo de empuje se transmite solo hasta la primera estación, de forma que ésta se retrae y empuja el siguiente tramo de tuberías.



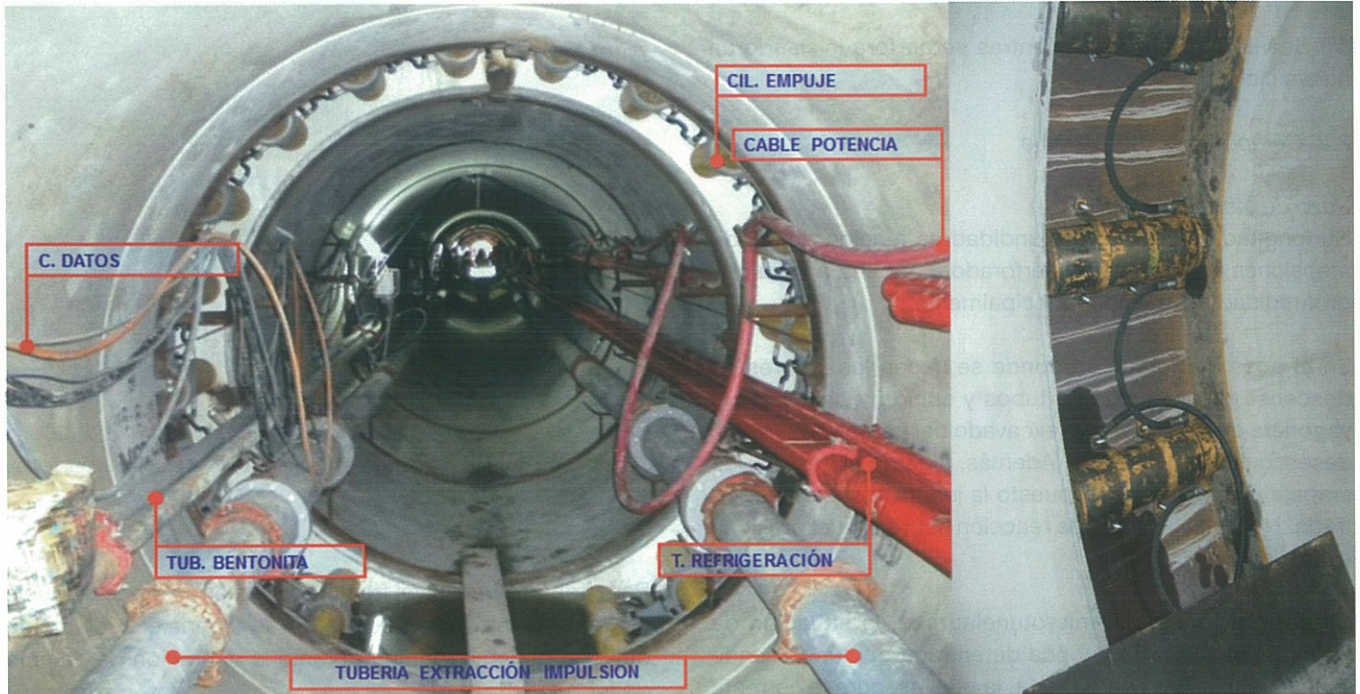


Foto 3. Vista interior del túnel-estación intermedia. Fuente: Eurohinca

Foto 4. Cilindros de una estación intermedia. Fuente: Conducciones y Vías

Las juntas de los tubos son los elementos que configuran la resistencia admisible del tubo, limitan los esfuerzos, rigidez y deflexión.

Los *packers* o sufrideras deben resistir las cargas/descargas y evitan el contacto directo entre tubos produciendo astillamiento o fracturas.

**Sistema de lodos**

El sistema de lodos tiene dos funciones:

- Lubricación: Encargado de minorar el rozamiento tubería-terreno que se produce durante la instalación. Los lodos se inyectan a presión a través del gap o espacio anular.

- Presión en frente y desescombrado: En los hidroescudos mantiene la presión en el frente y se encarga del transporte del detritus por el circuito o ductos para los lodos.

**Sistema de extracción del detritus**

Vía seca: el material excavado del frente se transporta por cinta desde la cabeza de corte hasta una vagoneta. Esta vagoneta recorre con ayuda de la acción de un cabestrante

la distancia hasta el pozo de ataque donde es izada a superficie y vaciada.

Vía húmeda (microhidroescudos): el material excavado se transporta desde el frente hasta la planta de separación como indica el siguiente esquema:



Foto 5. Cinta vertiendo en la vagoneta.

Fuente: Conducciones y Vías



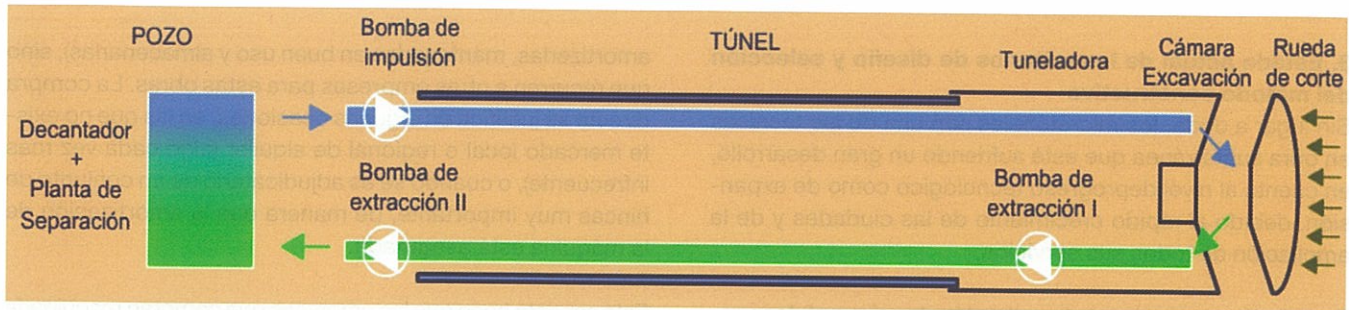


Gráfico2. Esquema del circuito de lodos en un hidroescudo. Fuente: Eurohinca

### Equipo de guiado

El sistema se basa en un rayo láser emitido desde un teodolito que se encuentra ubicado en el pozo de ataque. El rayo viaja por el interior libre de la tubería, a una distancia de un máximo de aproximadamente 400 m, según la intensidad del láser, curvatura, condiciones atmosféricas y la porción de refracción.

Según la longitud y la curvatura de la perforación se emplean varios tipos de sistemas de guiado:

- Sistema electrónico láser: trazados rectos de un máximo de ~400m.
- Sistema hidrostático de nivelación: trazados rectos y distancias mayores de 400 m.
- Sistema giroscópico: trazados curvos.

### Instalaciones en superficie

- Contenedor de mando: Donde se examina el sistema de guiado, posicionamiento y parámetros de perforación.
- Estación hidráulica de empuje: Suele estar instalada en la contenedor de mando y suministra el empuje hidráulico a los cilindros del equipo de empuje y al acoplamiento al suministro para las estaciones intermedias.
- Elementos del circuito de lodos bentoníticos.
- Acopio de tuberías y estaciones intermedias.
- Sistema de elevación y colocación (grúa o pórtico-grúa).
- Grupos electrógenos para el suministro de energía eléctrica.

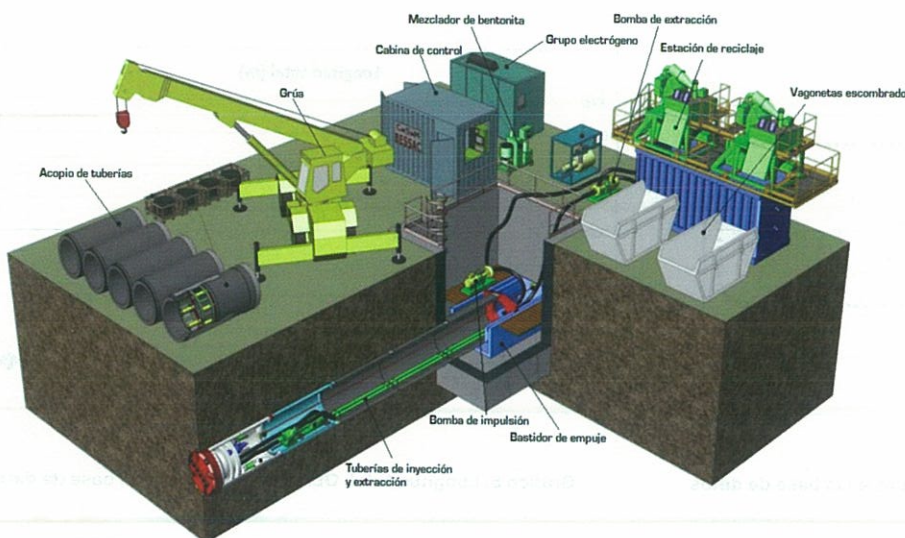


Gráfico 3. Esquema típico de obra.  
Fuente: Maldonado, (2010)



### 3. Estado actual de los criterios de diseño y selección del método constructivo

Sin lugar a duda, los microtúneles son una de las técnicas en obra subterránea que está sufriendo un gran desarrollo, en cuanto al nivel de progreso tecnológico como de expansión, debido al rápido crecimiento de las ciudades y de la ampliación de todos sus servicios.

En definitiva, la técnica de los microtúneles sigue al desarrollo de la sociedad haciéndolo posible de una manera sostenible, teniendo este tipo de obra un impacto mínimo sobre el medio ambiente respecto a la construcción en zanja.

A pesar de los numerosos y rápidos avances de esta tecnología, los estudios o investigaciones no han seguido el mismo ritmo, por lo que la técnica carece en gran parte de una “teoría” a la que acudir para realizar un proyecto acorde con la finalidad de la instalación y de las condiciones adjuntas, tanto económicas como técnicas.

En ocasiones, se puede pensar en la extrapolación de sistemas que se emplean en túneles de gran diámetro para el uso en microtúneles, pero la probabilidad de error puede ser elevada, ya que el factor escala juega un papel fundamental que condiciona la construcción.

Un aspecto muy importante de las hincas es que cada vez es más usual que exista una empresa que ofrece las máquinas que las llevan a cabo. Así, no es tan frecuente que las empresas constructoras compren máquinas (lo que les obliga a

amortizarlas, mantenerlas en buen uso y almacenarlas), sino que recurren a otras empresas para estas obras. La compra directa se justifica en algunas ocasiones, en las que no existe mercado local o regional de alquiler (algo cada vez más infrecuente), o cuando se es adjudicatario de un conjunto de hincas muy importante, de manera que la amortización de la máquina está asegurada.

Este aspecto hace que las empresas que compran maquinaria se inclinen por máquinas versátiles, de gran rendimiento, para poder acceder a casi cualquier tipo de obra que salga al mercado. Por tanto, no se trata entonces de adquirir la máquina más indicada en cada caso concreto, la más ajustada en prestaciones y precio, sino una “máquina universal” que permita ser competitivo en gran cantidad de terrenos y escenarios.

Este trabajo muestra cómo existe una clara dominancia de las obras realizadas con máquinas tipo microhidroescudos. Se podría decir que más de un 75 % de las hincas se hacen mediante estos equipos, fundamentalmente debido a la versatilidad de estas máquinas, ya que permiten una mayor “adaptación” del sistema de excavación en terrenos que no son los propiamente adecuados para este equipo.

### 4. Presentación de la base de datos. Fundamento del estudio

Con el fin de establecer unas recomendaciones de manera práctica y objetiva, es decir, cercana a la construcción real de estas obras, este trabajo se ha fundamentado en una base de datos que recoge la información detallada de 56 obras.

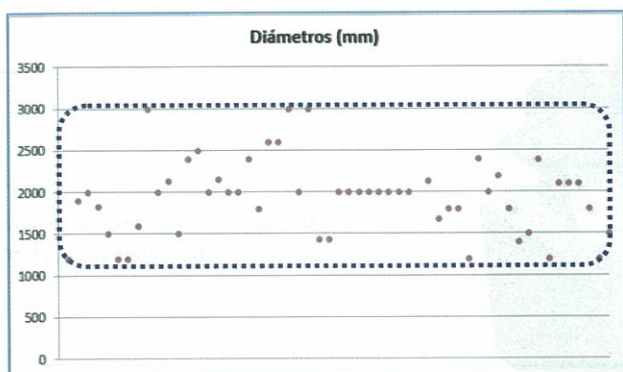


Gráfico 4. Diámetros ID. Obras recopiladas en la base de datos

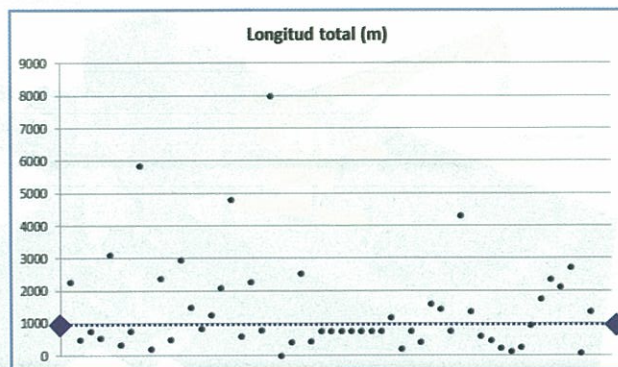


Gráfico 5. Longitud total. Obras recopiladas en la base de datos



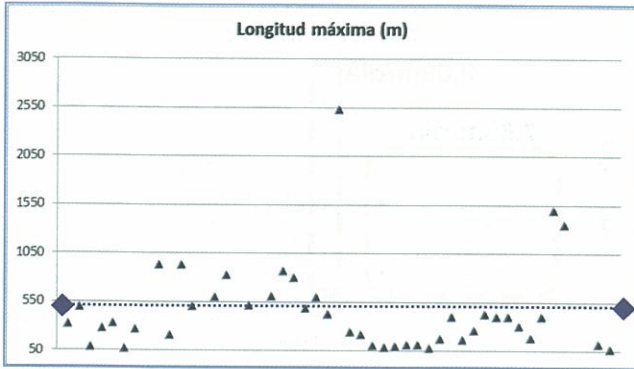


Gráfico 6. Longitud máxima entre pozos

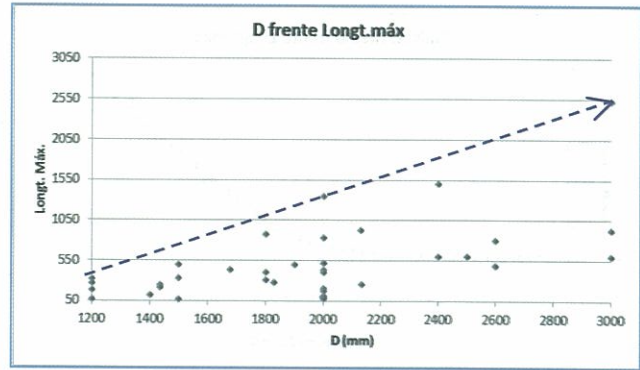


Gráfico 7. Diámetro frente a longitud máxima

En toda hincas se trata que la longitud máxima o la distancia entre pozos sea la mayor posible. Las hincas para emisarios submarinos normalmente son las que engloban las mayores longitudes, como los tres valores punta del siguiente gráfico. Excluyendo estas hincas extraordinariamente largas, la mayoría son menores a 500 m.

Esta longitud máxima entre pozos es función de varios factores:

- Diámetro.
- Tipo de tubo y juntas que condicionan el empuje máximo admisible.
- Terreno: naturaleza, fuerzas de fricción, presencia y presión de agua.
- Lubricación.
- Caídas hidráulicas y de tensión.
- Rendimientos a grandes longitudes: empleo de numerosas EI.

A continuación, se muestra el gráfico que representa el diámetro (ID) frente a longitud máxima. Se observa una clara tendencia a mayores longitudes cuanto mayor es el diámetro.

Las principales causas son las siguientes:

- Prohibición de acceso y por ende, de cambio de cortadores: para túneles menores a 1.200 mm.

- Pérdidas de carga hidráulica: colocación de un grupo hidráulico en el tubo de trabajo en túneles a partir de 1.200 mm.
- Caídas de tensión: Instalación de un transformador *step-down* que modula el alto voltaje lanzado desde superficie al necesario por la centralita. Para túneles a partir de 2.000 mm.

En cuanto a la longitud total de la obra, el gráfico muestra que se realizan obras de longitudes menores en diámetros más pequeños, y más largas para diámetros más grandes (relacionado con el análisis anterior). Causas:

- Inversión de un equipo más grande y necesidad de rentabilizarlo en obras mayores.
- Diámetros por encima de 2000mm están relacionados con conducciones más largas.

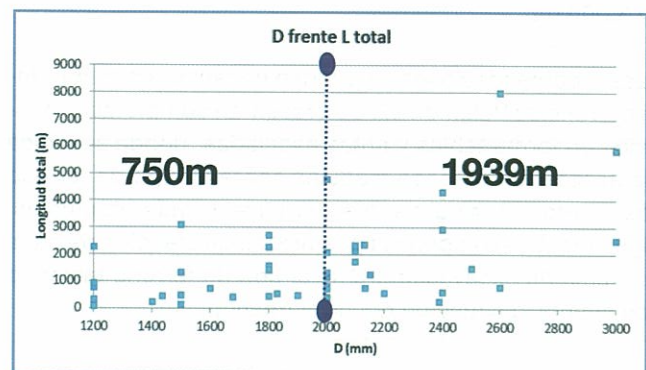


Gráfico 8. Diámetro frente a longitud total

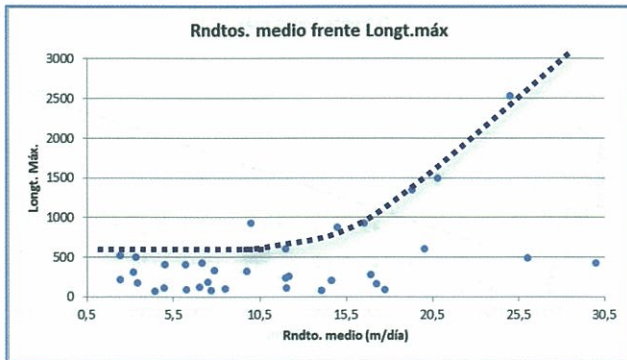


Gráfico 9. Rendimiento medio frente longitud máxima

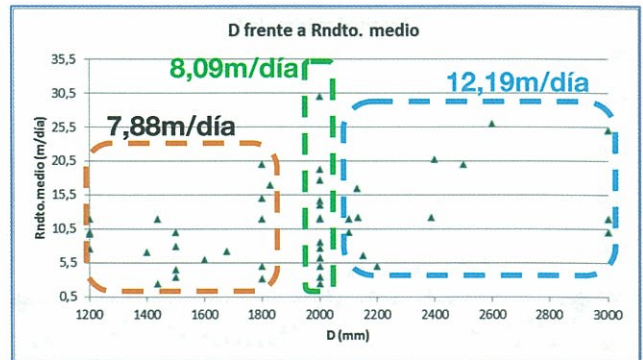


Gráfico 10. Diámetro frente rendimiento medio

Otra representación gráfica que conviene discutir son los rendimientos frente a la longitud entre pozos, el cual sigue la misma tendencia ascendente que el gráfico de diámetro frente a rendimiento. Los motivos son los siguientes:

- A partir de longitudes de hincas alrededor del kilómetro, se considera un proyecto de cierta magnitud donde la planificación es mucho mayor y más precisa, lo que implica:
  - Mayor grado de planificación y especificidad del proyecto
  - Estudio de lubricación detallado

### 5. Nuevas recomendaciones en la selección del método constructivo

Como fruto del trabajo, se han propuesto unas nuevas recomendaciones en la selección del método constructivo para hincas de diámetros comprendidos entre 1.200 y 3.000 m.

Las recomendaciones se pueden consultar en el libro Ingeo Túneles Volumen 22. Se presentan completas y resumen en forma tablas y notas asociadas, donde se indica la aceptación de cada máquina sobre un tipo de terreno así como los tratamientos del terreno más habituales. Igualmente, se expone la posibilidad de elección de cada sistema de excavación frente al tipo de terreno teniendo en cuenta la situación del nivel freático.

Por último y aunque los rendimientos máquina/terreno no pueden generalizarse, se añade un estudio exhaustivo de rendimientos los hidroescudo según la naturaleza del terreno.

### 6. Dovelas e hincas. Contrastes, solapes y viabilidad entre ambas técnicas

Para túneles que precisan de un diámetro más amplio, la ejecución mediante la tecnología del pipe jacking se ve solapada por la construcción de los túneles revestidos de anillos de dovelas.

La diferencia fundamental entre el sistema constructivo mediante la hinca de tubos y el de dovelas es el modo de avance, aparte del tipo de sostenimiento. En la hinca el empuje horizontal se realiza desde una estación de empuje o bastidor ubicada en el pozo de ataque.

Por otro lado, los escudos en túneles de dovelas realizan el empuje desde la cabeza, es decir, los gatos de empuje de la máquina se apoyan en el último anillo de dovela instalado. Una vez realizado el avance de la perforación, comienza la instalación del anillo de dovelas.

De esta forma, los equipos utilizados en túneles de dovelas no necesitan estaciones intermedias cuando sobrepasan ciertas longitudes, y esto repercute en varios aspectos:

- Rendimientos:
  - La puesta en funcionamiento de una estación intermedia en una hinca hace disminuir los rendimientos, ya que añade una etapa secuencial más al empuje horizontal desde el pozo de ataque.
  - En los escudos de dovelas se debe tener en cuenta el tiempo que se invierte en la colocación del anillo de dovelas, mientras que en las hincas, el tubo completo es instalado directa y definitivamente conforme se empuja y se excava.





Foto 6. Cilindros de empuje apoyados sobre dovelas. Fuente: Tunneltalk.com

Foto 7. Equipo de empuje en el pozo de ataque. Fuente: Eurohinca

- Longitud total: Como en los túneles de dovelas el empuje se hace desde el escudo, en grandes longitudes y sobre el mismo terreno, en teoría el rendimiento sigue siendo el mismo. Por otro lado, debido al descenso progresivo y abrupto del rendimiento cada vez que se coloca una estación intermedia en una hinca, este factor hace “acortar” la longitud máxima de las hincas.

El problema con el que nos podemos encontrar a la hora de plantear un túnel que se ubique en el intervalo de diámetro 2.500-3.500 mm, es la elección entre los dos sistemas constructivos, similares pero a su vez con diferencias importantes a la hora de la planificación y la ejecución.

El empleo de anillos de dovelas por debajo y cercano a los 2.500 mm es muy inusual debido a:

- El transporte del escombros o de las dovelas al frente se realiza mediante trenes que ocupan un importante espacio en todo el túnel.
- Los túneles de dovelas suelen tener longitudes mucho mayores; por lo que las exigencias de caudal de ventilación son mayores, precisando de un ducto de ventilación de mayor radio que ocupa más espacio en el túnel.
- El montaje manual del anillo de dovelas en un túnel de reducido espacio para trabajos manuales es mucho más inseguro.

- En túneles hidráulicos que precisan de un alto grado de estanqueidad, el empleo de tubos domina sobre la dovela, ya que el tubo es un cuerpo mucho más estanco, homogéneo, con superficie lisa y sin juntas internas.

- La fabricación de anillos de dovelas de diámetros pequeños es mucho más cara que los tubos, además son más fáciles de transportar. No sin embargo cuando el diámetro se acerca a los 3 m, donde el transporte y la manipulación de un tubo de una longitud de 2,4 m con un peso cercano a 20 toneladas es realmente dificultosa.

Si observamos el siguiente gráfico, podemos diferenciar varios dominios:

- A. Entre diámetros de 2.000 y 2.500mm, las hincas es la técnica predominante.
- B. Entre 2.500-3.000, las dovelas suelen ser la mejor solución.
- C. Entre 3.000 y 3.500, donde las dovelas tienen una supremacía total.

Hemos hablado de los márgenes superiores de las hincas y el solape de las dovelas pero, ¿qué ocurre en la frontera inferior? Solo como mención a las otras tecnologías sin zanja, se muestran dos diagramas representando los límites superiores de cada técnica para otras conducciones o instalaciones de menor magnitud.



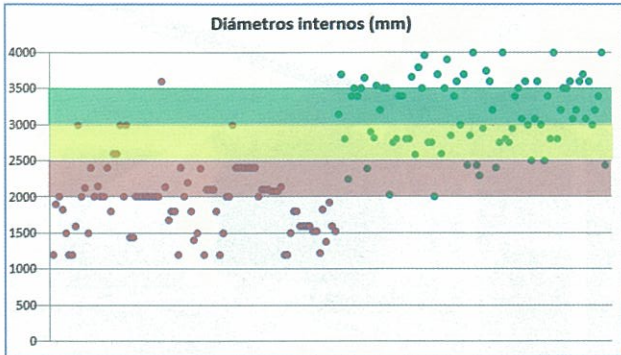


Gráfico 11. Solape de ID entre hincas (rojo) y dovelas (verde)

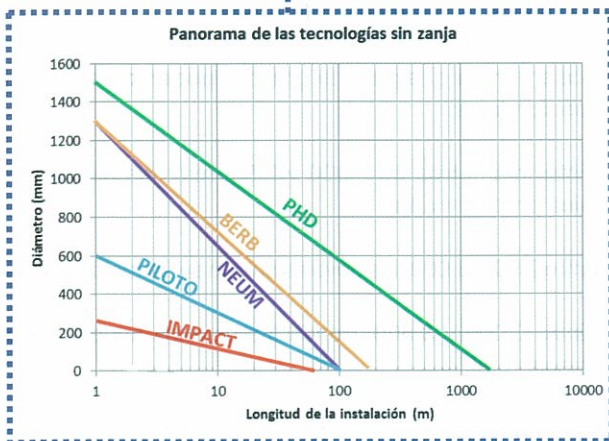
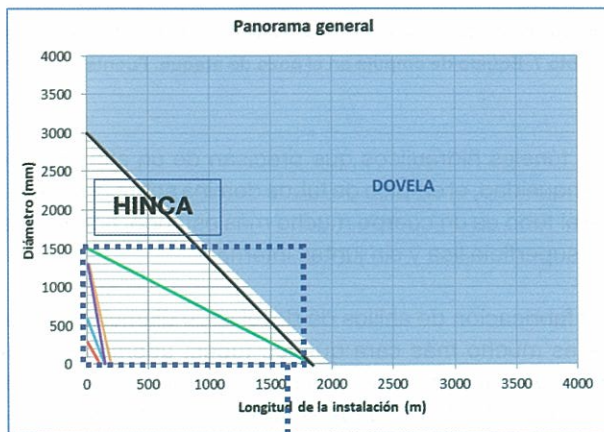


Gráfico 12. Panorama de las tecnologías sin zanja

Respecto al empleo de unas máquinas u otras en hincas y en túneles de dovelas, veremos dos predominancias distintas. En este estudio, la base de datos de hincas recoge un 82 % de túneles perforados por máquinas tipo hidroescudos, mientras que para dovelas, el 58 % fue perforado por EPB, el 23 % por tuneladoras para rocas y el 18 % por máquinas de lodos. Sin embargo, solo el 14 % y el 2 % de las hincas fueron ejecutadas mediante EPB y máquinas de roca respectivamente.

En túneles mayores a unos 2,5-2,7 m, el transporte de dovelas y escombro por trenes o vagonetas a través del túnel es factible. Además, a partir de 2,7-2,8 m, se puede instalar el sistema de desescombrado por cinta transportadora (Clemente, 2014). Estos factores añaden peso a la decisión a favor de la máquina EPB, que es un equipo más económico que el hidroescudo, no solo por el escudo, sino por todo el sistema de tuberías de circulación de lodos, estaciones y reciclaje...aunque en casos donde la presión es importante, la perforación mediante una EPB por encima de los 3bar o como mucho 4,5bar se hace imposible por problemas de estanqueidad y el sistema de transporte del detritus (Palacios, 2014).

La longitud total de los túneles de dovelas suele ser mucho mayor que la de hincas como refleja el siguiente gráfico. Esto es debido a la necesidad de la superficie de obra de túneles de dovelas de diámetros medianos entre otros factores, estos túneles se proyectan para longitudes de al menos un kilómetro o kilómetro y medio.

Estas largas distancias son inherentes a la funcionalidad de estas perforaciones que suelen ser túneles de trasvases, grandes colectores o interceptores. Además, un túnel de dovelas perforado con una tuneladora con acabado interno de 2.000-2.500 m, suele ser rentable para longitudes al menos de 1.000 m, donde el montaje más la curva de aprendizaje puede ser de unos dos meses.

Sin embargo, las hincas, pueden resolver el problema de espacio en áreas pobladas o conducciones cortas, con pequeños pozos y tuneladoras mucho más reducidas con iguales o mejores rendimientos y costes.

En relación con la longitud máxima, que hemos llamado a la distancia entre pozos, los túneles de dovelas cuentan con longitudes mucho mayores que las hincas debido a factores ineludibles en estas obras que se describen a continuación.



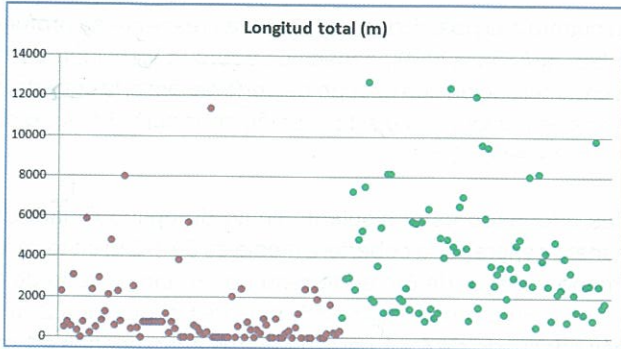


Gráfico 13. Distribución de longitudes totales para las obras de hincas (rojo) y dovelas (verde)

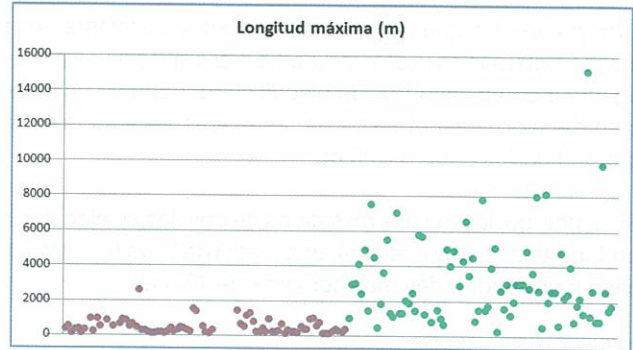


Gráfico 14. Distribución de longitudes máximas para las obras de hincas (rojo) y dovelas (verde)

• Diámetro:

- Dificultad y probabilidad de errores de trabajos que se realizan en el interior de túneles < 1.800 mm.

- Diámetros mayores, con máquinas más grandes, necesitan pozos de grandes medidas, lo que se intenta evitar a toda costa desarrollando hincas más largas.

• Tipo de tubo y juntas que condicionan el empuje máximo admisible en las hincas.

• Terreno: fuerzas de fricción, presencia y presión de agua.

• Lubricación adecuada de toda la línea de tubos.

• Caídas hidráulicas: Colocación de un grupo hidráulico en el tubo de trabajo.

• Caídas de tensión: Instalación de un transformador.

• Rendimientos a grandes longitudes: empleo de numerosas estaciones intermedias.

Unido a todo lo anterior, se presentan dos gráficos que reflejan una clara tendencia de mayores longitudes conforme aumenta el diámetro interior. Este comportamiento se observa tanto en dovelas como hincas. Mientras en el gráfico representadas las hincas existe un crecimiento lineal de los máximos de longitudes, en dovelas además aparece una nueva línea de máximos absolutos.

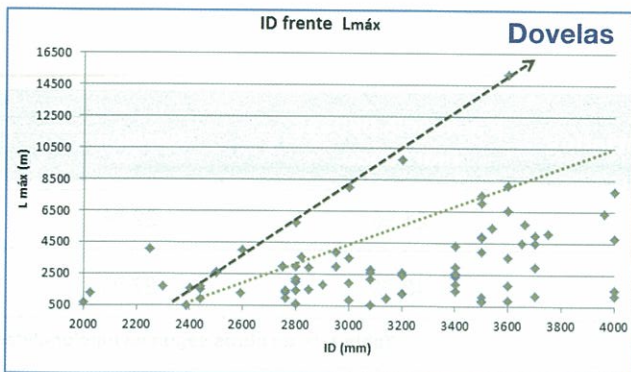


Gráfico 15. Diámetro frente a longitud máxima en túneles de dovelas

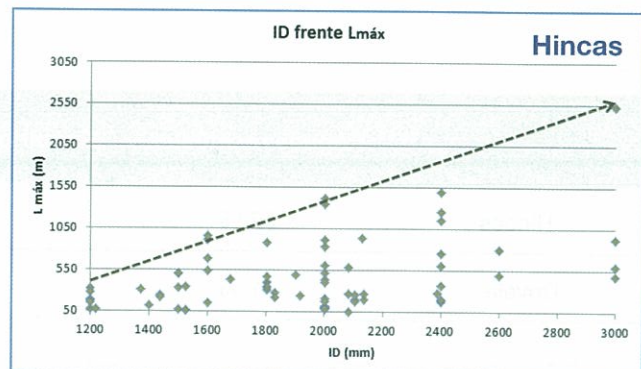


Gráfico 16. Diámetro frente a longitud máxima en hincas



Otro parámetro que requiere de análisis y contraste entre ambos sistemas es la profundidad. En el gráfico 17 se puede observar como las obras de hincas se recogen en un límite bien definido, casi el 70 % de las hincas se engloban en profundidades entre 6 y 20 m.

Sin embargo, los túneles revestidos de dovelas se ejecutan a profundidades muy distintas, una media de 75 m y en ningún caso a profundidades más someras de 10,5 m.

Esto se debe a varios motivos:

- Rigidez: El tubo puede sufrir agrietamientos en la clave y problemas de estanqueidad en las juntas entre tubos a grandes profundidades. El anillo de dovelas es una estructura articulada que puede soportar más cargas.
- Control de asentos y recubrimiento mínimo: en el caso de la hinca, el sobrecorte con respecto a la tubería suele ser menor que el de dovelas además de rellenarse antes. Esto puede ser crucial en ambientes urbanos con un asiento admisible muy escaso.
- Diámetro y funcionalidad: Las hincas normalmente se emplean para redes de alcantarillado, saneamiento o servicios urbanos que discurren de manera muy somera. Los túneles de dovelas suelen tener un diámetro mayor, lo que requiere de un mayor recubrimiento competente. Además, suelen destinarse para grandes colectores, trasvases o bypass que se ejecutan con mayores profundidades.

En cuanto a la posibilidad de las hincas respecto su profundidad, la ASTT, (2009), especifica sobre la viabilidad de la microtunelización con escudo de perforación: si la cobertera media es mayor a 6m o si la relación cobertera/diámetro de la tubería es de 3 a 1.

Más adecuado es el siguiente límite de aplicabilidad: de manera general, si la cobertera media es de 4-5 m en terreno urbano y mayor de 6m en terreno no urbano. El ratio de 3 a 1 es correcto para diámetros mayores o iguales a 2 m y más adecuado de 4 a 1 para diámetros aproximados a 1 m.

En las obras de hincas estudiadas en este proyecto, con un total de 45 casos, el 66 % se encuentran en profundidades que oscilan entre los 5 y los 15 metros, con tan solo un 9 % de los casos en profundidades menores a 5, y el restante 25 % por encima de los 15 m.

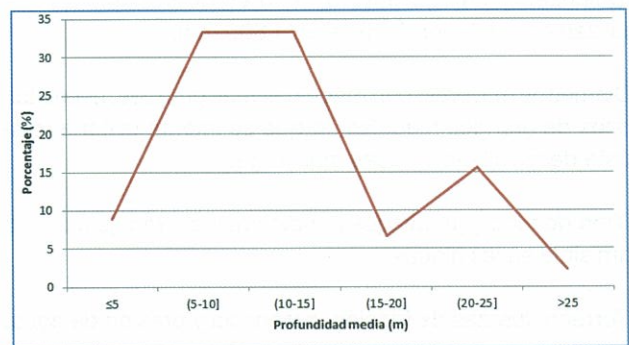


Gráfico 17. Porcentaje de hincas respecto a la profundidad de un total de 45 obras

	Aguas residuales	Emisarios Inmisarios	Trasvases, bypass hidráulico	Servicios
Hincas	52 %	5 %	21 %	22 %
Dovelas	21 %	10 %	43 %	27 %

Tabla 1. % de obras según su funcionalidad



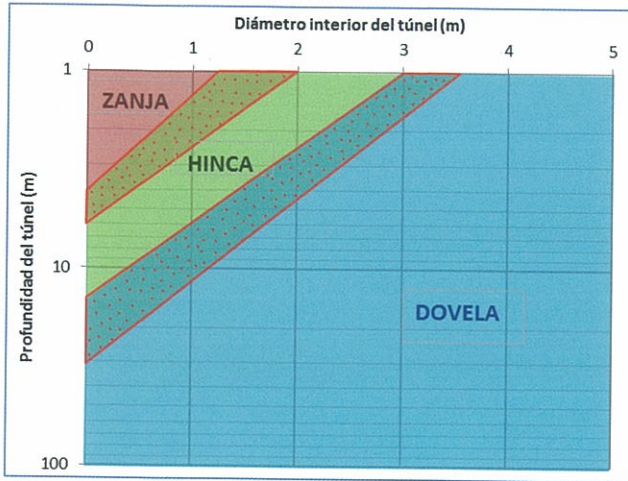


Gráfico 18. Preselección del sistema constructivo según la profundidad y el diámetro del túnel

Como síntesis de lo anterior y de manera genérica, se propone a continuación el gráfico 18 de dominios según el diámetro interior del túnel y la profundidad.

Zonas de solape		
	Profundidades (m)	Diámetros (mm)
Zanja-Hinca	4-5 (urbano)	1.200-2.000
	~6 (no urbano)	
Hinca-Dovela	10,5-30	3.000-3.500

Observando la siguiente gráfica sobre la superficie de obra, para los túneles revestidos con dovelas, la superficie necesaria es aproximadamente de 2.500 m<sup>2</sup> (Mendaña Saavedra, 2013), por lo que la técnica se hace económicamente inviable para longitudes inferiores a 1.000-1.500 m. De lo contrario, para túneles por debajo de los 3 m y hasta 1,2 m de diámetro, las superficies pueden verse reducidas hasta 500 m<sup>2</sup>.



Tipo de TBM	EPB, Hidroescudo
Ø interno	2,5-3,0 m ≤ Ø ≤ 4,0 m
Anillos de dovelas (H.A.)	0,75 m ≤ l ≤ 1,20 m 0,15 m ≤ e ≤ 0,25 m
Superficie de obra	S ≈ 2.500 m <sup>2</sup>



Tipo de microtuneladora	Hidroescudo (EPB y escudos abiertos)
Ø interno	1,2 m ≤ Ø ≤ 3,0 m
Tubos de hormigón armado	1,50 ≤ l ≤ 3,00 m (2,4 habitual)
Superficie de obra	S ≈ 500 m <sup>2</sup>

Tabla 2. Construcción integral mecanizada de túneles de diámetro pequeño y mediano



## 7. Comentarios finales

La hincas de tubos o pipe jacking es la herramienta más versátil y potente a la hora de hacer un proyecto de microtúnel. Especial énfasis se ha hecho en las máquinas líderes en microtunelación, los escudos de lodos.

Esta tecnología rivaliza con los túneles de dovelas en un intervalo de diámetros de dos a tres metros, donde cada una aporta unas ventajas e inconvenientes que deben de ser estudiados según el proyecto. **ROP**

### Referencias

- AKKAYA, A. B., COPUR, H. "Performance of a microtunnel boring machine at the similar and different formations". [En línea]. [Consulta: 15 de Agosto de 2013]. Disponible en: <http://www.ctta.org/FileUpload/ita/2009/papers/P-05/P-05-1.pdf>
- AUSTRALASIAN SOCIETY FOR TRENCHLESS TECHNOLOGY (ASTT). (2009). *Guidelines for Horizontal Directional Drilling, Pipe Bursting, Microtunnelling and Pipe Jacking*. s.l.
- AUSTRALASIAN SOCIETY FOR TRENCHLESS TECHNOLOGY (ASTT). (2009). *Specification for Microtunnelling and Pipe Jacking*. s.l.
- CONDUCCIONES Y VÍAS S.L. Hincas de tubería y perforación horizontal. Método de ejecución de hincas de tubería por el procedimiento de escudo abierto con equipo de empuje a presión. s.l.a.
- EUROHINCA "La hincas de tubería mediante tuneladora hidroescudo", s.l.a.
- EUROHINCA "Emisarios Submarinos ejecutados con Tuneladora". Eurohinca. s.l.a.
- HERRENKNECHT *Tunnelling systems*, [en línea], disponible en: <http://www.herrenknecht.com/>
- MALDONADO F.,L., G. "Construcción de microtúneles en Colombia". En: Reunión de concreto 2010. (Cartagena de Indias, Colombia, 22, 23 y 24 de Septiembre de 2010).
- MENAÑA SAAVEDRA, F., "Hincas de gran longitud en rocas duras". En: Jornadas técnicas sobre Túneles de pequeño y mediano diámetro en ambiente urbano, nuevas tecnologías sin zanja. (Madrid 23 de Mayo de 2013).
- PIPE JACKING ASSOCIATION (PJA). 1995. *Guide to best practice for installation of pipe jacks and microtúnel*. PJA.Londres.
- PIPE JACKING ASSOCIATION (PJA). 2007. *An introduction to pipe jacking and microtunnelling design*. PJA. Londres.
- ROBBINS, [en línea], disponible en: <http://www.therobbinscompany.com/>