



TÚNELES Y MICROTÚNELES EN SUELOS URBANOS

Autor: Ing. Raymundo G. González Reyes

1. RESUMEN

En los tiempos actuales donde se tiene una creciente demanda de servicios en las grandes ciudades, los proyectos exigen que se considere el impacto social en las obras de infraestructura, de ahí las ventajas que nos ofrecen las tecnologías sin apertura de zanja. Para la excavación de Túneles y Microtúneles en Suelos Urbanos, el método de excavación a utilizar es de gran importancia considerando siempre la geología en la que se realizará dicha excavación, así como los requisitos técnicos a cumplir y deberá siempre tomarse en cuenta las expectativas sociales.

La conferencia dará una visión general de los métodos de Túnel mecanizado y Microtúneles en Suelos Urbanos, su campo de aplicación y ventajas.

2. INTRODUCCIÓN

Conforme a los cálculos de la ONU, en 2017 la población mundial ha alcanzado los 7,6 mil millones, y en 2030 llegará a 8,6 mil millones; Estas son estimaciones de un nuevo informe de las Naciones Unidas, dado a conocer en Nueva York el 21 de junio 2017. El estudio indica que esta tendencia a la alza, continuará a un ritmo de aproximadamente 83 millones de personas más, cada año.

Según datos de la ONU, en 1950 el 30% de los habitantes de la tierra vivía en ciudades; para el 2015 la cifra llegaba al 54% (3,960 millones de personas); para el 2030 un 60% de la población mundial vivirá en urbes, lo que supondrá 5,060 millones de personas. Según el Banco Mundial, en las próximas cuatro décadas, nueve de cada 10 latinoamericanos vivirá en una ciudad.

Esto implica que cada día nuestras ciudades en todo el mundo crezcan, tanto en número de habitantes como en las necesidades que éstos demandan; es decir que cada día tenemos más zonas Urbanas y necesidad de infraestructura para poder dar servicio a ésta población; Hoy en día, los proyectos exigen que se considere el impacto social en las obras de infraestructura, de ahí las ventajas que nos ofrecen las tecnologías sin apertura de zanja.

Una zanja para instalar cualquier tipo de infraestructura implica: Interrupción al flujo del tráfico vehicular, interrupción a la circulación de los peatones, interrupción a las actividades comerciales cercanas al sitio del trabajo, generación de ruido y polvo, relocalización de instalaciones, afectación en la seguridad pública, entre otras tantas afectaciones.

La tecnología para instalar todo tipo de infraestructuras bajo el suelo, mediante tecnología sin apertura de zanjas ha mejorado exponencialmente en las últimas décadas. Las ventajas que ofrece el “*Túnel y el Microtúnel en Suelos Urbanos*”, son numerosas y abarcan soluciones tanto para obras nuevas, ampliaciones y renovación o sustitución de líneas existentes, ya sea como galerías para cableados eléctricos o de telecomunicaciones, redes de gas, de calefacción, o bien instalación directa de tubería de aguas negras y de lluvia, transporte de residuos, captaciones y emisarios submarinos, etc., y cabe resaltar que no sólo en las áreas urbanas, es donde los métodos sin zanja son una solución, también fuera de las ciudades, cuando se tiene necesidad de cruzar obstáculos como los ríos o las autopistas o donde la alineación del túnel favorece los métodos de instalación mecanizados.

El túnel y microtúnel, hoy forma parte de la necesidad de utilizar el espacio subterráneo de manera efectiva en las zonas urbanas.

3. INDICE

1. Introducción – Métodos convencionales vs. Construcción de Microtúneles y Túneles de forma mecanizada.
2. Microtúneles Sistema Pipe Jacking.
3. Túneles mecanizados en suelos urbanos.
4. Conclusiones y perspectivas del futuro.

4. DESARROLLO

Métodos convencionales vs. Construcción de Túneles y Microtúneles de forma mecanizada.

Se tiene la idea de que los métodos convencionales de instalación de tubería tienen una ventajas económica cuando es instalada a poca profundidad y en un diámetro pequeño, y esto es cierto cuando esto es comparado de forma directa, sin embargo cuando entra el en la comparación todos los costos inducidos de impacto social, estos métodos suelen ser mucho más caros.

Costos de impacto social en las obras de infraestructura.

- Interrupción del Tráfico Vehicular (horas hombre de trabajo, desperdiciadas en el tráfico vehicular). Foto 1
- Interrupción a los peatones.
- Interrupción a las actividades comerciales (la no venta simplemente porque la mayoría de las personas trataran de evitar una zona que saben que está en conflicto derivado de una obra a cielo abierto).
- Interrupción a las zonas residenciales.
- Generación de ruido.
- Generación de polvo.
- Relocalización de instalaciones (obra inducida).
- Disminución de la seguridad pública.



Wall Street 1917



Herrenknecht video EPB

Cuando hablamos de túneles y microtúneles en suelos urbanos es de vital importancia considerar siempre todos los parámetros que intervienen a fin de poder elegir el mejor método de excavación, como son la geología propia de la zona de obra, las restricciones y especificaciones propias de diseño, la geometría y dimensiones del túnel, su longitud, programa de movilización y rendimiento esperado, los obstáculos en superficie y subterráneos, alineamiento (curvos y rectos), tolerancias, costos, aspectos ambientales y de seguridad e higiene, etc.; y en función de estos parámetros escoger el método más idóneo de excavación.

La tecnología del Túnel y Microtúnel nos ofrecen tanto ventajas técnicas como ambientales y sociales y de seguridad al momento de ejecutar la obra, tales como son:

Ventajas Técnicas.

- Capacidad de trabajar por debajo del nivel freático.
- Mínima descompensación del suelo.
- Capacidad de trabajar en suelos heterogéneos

- Trazados en curva.
- Posibilidad de excavar debajo de estructuras.
- Altos rendimientos.
- Acabado interno uniforme.
- Riesgo de asentamiento en la superficie, prácticamente nulo.

Ventajas ambientales:

- Reducción drástica de movimiento de tierra.
- Trabajos de construcción independientes de las condiciones climatológicas.
- Los habitantes y el medio ambiente se protegen.
- Se elimina un descenso en el nivel freático.

Ventajas sociales:

- No alteración de las instalaciones existentes.
- Poca afectación al tráfico vehicular.
- Baja interrupción a las actividades comerciales, zonas residenciales.
- Menores costos por expropiaciones, indemnizaciones.
- Pocos trabajos de rehabilitación del área afectada.
- Mínima afectación por ruido y polvo.

Seguridad:

- Presencia de cámara hiperbárica.
- Presencia de cámara de seguridad en los back-up.
- PLC ayudando al manejo de los equipos.
- Control a distancia de los parámetros.
- Mejor control de la presión de confinamiento.
- Asentamientos controlados en superficie.
- Mejor definición del revestimiento.

Microtúneles Sistema Pipe Jacking.

Empecemos por definir al Microtúnel sistema Pipe Jacking; en lo que respecta a su dimensión, existe una cierta indefinición en lo referente a su diámetro, pero podríamos ubicar que un microtúnel hablando por su diámetro está entre los 0.4 m a 3.05 m, aunque resulta una discusión improductiva, ya que esta tecnología no deja de avanzar y proponer mayores distancias y mayores diámetros sin necesidad de tripular los equipos de perforación.

En cuanto a su operación se pueden definir que un equipo de microtuneleo, es un equipo controlado a distancia “No hay operadores en el túnel” es operado a control remoto desde una cabina de control en la superficie y en lo que se refiere a su longitud entre pozos está en función del diámetro y tipo de tubería. Para las microtuneladoras de las que hablaremos se están alcanzando distancias de más de 1000m en un sólo tramo (sin pozos intermedios).

En cuanto a su revestimiento y forma de transmisión de empuje podemos definir que es un sistema donde su recubrimiento es a base de tubería empujada desde el pozo de lanzamiento.

Como resumen podríamos definir que un microtúnel es un sistema de instalación de tubería que abarca entre los 0.4 m a 3.05 m, que utiliza un equipo de perforación guiado, articulado, operado a control remoto para su operación y alineamiento, con presión en el frente de excavación, combinado con el empuje o técnica de “Pipe Jacking”, excavando, rezagando y empujando simultáneamente, para instalar directamente tuberías bajo tierra en un solo paso.

Técnica de excavación.

Podemos definirla como una técnica de instalación de tubería que realiza tres procesos de forma simultánea: excavación, avance y retiro de la rezaga. La excavación se realiza mediante en una cabeza (escudo) con un sistema similar al de las tuneladoras convencionales, la cual realiza el corte del terreno en el que se está instalando la tubería,

mientras expulsa el material que va rompiendo (rezaga), mediante un sistema que puede ser de bombeo, tolvas o bandas, y simultáneamente va avanzando mediante el empuje con gatos hidráulicos desde el pozo de lanzamiento.

Tipos de escudo de microtuneleo.

De una manera general podemos dividir los escudos en dos tipos diferentes: escudo con soporte de presión en el frente de excavación y escudos sin soporte. La diferencia principal entre estos dos es que el escudo con presión, como su nombre lo indica siempre trabaja con una presión en el frente, ideal para suelos con baja resistencia o cohesivos o en presencia de nivel freático, mientras el escudo sin soporte se limita a un escudo en el que se requiere que el material de excavación sea estable sobre toda la sección de corte y sin presencia de nivel freático. Foto 2

MTBM Con soporte de presión en el frente de excavación



MTBM sin soporte de presión en el frente de excavación.



Foto 2: Imágenes obtenidas de: www.herrenknecht.com, www.Akkerman.com, www.bessac.com

Operación de la microtuneladora.

Todo el sistema de microtunelización es operado mediante una cabina de control ubicada en la superficie al borde de la lumbrera, todos los mandos son vía control remoto con información en tiempo real y con registro de datos; El piloto de la microtuneladora puede actuar sobre cualquier parámetro de la microtuneladora desde el panel principal, controlando todo el sistema de microtuneleo. Al iniciar el microtúnel, el trazado del proyecto se configura en la computadora de la cabina de control y el piloto puede entonces ver la posición en tiempo real de la máquina de microtuneleo. Mediante los cilindros de dirección, el operador puede ajustar la posición de la máquina del microtuneleo para estar siempre en la línea del proyecto.

La gran innovación de este método con respecto a otros, es la posibilidad que presenta de poder realizar giros y corregir desviaciones a medida que se avanza. Esto se consigue independizando el trabajo de cada uno de los cuatro gatos que empujan, lo que permite poder jugar con las presiones de unos y otros, y así girar tanto en planta como en perfil.

Rangos de utilización

Los microtúneles con microtuneladora (MTBM's) sin intervención humana en el interior de la máquina se usan en redes de infraestructuras con un rango de diámetros de 400mm a 3050mm y unas longitudes desde unos pocos metros y de acuerdo a los últimos logros más de 2500m entre pozos.

Sistema principal de empuje.

El sistema principal de empuje está situado en el eje del trazo del hincado; el cual puede aplicar una fuerza máxima de empuje de hasta 1400 toneladas. El sistema de empuje es controlado por el piloto desde la cabina de control.

Sistema de Lubricación automático con monitoreo de la presión de inyección de la bentonita.

Para el proyecto de hinca larga, la lubricación es muy importante y es utilizado un sistema automático de lubricación. El producto de lubricación es una mezcla de agua, bentonita. Está hecho por una unidad de mezcla automatizada. La mezcla de lubricación se envía a través del túnel por una tubería de alta presión y se inyecta en el suelo alrededor de las tuberías que se están instalando a través de 3 puntos de inyección. (fig. 3)

Cada tres tubos de concreto uno cuenta con tres puntos de lubricación. Los datos de lubricación son registrados por la computadora de la cabina de control.

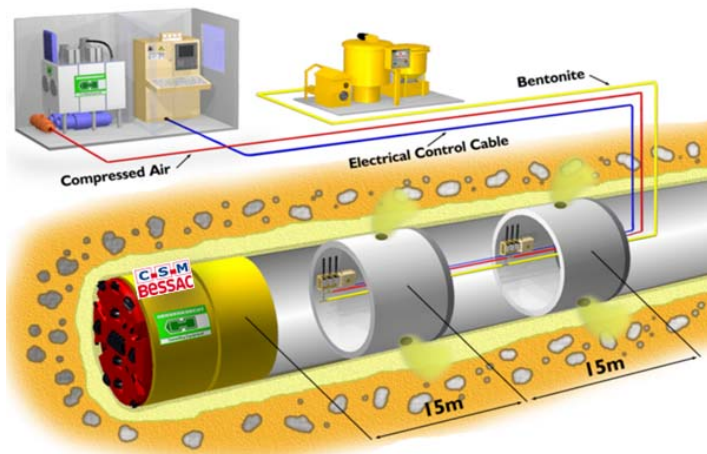


Fig. 3

Sistema Slurry

El sistema de lodos permite transportar el material excavado desde la rueda de corte de la microtuneladora a la planta de la separación situada en superficie. El sistema de lodos está compuesto por tubos de lodo y bombas de circulación. La presión y el flujo del circuito de suspensión se registran en la cabina de control.

Planta de separación.

Este equipo permite separar el material excavado de la mezcla de bentonita. Y está compuesto de tres cribas con vibración, un área de traspaleo; Una zona de deshidratación y tanques.

Sistema EPB

La excavación del suelo bajo el sistema EPB es realizada por la rueda de corte al frente de la MTBM. El material excavado pasa por la rueda de corte al interior de la microtuneladora (cámara de presión). Cámara donde se regula la presión para poder tener el equilibrio entre la presión de tierra del suelo y de la máquina (EPB). Y la rezaga se realiza en primera parte mediante el tornillo que ayuda a la regulación de la presión y posteriormente el transporte de la rezaga se realizara con bombeo, esta mezcla es evacuada a la superficie de la lumbrera.

Equipos periféricos.

Los equipos anexos a la microtuneladora (contenedor de pilotaje, unidad de tratamiento de lodos, acopio de tubería, bombas de circulación, grupo electrógeno, contenedor taller) son instalados junto al pozo de ataque.

La tendencia actual es la de utilizar sistemas de empuje más cortos, permitiendo así reducir el tamaño de los pozos de ataque, en los que los cilindros de empuje se sitúan paralelamente a los tubos, ahorrando así el espacio ocupado por estos últimos.

Para resistir el peso del sistema de empuje, la cabeza y los tubos, se debe construir una losa de concreto en el fondo del pozo lo suficientemente resistente. Dentro de los elementos que componen el pozo de ataque es importante la instalación de la junta de estanqueidad que es la encargada de evitar la entrada al pozo del agua y los lodos de perforación.

Dimensión de pozos.

Dimensión de Pozos Circulares: Con tubería de 2500 mm de long.

DIAMETRO (cm)	POZO DE LANZAMIENTO (m)	POZO DE SALIDA (m)
45	3.50	2.50
61	3.50	2.50
76	4.50	3.50
91	4.50	3.50
107	5.80	4.50
122	5.80	4.50
152	6.50	5.80
183	7.50	5.80
213	10.00	7.00
244	10.00	7.00
305	10.00	7.00

Cuadro 1: Dimensión de pozos circulares para microtuneleo en función de su diámetro.

Túneles mecanizados en suelos Urbanos.

A diferencia de las microtuneladoras en las tuneladoras los operadores están ubicados en la máquina, existen varias técnicas de excavación posibles según las dificultades geológicas, así como diferentes tipos de revestimiento de túnel.

En cuanto a su revestimiento y forma de transmisión de empuje a diferencia del microtúnel en los túneles generalmente se aplica un revestimiento construido a medida del avance, este puede ser mediante dovelas, marcos con cerchas y el empuje se realiza desde la máquina, teniendo como soporte el último anillo colocado. Fig. 4

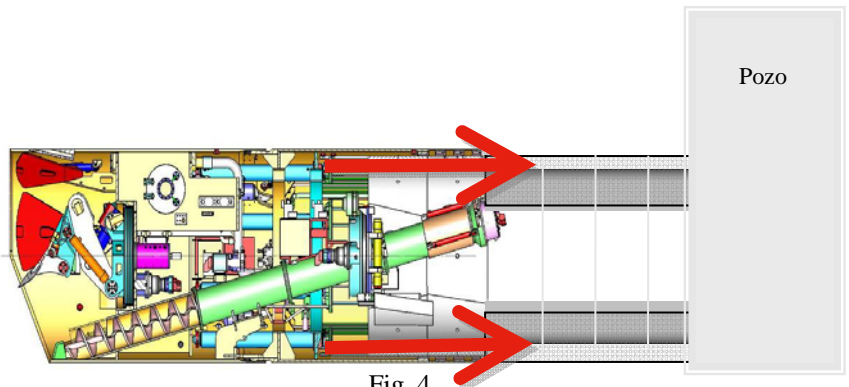


Fig. 4

Excavación.

La excavación se puede realizar de forma global (cabeza rotatoria) o puntual (brazo) el tipo de confinamiento en el frente de excavación puede ser de todos los tipos (tierra, lodo, aire), lo que permite que se pueda excavar prácticamente en cualquier geología, suelos blandos, rocas, bajo nivel freático, conociéndola previamente a fin de considerar sus herramientas de corte previo al inicio de su excavación.

Transporte de escombros o rezaga, se realiza mediante tornillo o banda más Trenes (o vagones) y/o bombeo.

Ámbitos de aplicación

Los túneles con TBM's se realizan con intervención humana desde el interior de la máquina con diámetros a partir de 2 metros.

Trazados

Su trazado puede incluir curvas de pequeño radio (100 metros o menos) y longitudes entre pozos de hasta varios kilómetros.

Tuneladora de presión de aire y ataque puntual. Fig. 5

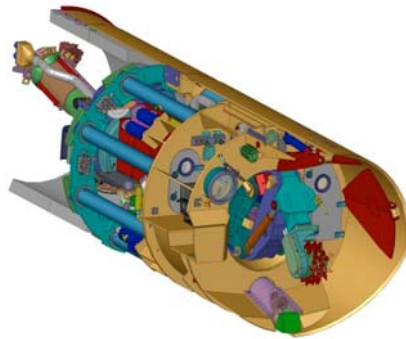


Fig. 5. Tuneladora de ataque puntual con presión de aire.

El brazo de excavación evoluciona en una cámara bajo presión de aire comprimido, aislada de la parte trasera de la TBM por una separación estanca, lo que permite que los operadores trabajen a presión atmosférica.

Tuneladora de presión de tierra EPB

Principio de la presión de tierra: El terreno excavado eventualmente mezclado con aditivos, se pone en presión en la cámara de frente por el empuje de la tuneladora en correlación con la extracción de la rezaga por el tornillo (Suelos Blandos y Cohesivos) Foto 6. Tuneladora de presión de tierra EPB.

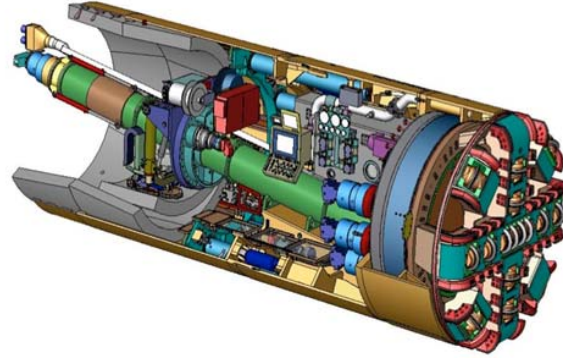


Foto 6. Tuneladora de presión de tierra EPB.

Tuneladora de presión de lodo (Slurry Shield)

El lodo bajo presión garantiza el confinamiento de la cámara de excavación y el transporte de los escombros entre la cámara y la superficie mediante un circuito cerrado de lodos. El transporte de escombros es mediante un bombeo líquido y una central de separación.

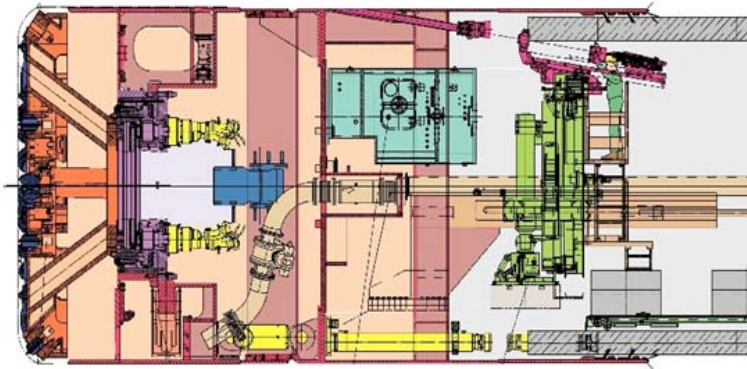


Foto 7. Tuneladora de presión de lodo (Slurry Shield).

En esta técnica se colocan indicadores volumétricos (tanto en la tubería de alimentación como en la de retorno) y sensores de presión integrados en la rueda de corte para permitir un control exacto de los respectivos estados de operación. De esta forma, además de garantizar la extracción del material perforado, se estabiliza el frente de excavación en el caso de perforación de suelos. Todo el sistema de extracción de lodos se controla desde el puesto central de mando.

Conclusiones y perspectivas del futuro.

Elección de la técnica de excavación

Tanto en las microtuneladoras como en la tuneladoras con sistema de excavación EPB, son las ideales para trabajar en terrenos homogéneos y blandos, con condiciones geológicas estables (suelos blandos y cohesivos, arcillas). El material se extrae del frente mediante un tornillo sinfín. El modo EPB garantiza la estabilidad del frente de excavación ejerciendo una presión contra el terreno utilizando el propio terreno excavado alojado en la cámara de excavación, inmediatamente detrás de la rueda de corte. Este terreno excavado puede ser tratado mediante espumas para que pueda ejercer la presión necesaria.

La técnica “Slurry” (lodos) tanto en microtuneladoras como en tuneladoras, la presión se garantiza en el confinamiento de la cámara de excavación y el transporte de los escombros entre la cámara y la superficie mediante

un circuito cerrado de lodos con el material excavado mediante transporte hidráulico, transformándolo en un lodo inyectándolo con agua (pura o con bentonita) a través de la cabeza cortante en el frente. El sistema está formado por un equipo de conducciones y bombeo de descarga a velocidad variable, con unas válvulas de presión de control, así como un bypass para evitar el retorno del fluido y aislar el flujo de lodos cuando se colocan nuevas tuberías

A continuación se presentan algunas cifras que nos dan un panorama de la actualidad en lo referente a infraestructura y todo lo que hay que falta por hacer en un futuro.

- En el 2050, la población mundial será de **más de 9,000 millones de habitantes**, de los cuales cerca del **70%** vivirán en **zonas Urbanas**.
- En la actualidad, 83% de la población mundial tiene acceso a **agua potable** y 53% a un **sistema de saneamiento**.
- En el mundo sigue habiendo más de 2,500 millones de personas sin acceso a **servicios sanitarios básicos**.
- En el 2050, la movilidad de los viajeros en el mundo y los flujos comerciales **podrían multiplicarse por 3 con respecto al nivel de 2000**.

En los tiempos actuales, el túnel en zona urbana tiene una gran y creciente demanda, en todo el mundo y estos proyectos exigen que se considere en las obras de infraestructura, el impacto social y al medio ambiente.

De ahí las ventajas que nos ofrecen las tecnologías sin apertura de zanja.

Hay mucho más espacio, en el subsuelo, que en superficie. Hagamos infraestructura sin apertura de zanjas!

7. REFERENCIAS

Organización de las Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales.

<https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-population-prospects-2017.html>

Fotos: Imágenes obtenidas de: www.herrenknecht.com, www.Akkerman.com, www.bessac.com