

**Compilación de Artículos de Investigación
de la Red Académica Internacional
Diseño y Construcción 2014.**

**Administración y Tecnología para
Arquitectura, Diseño e Ingeniería.**

Administración y Tecnología de la Construcción

**Compilación de Artículos de Investigación
de la Red Académica Internacional
Diseño y Construcción 2014.**

**Administración y Tecnología para
Arquitectura, Diseño e Ingeniería.**

**Consideraciones para el
rendimiento de la
maquinaria en el
túnel emisor
oriente (México)**

**Dr. Víctor Jiménez Argüelles
Mtro. Luis Antonio Rocha Chiu
Mtra. Imelda Loera Espinoza
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA-ITESM**

Consideraciones para el rendimiento de la maquinaria en el túnel emisor oriente (México)

Dr. Víctor Jiménez Argüelles

jiav68@yahoo.com.mx

Mtro. Luis Antonio Rocha Chiu

rcla@correo.azc.uam.mx

Mtra. Imelda Loera Espinoza

iloera@itesm.mx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA / ITESM Monterrey

ABSTRACT

In large projects, as it is the case of the TEO tunnel in Mexico, considered one of the 5 largest investment projects worldwide with an initial investment of \$9,600 million pesos, it is imperative that analyzed the factors that determine the progress of the works in order to comply with the agreed delivery times. When to use machinery is of enormous dimensions (8.9 m in diameter and approximately 100 m in length) is required of a gigantic force to push and a system of rotation for the cut of the material, which implies the intervention of an infinite number of mechanical components and logistics for its proper operation. In this paper, are analyzed the factors and circumstances by which TEO project presents a huge delay in programmed dates, namely, with the beginning of activities in October 2008 and date of completion scheduled for December 2014, has been modified to December of 2018.

KEYWORDS

Prestation, tunnels, machines, excavator, shafts

RESUMEN

En los grandes proyectos, como es el caso del Túnel Emisor Oriente, considerado como uno de los 5 proyectos de mayor inversión a nivel mundial con una inversión inicial de \$9,600 millones de pesos, es imprescindible que se analicen los factores que determinan el avance de los trabajos para poder cumplir con los tiempos de entrega pactados. Cuando la maquinaria a utilizar es de enormes dimensiones (8.9 m de diámetro y aproximadamente 100 m de longitud) se requiere de una gigantesca fuerza de empuje y un sistema de rotación para el corte del material, lo cual implica la intervención de una infinidad de componentes mecánicos y de una logística para su adecuada operación. En este trabajo, analizan los factores y circunstancias por las cuales el proyecto TEO presenta un retraso enorme en las fechas de entrega, a saber, con inicio de actividades en octubre del 2008 y fecha de terminación programada para diciembre del 2014, se ha modificado para diciembre del 2018.

PALABRAS CLAVE

Prestación, túneles, maquinaria, excavadoras, ejes

INTRODUCCIÓN

En los últimos años del siglo XX y principios del siglo XXI, se ha llevado a cabo la construcción de túneles de base que pulverizaban todos los récords y que atravesaban cordilleras enteras, como los túneles de base de Lötschberg, San Gotardo y Ceneri en Suiza, los túneles de Guadarrama y Pajares en España, el túnel de Brenner entre Austria e Italia, el túnel de Lyon-Turín entre Francia e Italia, etc. Todos estos túneles, con longitudes de hasta 50 km y profundidades de varios miles de metros, han llevado la tecnología de la construcción mecanizada a unos niveles increíbles, una tecnología que se aplica en durísimas condiciones de compresión, lajamiento, rotura de rocas, presión hidráulica y grandes tensiones en los macizos rocosos. El futuro nos depara aún grandes proezas de ingeniería en el campo de los túneles.

La construcción de túneles ha significado desde siempre un gran reto, que se ha vencido gracias a la valiosa recompensa que se obtiene. Muchos de los ejemplos de túneles que desde el remoto pasado han permitido extraer valiosos minerales del interior de la tierra, conducir agua potable por regiones áridas hasta centros de población, retirar de las ciudades las aguas servidas y de lluvia, etc.

OBJETIVO GENERAL

Analizar el proceso de excavación que se está llevando a cabo durante la construcción del Túnel Emisor Oriente, con el uso de 6 máquinas tuneladoras tipo EPB.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Analizar los factores y situaciones que han influido para que la maquinaria de excavación este pro-piciando al momento un retraso de aproximadamente el 50%.

PROBLEMÁTICA

En el proyecto de construcción del Túnel Emisor Oriente se optó por el uso de máquinas excavadoras que hacen que la construcción dependa casi en su totalidad de la eficacia de las mismas, por lo que el enorme retraso que se tiene al momento, es debido al bajo rendimiento de dichas máquinas.

CLASIFICACIÓN DE TÚNELES

Los túneles, entendidos como pasos subterráneos, pueden clasificarse y agruparse de muy diversas formas, según el propósito que se persiga. De acuerdo con su uso pueden clasificarse en túneles para el tráfico de personas, a pie o en vehículos, para el transporte de bienes y mercancías, para conducción de agua potable o su eliminación, para extracción de minerales y para usos militares. De

esta manera los túneles pueden agruparse en las siguientes categorías:

- Túneles de Tránsito. Por ejemplo túneles ferroviarios, túneles carreteros, túneles peatonales, túneles para la navegación, túneles para metro.
- Túneles de Conducción. Por ejemplo: túneles hidroeléctricos, túneles de conducción de agua potable, túneles para instalaciones públicas (teléfonos, conducción eléctrica, conducción de gas combustible, etc.), túneles para drenaje.

Desde un punto de vista puramente geotécnico, es usual que los túneles se agrupen en tres grandes categorías:

- a) Los túneles en roca sana, que no requieren soporte temporal aunque se revistan por razones funcionales.
- b) Los túneles en rocas suaves, que requieren de sistemas de soporte sustanciales para garantizar su permanencia por un periodo igual o mayor a su vida útil.
- c) Los túneles en suelos, duros o blandos, cuya excavación requiere de complicados sistemas que provean soporte inmediato o aun simultaneo a la excavación.

FACTORES A CONSIDERAR PARA EL RENDIMIENTO DE LA MAQUINARIA

Se define como rendimiento o producción a la cantidad de trabajo que se realiza en la unidad de tiempo. En otras palabras, es el volumen de material trabajado por hora (excavado, transportado, compactado, etc.), medido según la especificación.

Métodos para conocer el rendimiento de la maquinaria de construcción:

- a) *Por observación directa.* Es la medición física de los volúmenes de materiales movidos durante la unidad de tiempo, generalmente la hora.
- b) *Por medio de reglas o fórmulas.* Se calcula la cantidad de material que se mueve en cada ciclo y se multiplica por los ciclos que se realizan en una hora.
- c) *Por medio de tablas proporcionadas por el fabricante.* Los fabricantes cuentan con manuales donde proporcionan los rendimientos teóricos para determinadas condiciones de trabajo. Para tal efecto, se deberá tomar en cuenta que generalmente se basan en un 100% de eficiencia, es decir que la maquinaria se pone a trabajar en condiciones ideales donde se pueda desarrollar su máxima capacidad. También proporcionan tablas de ajuste por el material, operador, altitud, giro, etc. Independientemente de los rendimientos indicados por el fabricante (manuales de rendimiento) de equipo, cualquiera que sea su marca y tipo, siempre deben obtenerse rendimientos prácticos en el terreno de operación, que permitirán al contratista confirmar su rendimiento y costo de operación.

FACTORES GENERALES Y DE INGENIERÍA

- Abundamiento. Es la propiedad física que presentan los materiales como la tierra, de expandirse al ser removido de su estado natural o de reposo por medios normales o mecánicos. Es importante considerar que los porcentajes de abundamiento de los materiales pueden tener variaciones en su abundamiento, desde un 5% para las arenas hasta un 80% en las rocas.
- Enjutamiento. Es aquel que indica la relación en porcentaje de un material al pasar de un estado suelto a compacto.
- Efecto por pendiente. Debido a la fuerza de gravedad que actúa sobre la maquinaria, la inclinación del terreno ofrece resistencia a su movimiento en ascenso. Al descender la fuerza de gravedad hace que la pendiente sea de tipo favorable, y aquí entonces el problema principal resulta ser el frenado.
- Factor de operación. Un operador con experiencia, trabajando en condiciones apropiadas y utilizando una máquina moderna y bien equipada constituye un equipo de operador-máquina que puede obtener la máxima producción
- Factores climatológicos. Que consisten en todas aquellas situaciones desfavorables derivadas de las inclemencias del tiempo, principalmente altas temperaturas, bajas temperaturas y lluvias.
- Efecto por altura. Cuando la máquina deba trabajar a elevadas alturas, esto ocasionará que la potencia se vea mermada ya que los motores de combustión interna requieren del oxígeno del aire, y a mayor altura, menor es la presencia de oxígeno.

ESTUDIOS DE CAMPO Y GABINETE DEL SUBSUELO

En cualquier proyecto donde se tenga la necesidad de manipular el subsuelo, es imprescindible conocer las características y propiedades de los diferentes materiales que lo constituyen. Por tal motivo, se requerirá de:

- Determinar el perfil estratigráfico del trayecto del túnel, con definición litológica y tectónica del terreno atravesado, en especial: fallas y contactos mecánicos, zonas tectónicas, zonas alteradas, corrimientos. Al respecto, se debe prestar especial atención a las fallas activas en zonas con riesgo sísmico, analizando las posibles soluciones (cambio de trazado, dispositivos de absorción de desplazamientos, etc.).
- Caracterización geotécnica cuantitativa que debe comprender, al menos, la determinación de los parámetros correspondientes a resistencia y deformabilidad, permeabilidad, alterabilidad y capacidad de expansión.
- Recomendaciones sobre tipos de sostenimiento a adoptar para los distintos sectores establecidos, tanto provisionales, con objeto de proteger a los trabajadores, como definitivos.
- Problemática previsible durante la excavación (estabilidad, filtraciones de agua, presencia de líquidos o gases, etc.)

Además, se deberán efectuarán estudios hidrogeológicos para conocer, las siguientes facetas:

- Establecimiento del o de los niveles freáticos y su eventual variación estacional.

- Existencia de fuentes, manantiales, captaciones de agua, etc., que puedan influir en el túnel, o ser influidos por éste.
- Permeabilidad o transmisividad de los diferentes terrenos que pudieran ejercer su influjo en los aportes de agua al túnel durante la vida de la obra.
- Factores que influyen en la elección del drenaje o impermeabilización del túnel.
- Influjo del eventual drenaje del túnel en la posible variación de las condiciones hidráulicas de los niveles freáticos, afloramientos o aprovechamientos.
- Posibilidad de que el túnel suponga una barrera total o parcial a las corrientes subálveas naturales, y la correspondiente variación.

Cuando el túnel se realice en zonas urbanas se analizará además una serie de factores como:

- Condiciones de los edificios colindantes o del entorno.
- Instalaciones de Servicio Público (agua, gas, electricidad).
- Red de colectores de la zona.
- Ubicación de viales (anchura, número, densidad de circulación de vehículos y/o peatones, etc.).

Los estudios de campo que son más comunes para estos fines son:

- Estudios por medio de pozos a cielo abierto para extracción de muestras alteradas o inalteradas
- Extracción de muestras por medio de perforaciones
- Método de penetración estándar
- Método por penetración cónica
- Métodos geosísmicos
- Métodos de resistencia eléctrica
- Métodos magnéticos y gravimétricos

Para el caso particular del Proyecto TEO, se determinó que para la geología:

El Proyecto estará situado en el Valle de México. La zona es de origen lacustre y está rodeada por cadenas montañosas de origen volcánico. El terreno consiste fundamentalmente en arcillas hasta los 80 m de profundidad, estando el nivel freático únicamente de 2 a 3 m por debajo de la superficie. El terreno presenta inclusiones de bolos de roca de hasta 600 mm de diámetro. La complejidad del terreno hizo que éste se determinara como de muy dificultosa excavación durante muchos años. A pesar de ello, el principal colector de México D.F., el Emisor Central, fue excavado a mano en 1964 a una profundidad de unos 100 m, sentando las bases para proyectos futuros de construcción subterránea.

DISEÑO DE LAS MAQUINAS

De manera general, el diseño de las maquinas tuneladoras se rige por los siguientes puntos:

- Diámetro del túnel a excavar
- Tipo de suelo
 - a) Suelos blandos
 - b) Suelos duros
- Presiones hidrostáticas (presencia de agua)
- Profundidad a la que se realizaran los trabajos
- Longitud del túnel
- La economía
- La seguridad

De manera muy particular, las máquinas tuneladoras EPB están diseñadas para excavar suelos cohesivos con alta porción de arcilla, barro o limo, los cuales acusan una baja permeabilidad de agua.

Para el Proyecto TEO, tuneladoras se diseñaron especialmente para acometer las muy difíciles condiciones geológicas esperadas. Estas se revelaron aún más complicadas ante los resultados de la excavación de pozos en 2009 y 2010, que hicieron que se modificasen diversas características de los equipos. Las máquinas se equiparon con cabezas de corte para terrenos mixtos, preparadas para el montaje de herramientas de corte desde su parte trasera, e insertos de carburo para abordar situaciones de terreno mixto. Las máquinas llevan instalados transportadores si fin de tipo de guirnalda, preparados para gestionar la evacuación de rocas de tamaño grande. Se instalaron cámaras de vacío rediseñadas en las tuneladoras para adecuarlas a las altas presiones de agua y se mejoraron los sistemas de detección de desgastes para asegurar un rendimiento óptimo. Se emplean cintas continuas Robbins detrás de cada tuneladoras, minimizando retrasos en la evacuación de escombros. Dichas cintas continuas junto con las verticales de pozo se instalan cuando las tuneladoras han perforado 150 m desde su posición inicial.

Datos importantes de las maquinas tuneladoras usadas en el TEO:

- Cabeza cortadora diámetro = 8.74 m
- Longitud total = 95 m
- Peso total = 960 ton
- Precio: 17.5 millones de dólares
- 10 motores eléctricos de 160 kv
- 28 gatos hidráulicos (12,000 ton de empuje c/u)



Figura 1. Montaje preliminar de la tuneladora TBM

LOGÍSTICA PARA EL TRASLADO AL SITIO DE LA OBRA

Para el caso específico de las tuneladoras usadas en el Proyecto TEO, el traslado tuvo que realizarse desde Estados Unidos para las 3 que fueron construidas por Robbins y desde Alemania para las 3 que se fabricaron por Herrenknecht (HK). En ambos casos se requirió del traslado tanto por tierra como por mar.



Figura 2. Traslado de rueda de corte por carretera (izq.) y su descenso a piso de lumbrera (der.)

Es necesario considerar que este tipo de máquinas requiere de una infinidad de piezas y además que son de dimensiones descomunales, lo que dificulta su traslado hacia el lugar donde habrá que operar. Por supuesto, la maquina no puede ser trasladada de manera completa ya ensamblada.

Para tal efecto, debe considerarse el tiempo necesario para la fabricación de la misma máquina, que en promedio puede estimarse en un año y el traslado que puede tardar hasta meses dependiendo de la distancia y de las gestiones administrativas necesarias.

COMPONENTES PRINCIPALES Y SU MONTAJE

De forma general, la TBM (Escudos de presión de tierra) está conformada longitudinalmente por: la cabeza de corte, el escudo (secciones A y B), el faldón y 6 “gantries” (estructuras tipo vagón) en los cuales se incorporan los equipos y herramientas necesarias para su operación.

Cabeza de corte: con un diámetro de excavación de 8.93 m, está conformado por 6 brazos en los que están integrados 5 herramientas de corte cada uno. Las herramientas de corte son especialmente 2 tipos, cuchillas especiales para suelo y, discos de corte sencillos y dobles para roca; en el inicio de la excavación la cabeza requiere en su centro una cuchilla de acero de gran tamaño para facilitar la penetración del suelo, la cual posteriormente será sustituida por discos dobles. La cabeza de corte se acciona por motores eléctricos (1900 kW) con velocidad variable. Su velocidad máxima de giro es de 3 rpm y tiene un torque máximo de 14,916 kNm.

Escudo (seccion a y b): Unión Rotaria: Es el paso rotatorio por donde se realiza la inyección de los agentes espumantes, polímeros y grasas al frente de la excavación, esto con el fin de controlar la lubricación de las herramientas de corte y mejorar la consistencia del material excavado.



Figura 3. Vista en planta del escudo ya en piso de lumbrera (izq.) y descenso de tornillo sin fin (der.)

Cámara de Excavación: Es el área en donde se contiene el material que va cortando la cabeza de corte, aquí se lleva a cabo el equilibrio de presiones de tierra, mediante el suministro de aire comprimido por medio de válvulas y reguladores de aire.

Tornillo sin Fin: El tornillo sin fin de aproximadamente 13.7m de longitud, está conformado por dos secciones, la nº1 con 18 espirales que giran sin un eje interno y la nº2 con 21 espirales que giran unidos a un eje interno. El tornillo sirve para extraer de la cámara de excavación el material que ha sido cortado por la cabeza y es trasladado hasta la banda transportadora. La sección del tornillo sin eje permite la entrada de boleas y a lo largo de esta sección se localizan 2 compuertas por las que se pueden retirar estos boleas de gran tamaño, para evitar que se atoren en la segunda sección y en las bandas transportadoras.

Cámaras Hiperbáricas: Son cámaras en donde el personal se prepara para entrar a la sección de la

cámara de excavación para realizar el cambio de herramientas en la cabeza de corte.

Motores de la Cabeza de Corte: Son 10 motores eléctricos que dan la potencia para el giro de la cabeza de corte.



Figura 4. Vista de motores eléctricos ya instalados (izq.) y articulación (der.)

Mamparo: Estructura de soporte principal entre la cabeza de corte y el escudo.

Articulación: Está conformada por 16 gatos, 8 superiores y 8 inferiores (8 grupos de 2 gatos) cada gato con 8000 toneladas de capacidad. Se encarga de dar la dirección de la TBM.

Gatos de Empuje: El avance longitudinal del escudo se efectúa por medio de gatos hidráulicos, que reaccionan contra los anillos del revestimiento primario del túnel, previamente erigidos. La distribución de los gatos de empuje es simétrica a un eje horizontal, se tiene 1 grupo de 4 y 2 grupos de 5 en la parte superior y de igual forma en la parte inferior. En total son 28 gatos de empuje con 12,000 toneladas de capacidad cada uno.

Brazo Erector: Es el dispositivo para la colocación de las dovelas que forman el anillo de concreto, accionado hidráulicamente el cual gira 180° en ambas direcciones y además puede desplazarse 0.75m sobre el eje del túnel. Su velocidad máxima de giro es de 2 rpm.

Faldón: Es una camisa metálica en la que se encuentran los puntos de inyección de mortero y las líneas de inyección para la lubricación de los cepillos que impiden el paso del suelo y mortero al interior de la TBM.

Segment Feeder: Es la mesa alimentadora de dovelas, en la cual se distribuyen y trasladan las dovelas hasta el frente de la TBM, se colocan en el orden adecuado para que el brazo erector las coloque.

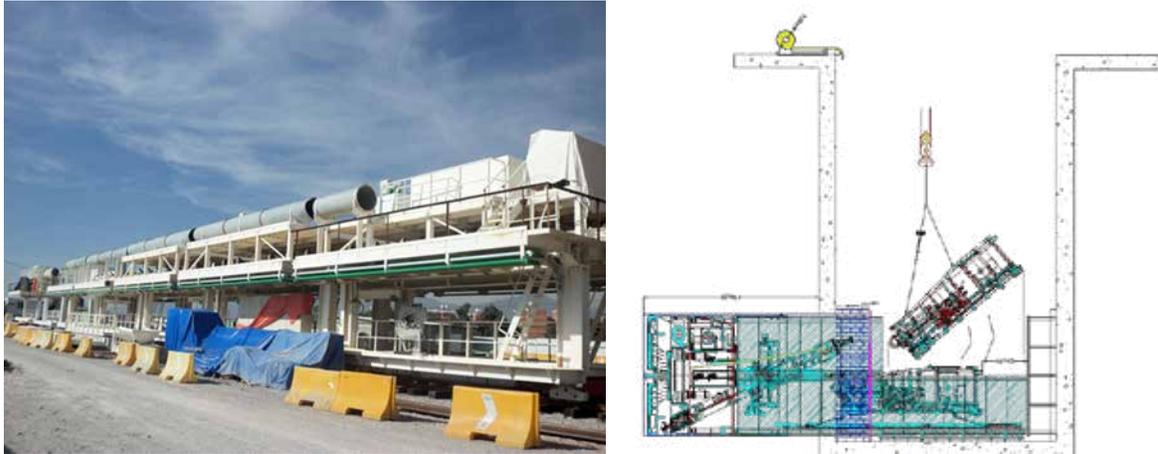


Figura 5. Gantries montados en superficie (izq.) y descenso de cada uno de ellos (der.)

1er Gantry o Gantry Bridge: En éste se encuentran la fuente de poder de la TBM, los transformadores, los motores de potencia hidráulica, en la parte superior inicia el tonillo sin fin no. 2 con eje y está ubicada la cabina de operación de la TBM.

2do Gantry: En éste están ubicados en la parte superior los sistemas de bombeo de inyección de polímeros, 1 tanque de polímero, 1 tanque del agente espumante CLBF4/TM, 1 gabinete de fuerza. En la parte inferior se encuentra una bomba de grasa de cola.

3er Gantry: Aquí se localizan la unidad hidráulica Putzmeister, 2 paneles de control putzmeister, 2 unidades para manejo de polímeros, un tanque de bentonita y en la parte superior esta la vaca de mortero de 10m³.

4to Gantry: Aquí están ubicados las bombas putzmeister, 1 generador de 250 kw y en la parte inferior 3 polipastos.

5to Gantry: Aquí se encuentra 1 tanque de agua fría-caliente, 1 tanque de agua residual y 1 pulmón de aire.

5A Gantry: En este Gantry se localizan 3 compresores ARZT145 (aire respirable) y 1 transformador de 600 KVA.

6to Gantry: En esta parte final de la TBM, están ubicados 3 carretes de manguera, 2 compresores Al GASSF, el sistema de ventilación del túnel, 1 almacenador de ducto y en la parte inferior está colocada una grúa viajera para la manipulación de los materiales necesarios al frente de la TBM.

Para este el Proyecto TEO el montaje y arranque de las máquinas se llevó a cabo por personal propio de los fabricantes. De esta manera, los componentes se adecuaron para ser todos ensamblados a nivel de piso en las lumbreras y así avanzar con la excavación del túnel hasta los 150m, pues hasta este punto fue establecido en el contrato. Durante estas fases y en todo momento estuvo presente el personal por parte de las constructoras para conocer los mecanismos y los procedimientos de operación de las máquinas y en adelante estos continuar con la operación en las excavaciones.

OPERACIÓN Y RENDIMIENTO DE LA MÁQUINA

Por las características y dimensiones del túnel a excavar, estas máquinas se diseñan y fabrican para trabajar en condiciones muy particulares, lo que hace indispensable el estudio del subsuelo. Para el caso específico del TEO, el túnel se dividió en 6 tramos y se consideró si las excavaciones se llevarían a cabo en suelos blandos o duros.

El rendimiento de estas máquinas está en función de la combinación entre el número de revoluciones que la rueda de corte pueda tener (estimado en 4 rpm) y el empuje ejercido por los 28 gatos hidráulicos. Así mismo, el rendimiento está en función del corte que realizan los discos giratorios y frontales.

Dadas las dimensiones y complejidad de la máquina los fabricantes de las mismas ofrecen el servicio de operación con personal altamente capacitado y con la experiencia necesaria para este tipo de trabajos.

Pero, para el caso particular del Proyecto TEO, se optó por que fuese personal mexicano y de las mismas constructoras participantes quienes controlaran la operación de las máquinas durante las excavaciones, con la supervisión y asesoría de empresas extranjeras (pero no con personal de los fabricantes de las máquinas).

RESULTADOS

A casi 6 años de trabajos, los avances están aproximadamente al 50% y se ha estimado se termine el proyecto para el año 2018, lo que significaría un total de 10 años. Si el rendimiento promedio por máquina hubiese sido real, aproximadamente 30m por día, es decir 180m diarios por las 6 máquinas.

Entonces la excavación de los 62km del túnel:
 $62,000\text{m} / (180\text{m/día}) = 345 \text{ días}$

Lo que significa que las excavaciones del túnel debieron estar terminadas en un año en promedio.

OBSERVACIONES

De manera general, las fases para la ejecución del túnel se pueden dividir de la siguiente manera:

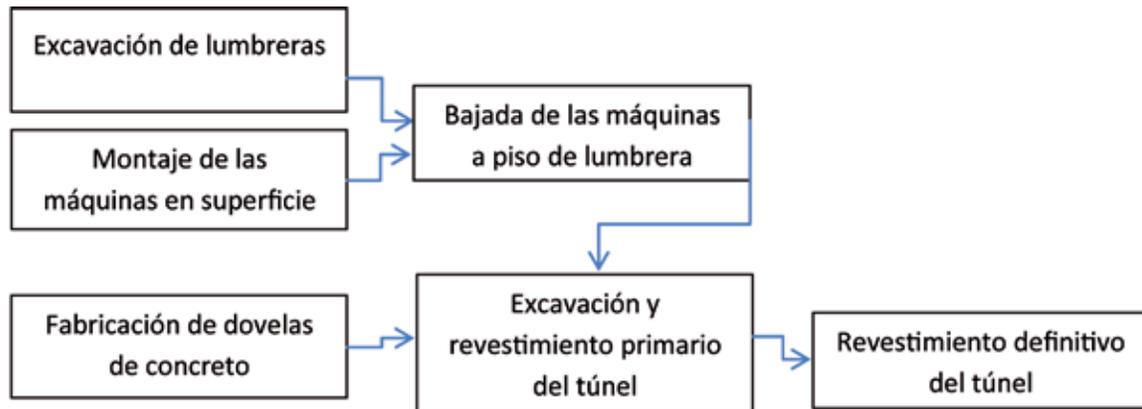


Figura 6. Diagrama general del proceso de excavación para túneles

Se planeó una división en 6 tramos para que las máquinas se instalaran y comenzaran las excavaciones de manera simultánea.

Como se indica en el diagrama, era necesario contar con las 5 lumbreras y el portal de salida en donde se debían bajar y ensamblar las máquinas. Lo que al principio estaba planeado, su construcción tardaría menos de un año, pero los problemas comenzaron a aparecer desde estas etapas, debido por ejemplo a las grandes filtraciones de agua hacia el interior de las lumbreras. Esta situación es debida a que parte del trayecto del túnel se localiza paralelamente y a unos cuantos metros del gran canal y de igual manera en la zona de la laguna de Zumpango.

Debido a que el proyecto arranco sin que el proyecto ejecutivo estuviera totalmente definido, las máquinas se mandaron construir con un diseño basado en estudios del subsuelo demasiado someros, lo que originó que cuando se realizaron estudios detallados en campo, se observaran diferencias importantes respecto a lo considerado, al grado de que se tuvieron que realizar modificaciones en los métodos constructivos.

CONCLUSIONES

En los proyectos como el de la construcción del Túnel Emisor Oriente, donde la excavación se planea por medio de máquinas tuneladoras, se debe iniciar primero por el estudio detallado del subsuelo para que de esta manera, el diseño de las máquinas se realice lo más apegado a las condiciones realistas y así se pueda tener los avances esperados.

Además, un factor importante en cuanto al tiempo disponible para la ejecución del proyecto es el tiempo que se requiere para diseñar la máquina, fabricarla, transportarla y montarla (lo que puede llegar hasta los dos años).

En general, los rendimientos conseguidos con las máquinas tuneladoras son muy elevados si se comparan con otros métodos de excavación de túneles, pero su uso solo es rentable a partir de una "longitud mínima" de túnel a excavar. Para el caso del TEO, por la longitud del túnel, se tuvo la nece-

sidad de adquirir 6 máquinas, pero desafortunadamente, no se han tenido los mismos avances en los diferentes frentes, siendo en algunos extremadamente casi nulos.

Ciertamente los problemas en la construcción del TEO han sido muchos y de diversas índoles, pero, particularmente los que atañen a las máquinas, tienen origen en la falta de planeación, a la falta de estudios de campo para poder diseñar las máquinas y además por la manera en como se está operando las máquinas con personal que no tiene la experiencia y pericia para afrontar estas magnitudes.

BIBLIOGRAFÍA

Peurifoy R. L., Métodos, planeamiento y equipos de construcción. Ed. Diana, México 1978.

Aburto V. R., Movimiento de tierras, tomo I. Ed. FUNDEC, México, 1990.

CONAGUA, El libro Blanco CONAGUA-05: construcción del Túnel Emisor Oriente. México, 2012

AMITOS, Túneles y excavaciones subterráneas, curso Victor Hardi 87, México, 1987

<http://www.ita-aites.org/fr/>

<http://www.robbinstbm.com/>

<http://www.herrenknecht.com/>