

# Diseño innovador en el metro ligero de Ottawa



**Humberto Ferrer Menduina**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

*Deputy project director* Ottawa LRT Constructors



**Enrique Fernández González**

Ingeniero de Minas

Dirección Técnica de Dragados. Jefe del Servicio de Obras Subterráneas



**Alejandro Sanz Garrote**

Ingeniero Industrial y Civil

Dirección Técnica de Dragados. Servicio de Obras Subterráneas

**Resumen**

En la actualidad, las diferentes técnicas disponibles para la excavación de túneles proporcionan herramientas suficientes a los ingenieros para diseñar y ejecutar infraestructuras complejas en subterráneo minimizando el impacto al entorno. Para el proyecto del metro ligero de Ottawa, que incluye el diseño y construcción 2,5 km de túneles y tres estaciones ejecutadas en caverna, la ciudad eligió la opción de excavación en mina a lo largo del centro de la ciudad. El artículo describe el enfoque y las soluciones empleadas en este proyecto.

**Palabras clave**

Tirantes, estaciones someras, rozadoras

**Abstract**

*Mined tunnels provide the tools to deliver complex underground infrastructures while minimizing the disturbance to the surroundings. For Confederation Line, Ottawa's Light Rail Transit project which includes 2.5 km of running tunnel and three cavern stations, the city choose the mined option through the downtown core. The paper gives the conceptual approach and solutions of this megaproject.*

**Keywords**

*Tension ties, shallow stations, roadheaders*

**1. Introducción**

La población mundial ha alcanzado la cifra de 7.200 millones de habitantes en el 2014, siendo una tendencia creciente la aglomeración en grandes urbes donde los problemas de desplazamiento y la dotación de servicios a dichas ciudades se acrecientan de modo exponencial.

Así, Tokio, con sus 32 millones de habitantes, o Seúl y Ciudad de México, con más de 20 millones, figuran a la cabeza de las mega aglomeraciones. Del mismo modo, existen actualmente 22 ciudades con una población que se encuentra entre los 10 y los 20 millones y en otras 34 urbes los habitantes van de 5 a 10 millones. La cifra se dispara si se tienen en cuenta aquellas ciudades de más de un millón de habitantes. Por tanto, podemos verificar que existen en nuestro planeta un número considerable de ciudades, más o menos desarrolladas, y en las que las necesidades de servicios urbanos de todo tipo son una prioridad para las autoridades locales.

De cómo se planifiquen, diseñen, ejecuten y operen esos servicios dependerá o tendrá influencia en la calidad de

vida de sus habitantes. Las soluciones en superficie causan enormes trastornos durante la construcción y presentan limitaciones obvias en su expansión, mientras que las soluciones aéreas suelen crear una barrera estética y urbana, que provoca una reducción en el valor de las propiedades que encuentra a su paso. Por ello, el lector estará de acuerdo que, las soluciones subterráneas proporcionan innumerables ventajas para dar respuesta a este problema, siendo a su vez, mínimos los inconvenientes que plantean.

En el presente artículo se pretende exponer dichas ventajas, sin ocultar los inconvenientes, de modo que sirvan de reflexión para futuros proyectos, cada vez más internacionales, en los que participamos los ingenieros hispanos.

El hilo conductor será el proyecto de concesión del nuevo ferrocarril ligero de la ciudad de Ottawa, capital de Canadá, que con una longitud de 12,5 km, transcurre entre Tunney's Pasture y Blair, mayoritariamente en superficie pero recurriendo a la solución subterránea cuando se atraviesa el corazón financiero, histórico y turístico de la ciudad (ver figura 1).



Fig. 1. Ottawa LRT Fase 1. Sección en túnel indicada en trazo grueso

Este proyecto proporcionará un ahorro, según las propias autoridades, de 38.000 toneladas de gases de efecto invernadero hasta el año 2031, 10 millones de litros de combustible por año y 5.600 toneladas de sal, anualmente, como protección de las calles ante las inclemencias invernales.

En palabras de los responsables de la ciudad de Ottawa, el proyecto permitirá crear una ciudad medioambiental, social, económica y culturalmente sostenible y ser un lugar deseable para vivir, trabajar o visitar.

**2. Túnel de línea**

El trazado de la nueva línea de tren ligero transcurre bajo tierra a lo largo de 2.530 m y donde se ubican las estaciones de Lyon (oeste), Parliament (este) y Rideau. Al tratarse de un contrato de concesión, éste incluye tanto el diseño de la nueva infraestructura como su construcción y futuro mantenimiento. Por ello, los pliegos del concurso exigían que esta zona del centro de la ciudad fuera soterrada pero sin especificar el método constructivo, quedando éste a decisión del diseñador.

Estaríamos por tanto ante la tesitura de seleccionar el método constructivo más adecuado teniendo en cuenta todos los condicionantes, directos e indirectos, que determinan cuál de ellos o que combinación de métodos resulta la óptima para la empresa constructora, para la concesionaria y en definitiva para la ciudad.

Así, el túnel de línea se elegiría entre su excavación convencional o con tuneladora al tiempo que se podría optar por la opción monotubo de doble vía o bitubo de simple vía. Del mismo modo las estaciones se podrían ejecutar por medio de excavación en caverna o con el sistema de excavación a cielo abierto con losa superior de cierre. Obviamente no se plantea la ejecución del túnel de línea en trinchera al transcurrir éste por las calles más transitadas de la ciudad.

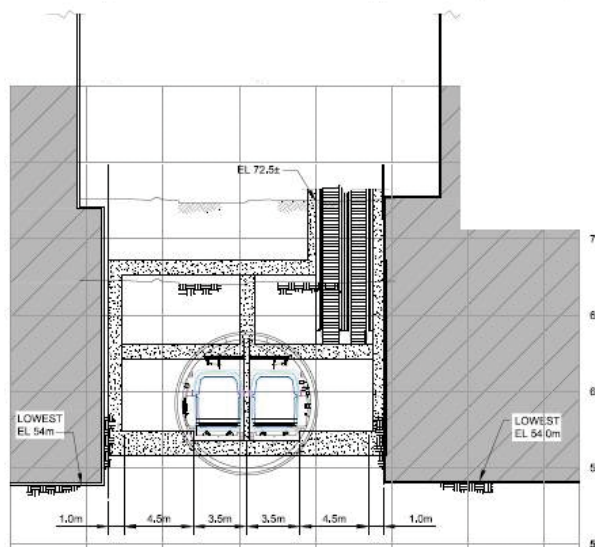


Fig. 2. Estación en 'cut & cover' y túnel con TBM

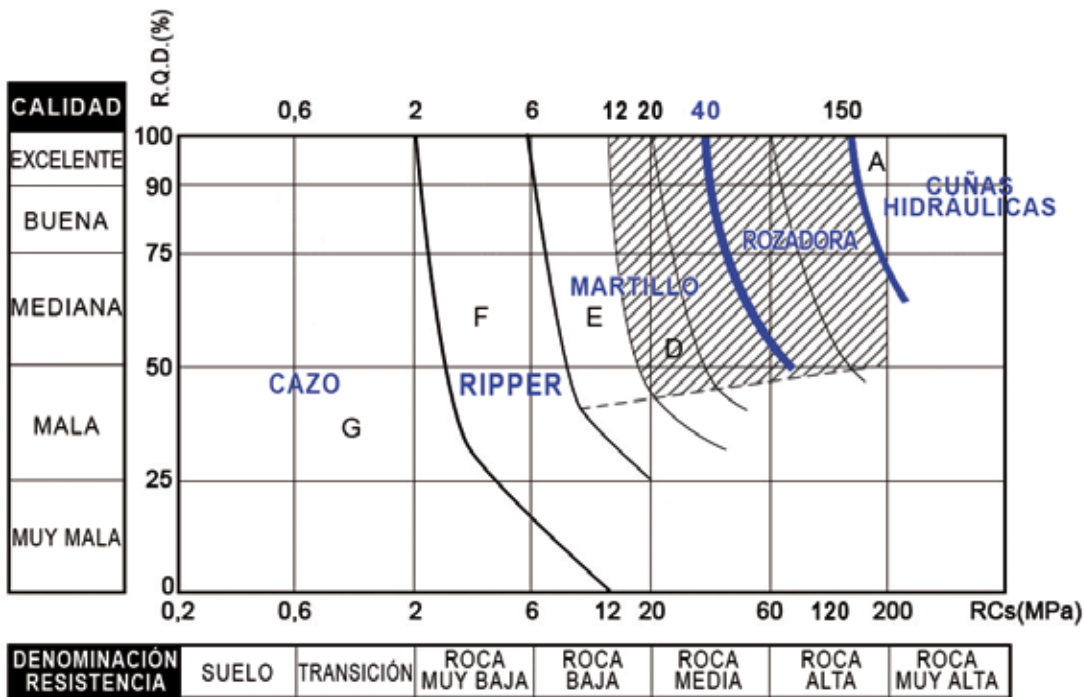


Fig. 3. Método de excavación en función del terreno

Otro condicionante, en este caso geométrico, se haya en el hecho de existir una serie de edificios a lo largo de Queen Street cuyos sótanos alcanzan la cota del túnel. Dado que esta calle tiene un ancho de apenas 20 metros, la solución bitubo estaría condicionada por este hecho y en doble medida, por un lado el pilar entre túneles sería limitado y podría requerir de refuerzos puntuales y por otro lado, al construir los edificios, durante la excavación de los sótanos se emplearon anclajes temporales de sostenimiento de los muros que interceptarían la sección de los túneles. La figura 2 muestra un esquema de la opción de estación en trinchera y túnel monotubo con TBM, con las paredes de la estación junto a los sótanos existentes.

Es bien sabido que uno de los condicionantes más importantes a la hora de seleccionar el método es la geología que encontraremos a lo largo del trazado. El subsuelo de Ottawa está conformado por roca caliza intercalada con pizarras correspondiente a las formaciones Lindsay y Verulam. Su resistencia a compresión simple oscila entre 50 y 90 MPa y con RQD de 30 a 90. Por encima de este lecho sedimentario y con espesores métricos, se encuentran los típicos depósitos glaciales compuestos principalmente por limos y arcillas.

Este hecho nos permite escoger el sistema constructivo entre un rango más amplio de posibilidades que si el trazado transcurriera por suelos con poca o nula cohesión y bajo el nivel freático donde las tuneladoras de presión presentan sensibles ventajas frente al resto de los métodos.

Dado que se trata de túneles urbanos, el pliego presentaba restricciones al empleo de explosivos lo que obliga a minimizar su empleo. Tendríamos pues las opciones de excavación convencional con máquinas rozadoras ya que estaríamos en su ámbito de aplicación más adecuado o bien la ejecución con tuneladora de roca. La figura 3 relaciona el método de excavación con las características geotécnicas del macizo realizada por el Profesor Manuel Romana en los años 90 y actualizada en 2012 por el autor, teniendo en cuenta los avances en maquinaria a lo largo de estos años.

Como particularidad, la zona donde se ubica la estación Rideau, se encuentra un paleocauce profundo relleno de arenas y arcillas con niveles interconectados y de gran permeabilidad. Este tramo, de unos 110 metros de longitud (50 m de túnel de línea y 60 m de estación) condiciona la selección de la tuneladora y la orientaría hacia una EPB

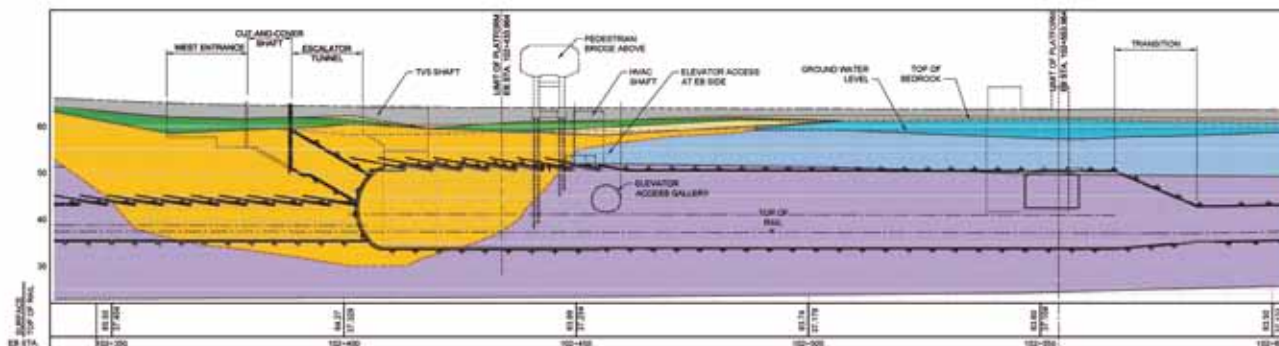


Fig. 4. Perfil geológico en la Estación Rideau. Paleocauce indicado en amarillo

con cabeza mixta que excavara en presión bajo el paleocauce y en abierto en el resto del trazado

De acuerdo con los condicionantes hasta ahora descritos decidimos limitar las soluciones constructivas del túnel de línea a un monotubo de doble vía, con evacuación a través de las estaciones. El túnel se podría excavar por medios mecánicos convencionales con rozadora en calizas y con retroexcavadora en el paleocauce, o con tuneladora EPB con cabeza mixta.

Las informaciones recibidas acerca de los anclajes ejecutados durante la excavación de los solares de los edificios colindantes eran escasas y no validadas, (activos o pasivos, longitud, densidad etc.) por lo que el riesgo de que una tuneladora los interceptara durante la excavación era muy elevada pudiendo ocasionar daños a la estructura del edificio y a la propia TBM. Por ello, la opción de excavación en mina con rozadora se presentaba como la más conveniente.

### 3. Diseño de estaciones

Una de las especificaciones del cliente exigía el mantener los accesos a todos los edificios a lo largo del trazado de tanto durante la construcción como en fase definitiva. Esto obliga a, caso de optar por la solución de trinchera (*'cut & cover'*), realizar la excavación bajo losa, sea esta temporal o permanente. La foto 1 muestra la construcción de una de las estaciones de la Canada Line en Vancouver, donde se aprecia la restricción que ocasiona en los accesos a los edificios cuando no se ejecuta de inicio dicha losa.

Se iniciaría el proceso ejecutando la losa superior con un pozo de acceso donde ubicar la rozadora, pozo a ejecutar



Foto 1. Estación en Canada Line (Vancouver)

con cuñas hidráulicas (sin explosivos). La secuencia de vaciado bajo losa se realizaría por niveles. Esta solución presenta dos inconvenientes, el primero el gran volumen de roca a excavar que resulta costoso y el segundo la necesidad de reubicar los servicios afectados por las estaciones. El volumen es significativamente mayor que en la solución en caverna y los medios a emplear en la excavación serían similares.

Estos servicios afectados son propiedad de diversas compañías públicas y privadas (gas, agua, electricidad, telefonía, desagüe, correos, servicios secretos) y, en algunos casos, incluso desconocidos. Todas estas empresas utilizan las conducciones como medio de distribución y funcionamiento de sus productos. Por tanto, el hecho de tener que retirar un tramo del mismo y reemplazarlo por otro nuevo va



Fig. 5. Redes de servicios en Parliament

a suponer un trastorno en su negocio, por lo que intentará demorar dicho cambio lo más posible. Adicionalmente, no es sencilla la coordinación de estas interferencias para que sean reemplazadas de forma simultánea y así todos hemos visto como las aceras de nuestras calles son levantadas una y otra vez para realizar reparaciones y sustituciones de los más diversos servicios.

En el caso de Ottawa, se identificaron 19 compañías cuyos servicios se verían afectados por la excavación de las estaciones si se optase por una solución en trinchera. La figura 5 refleja las redes de servicios que se encuentran en la ubicación de la estación Parliament, en el cruce de Queen St y O'Conner St.

Si bien es cierto que cabría la posibilidad de no reubicar estos servicios, esta alternativa conlleva el mantenimiento de los mismos, suspendidos de la losa superior para su posterior adecuación a la finalización de los trabajos. Esta opción implica por tanto un riesgo de dañar los servicios durante la construcción, además de afectar a los rendimientos de los trabajos a realizar en las proximidades de los mismos.

Todo esto conlleva que la ejecución de nuestra infraestructura por el procedimiento de 'cut & cover' se demore en el tiempo transfiriendo la ejecución cada vez más hacia el final de nuestro plazo de ejecución, poniendo en riesgo su conclusión de acuerdo a las fechas contratadas. Adicionalmente, lo que presenta mayor riesgo es que los acuerdos y autorizaciones para sustituir los servicios así como la propia sustitución, estarán en manos de terceras personas y entidades que, en la mayoría de los casos no están interesadas en nuestra infraestructura y tan solo la ven como una molestia para su negocio.

La obtención de permisos, proyectos de reubicación, aprobaciones y ejecución de estos cambios se estimaron en un mínimo de dos años, lo que reducía drásticamente el periodo de construcción de las estaciones ya de por sí lentas al tratarse de excavación en roca. No se debe de olvidar que, al tratarse de una concesión, cualquier reducción de plazo permite anticipar el retorno de la inversión.

A esta dificultad podemos añadir el riesgo de aparición de restos arqueológicos y de valor histórico que claramente supondrían una paralización parcial o total de los trabajos.

Analizada esta problemática de reubicación de servicios, la alternativa de ejecución en caverna es obligada, cuando menos su análisis y valoración. Considerando que, una vez más, la geología es el condicionante más importante a la hora de elegir el método constructivo de las estaciones, dado que éstas se encuentran en su mayor parte en terrenos calizos, su excavación debería plantearse con equipos de fragmentación o rozado tipo martillo hidráulico pesado o rozadoras.

Teniendo en cuenta las características geotécnicas de resistencia de estos materiales el rendimiento obtenido por los martillos no sería muy alto, con el agravante del ruido y vibraciones ocasionados durante el proceso de excavación. Obviando el empleo de explosivos, las rozadoras se manifiestan por tanto como el método más adecuado.

Habida cuenta que la ejecución del túnel de línea se plantea con rozadoras pesadas como la manera más ventajosa, cabe plantearse a su vez la ejecución de las estaciones en caverna utilizando los mismos equipos.

### 3.1 Secuencia constructiva de las estaciones Lyon y Parliament

La solución de ejecutar las estaciones en caverna minimiza enormemente el problema de reubicación de servicios y



Fig. 6. Corte longitudinal del tramo subterráneo. Calizas representadas en azul

permite tener el control de los trabajos en todo momento. En el apartado de coste social veremos otras ventajas que también presentan. La figura 6 muestra el corte longitudinal esquemático del trazado con la ubicación de las estaciones dentro del macizo calizo.

El reto que plantea esta solución es el de construir dichas cavernas de estación sin afectar a los edificios colindantes dado que, como se indicó anteriormente, la calle tiene un ancho de 20 m, los edificios tienen sótanos que alcanzan, en ocasiones, el nivel de andenes de la estación y éstas requieren un ancho mínimo de 18 m.

Para ello, el proyecto constructivo está basado en un innovador concepto de excavación por fases buscando que la redistribución de esfuerzos generada en el terreno al realizar la excavación no transfiera cargas a la estructura de los edificios colindantes, sino que estas cargas sean soportadas íntegramente por el sostenimiento de la propia estación. Se ha limitado en todo momento la profundidad a la que se ubican las estaciones por motivos de explotación (ver figura 7).

En los casos en los que los sótanos no alcanzan estas cotas o sencillamente no existen, se emplea un sistema de excavación más sencillo, contando por tanto con dos secuencias de trabajo distintas en función de la presencia o no de este condicionante.

La ventaja del método secuencial de excavación estriba en la posibilidad de transferir las cargas generadas al excavar del modo más conveniente a nuestros fines bien sea a través del propio terreno circundante o bien a través del sostenimiento de la nueva estructura. En este caso, parece obvio que una excavación tradicional en avance y destroza nos transmitiría todos los esfuerzos a los pilares de los edificios con el consiguiente riesgo de colapso de los mismos al no estar calculados para estos esfuerzos. El diseñador, Dr. Sauer and Partners, resolvió esta dificultad mediante la secuencia constructiva que se muestra a continuación:

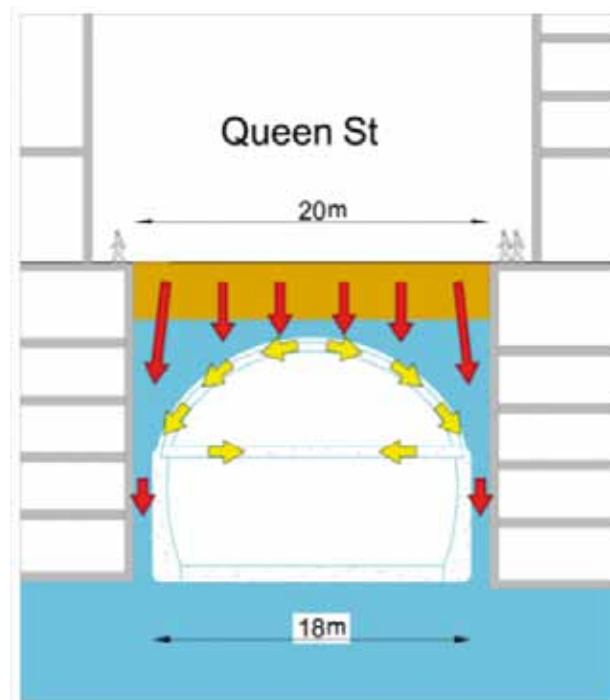


Fig. 7. Restricciones geométricas en Queen St. Control de transmisión de cargas horizontales mediante tirantes

- 1) Excavación de galerías laterales inferiores y su sostenimiento provisional.
- 2) Ejecución de impermeabilización y revestimiento definitivo en hastiales exteriores. Perforación de tirantes.
- 3) Colocación de tirantes conectados al revestimiento inferior y relleno de galerías inferiores con hormigón aligerado previa protección del revestimiento.
- 4) Excavación de las galerías laterales superiores y su sostenimiento provisional.
- 5) Excavación del pilar central en fase de avance y cierre del sostenimiento de la bóveda.

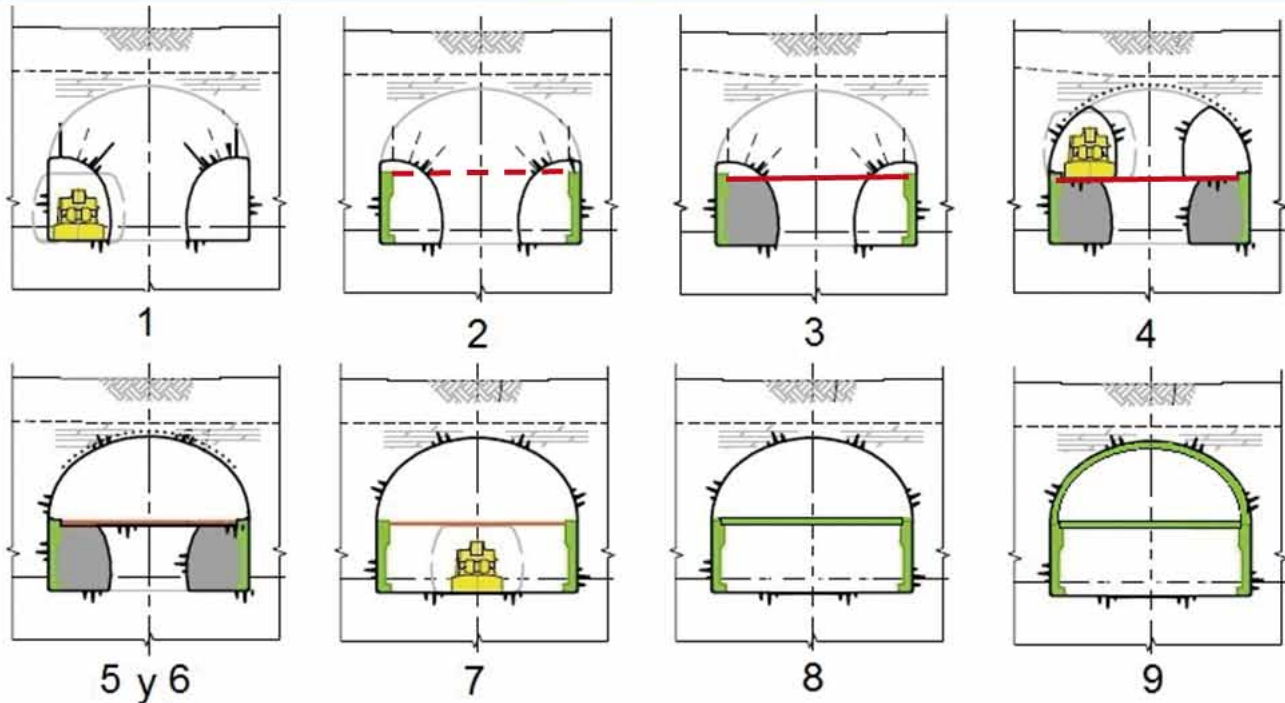


Fig. 8. Fases de excavación Lyon y Parliament

6) Monitorización y ajuste de los tirantes de contención, absorbiendo la componente horizontal de los esfuerzos transmitidos por el arco.

7) Excavación de la destroza por fases bajo los tirantes, incluyendo el relleno.

8) Ejecución de losa intermedia armada permanente a nivel de tirantes.

9) Impermeabilización y revestimiento armado de la bóveda.

De este modo se consigue distribuir las cargas entre las paredes del revestimiento y el pilar central de roca hasta la colocación de los tirantes que son los que pasan a absorber dichos esfuerzos al excavar el pilar central. Estos tirantes, trabajando a tracción, soportan los esfuerzos del arco de forma que toda la carga del terreno sobre la estación se descompone en dos fuerzas, una vertical soportada por el revestimiento de hastiales previamente construidos y una horizontal soportada por dichos tirantes. Finalmente la losa de vestíbulo absorbe las cargas

de forma permanente. La figura 8 muestra las fases de excavación de la caverna de estación.

En los tramos de estación donde no se presenta esta limitación ocasionada por los sótanos, las fases de excavación se realizan de forma habitual con galería piloto central en fase de avance, ampliación lateral hasta excavar totalmente la bóveda, para posteriormente excavar la destroza así mismo por fases. Posteriormente se ejecuta el revestimiento definitivo, labor para la que se recurre a los mismos encofrados empleados en el caso anterior.

### 3.2 Secuencia constructiva de la estación Rideau

La particular ubicación de la estación Rideau, parcialmente localizada en el paleocauce, obliga a plantear una geometría propia de las excavaciones en suelos, ovoide, en dicho paleocauce y en consecuencia ovoide en el resto de la estación excavada en calizas por continuidad de la propia estación.

En esta estación se aplican los recursos de que dispone el método secuencial, conocidos como la caja de herramientas y que se enumeran a continuación:

+ desarrollo sostenible

# Más que agua

Talento, conocimiento y compromiso.  
Aportamos respuestas adecuadas  
para una gestión más eficiente.  
Compartimos conocimiento  
y generamos innovación.  
Trabajamos por un futuro basado  
en el compromiso y la cooperación.

[www.aqualogy.net](http://www.aqualogy.net)





**AQVALOGY**  
Where Water Lives

SOLUCIONES INTEGRADAS  
DEL AGUA PARA UN  
DESARROLLO SOSTENIBLE



Fotos 2 y 3. Ejecución de galerías inferiores, impermeabilización y perforación de orificios para tirantes

Fotos 4 y 5. Tirantes conectados al revestimiento y relleno de galería inferior (arriba). Excavación de galerías laterales superiores (abajo)

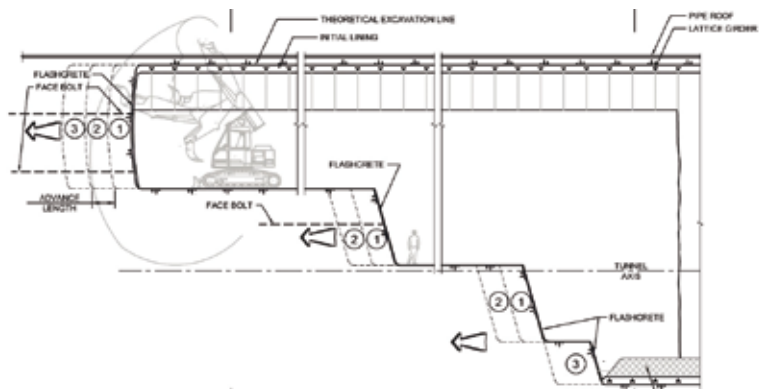
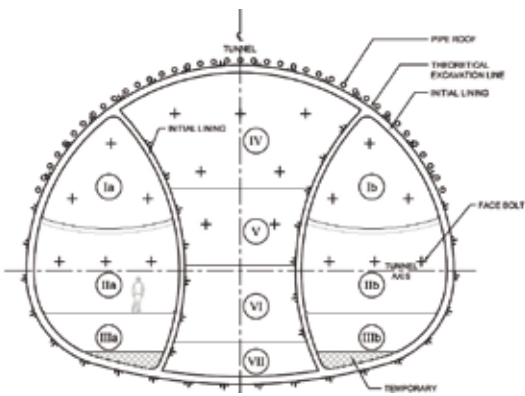


Fig. 9. Fases de excavación en suelos en Rideau

- Drenaje del frente para reducir la carga de agua.
- Micropilotes en bóveda.
- Bulones de fibra en el frente.
- Sellado de hormigón proyectado en el frente.
- Excavación por fases mediante galerías laterales.
- Sostenimiento con hormigón proyectado y cerchas de celosía.
- Cierre de la contrabóveda en una distancia inferior a 1,5 diámetros.

En la zona caliza se varían las fases del arco superior y destroza, dejando ambas en dos semi fases, a fin de simplificar su ejecución pero siempre adaptados a la geometría ovoide requerida en la zona de suelos.

### 3.3 Planificación de los trabajos

Con objeto de garantizar el plazo previsto por la concesionaria y al mismo tiempo minimizar el impacto en superficie se ha optado por excavar el túnel y las estaciones con tres equipos independientes (ver figura 10).

- Equipo 1 (azul): desde el portal oeste excava los 425 m del túnel de línea hasta alcanzar la estación Lyon, la propia estación así como otros 160 m hasta conectar con el equipo 2.

- Equipo 2 (verde): desde el pozo intermedio, se excavan 30 m en dirección oeste que sirven como culatón de maniobras y acopio de escombros de los 230 m de túnel de línea hacia el este y hasta alcanzar la estación Parliament. Al igual que el equipo 1, este equipo 2 se ocupa también de la propia estación para posteriormente continuar con el túnel de línea al encuentro del equipo 3 y hasta llegar al paleocauce. En total 630 m.

- Equipo 3 (rojo): desde el portal este excava los 635 m del túnel de línea hasta alcanzar la estación Rideau, la propia estación así como los 50 m en suelos del paleocauce, del túnel de línea.

Los portales este y oeste se han planteado en rampa lo que facilita la entrada de equipos y extracción de escombros. Al mismo tiempo, dichas rampas, adaptadas, formarán parte del trazado final de la infraestructura que pasa a ser en superficie a partir de dichos puntos. Dadas las temperaturas extremas que se alcanzan en invierno, en esta zona ha sido necesario instalar sistemas de calefac-

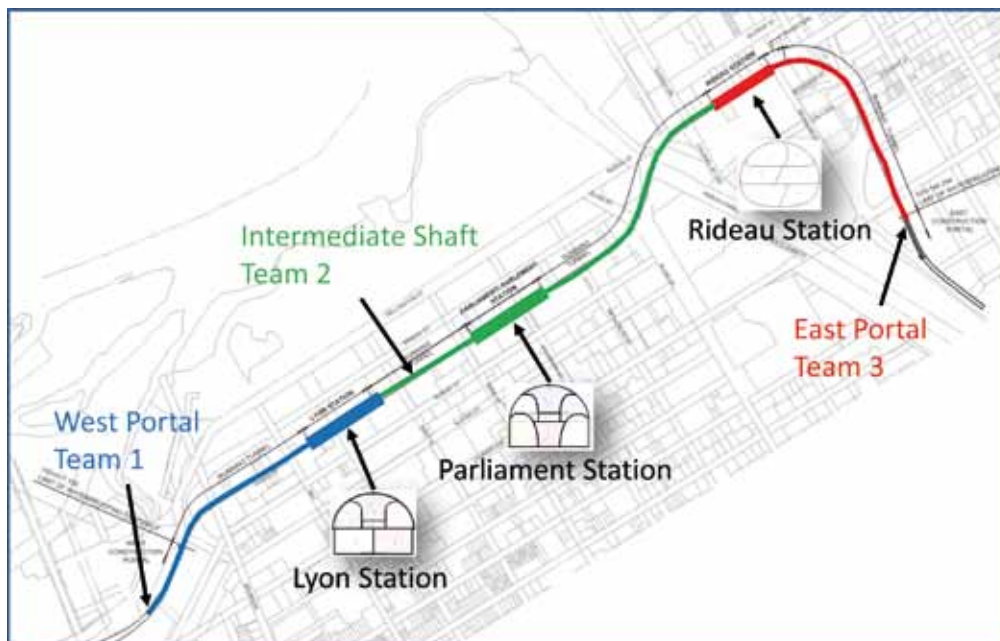


Fig. 10. Secuencia constructiva



Fotos 6 y 7. Pozo intermedio

ción y protección contra heladas a fin de dar continuidad a los trabajos durante todo el año.

El pozo de ataque intermedio se encuentra ubicado en un parking localizado en la confluencia de Queen St y Kent St. Presenta sección rectangular de 15 m x 23 m y una profundidad de 17 m (ver fotos 6 y 7). La elección del método constructivo para trabajar desde este pozo, con rozadoras, permite el trabajo las 24 horas del día sin sobrepasar los límites de ruidos prescritos y sin influencia en el tráfico local al minimizar la entrada y salida de vehículos a este lugar.

Los equipos de excavación están compuestos por rozadoras pesadas modelo Sandvik MT 720 de 135 ton y pala cargadora de bajo perfil Scooptram modelo CAT R1600G.

#### 4. Coste social

Las infraestructuras subterráneas realizadas en zonas urbanas presentan grandes ventajas en su conjunto frente a sus alternativas a cielo abierto. Es por ello que las entidades que planifican las nuevas redes de servicios en las ciudades o analizan la manera de mejorar las existentes, deben de tener en cuenta el llamado coste social. El coste



Foto 8. Equipos de excavación y desescombro

de construcción es tan solo una parte del coste final para el usuario ya que gran parte de esas infraestructuras se financian a través de los impuestos de los ciudadanos.

Durante la construcción, en caso de seleccionar una solución a cielo abierto, se debe de evaluar el coste social de:

- Gestión del tráfico.
- Reubicación de servicios.
- Pérdidas de los negocios de la zona.
- Valor de la propiedad.
- Molestias a los viandantes.

La interrupción o corte de vías de circulación para construir la nueva infraestructura repercute en costes tales como mayor tiempo de recorrido diario, mayor consumo de combustible, mayor emisión de gases nocivos, mayor riesgo de accidente, etc.

La reubicación de servicios, si bien supone un coste que suele estar incluido en el de las propias obras, no deja de ser un sobrecoste frente a la solución subterránea y que suele repercutir en el plazo total de construcción. Al tratarse de empresas públicas o privadas no relacionadas con el desarrollo de la nueva infraestructura, sus intereses se contraponen a los de ésta. Por ello, se genera una incertidumbre en el plazo de ejecución de estas reubicaciones, quedando la constructora en muchas ocasiones sin el control de los trabajos y a expensas de la buena voluntad en la gestión de las compañías afectadas.

La experiencia nos dice que, en aquellas ciudades donde se han realizado este tipo de actuaciones a cielo abierto, han supuesto una pérdida de negocio para los locales establecidos en la zona llegando al cierre en un número no despreciable de casos al recurrir los peatones, potenciales clientes, a circular por vías alternativas a fin de evitar las molestias ocasionadas por las obras. Incluso manteniendo accesos temporales a todos los establecimientos, portales o garajes, estos son poco confortables para el usuario.

Si, además, se opta por una solución de trazado aéreo o en trinchera sin losa de cobertura, se presenta una pérdida significativa del valor de las propiedades que se encuen-

tran a lo largo del trazado. Así, una vivienda que reduce su precio de venta repercute negativamente en los ingresos del propietario y en la recaudación de impuestos por parte de las autoridades locales.

Por último, las obras en superficie ocasionan verdaderas barreras de movilidad que causan trastornos a los ciudadanos en sus desplazamientos a pie que acompañados por los ruidos y suciedad que generan van en detrimento de la calidad de vida de los mismos. Además, los trabajos en superficie suelen estar limitados en horario, normalmente prohibidos durante la noche y los días festivos, lo que repercute en el plazo de construcción.

Todos estos inconvenientes se evitarían en gran medida en el caso de optar por la solución de excavación en mina, independientemente de la tecnología empleada. Actualmente se dispone del conocimiento para afrontar cualquier tipo de terreno con éxito. Asimismo, permite comenzar con la ejecución de los trabajos tras la adjudicación de los mismos y reduce el riesgo de incumplimiento de plazos dado que se dispone del control y conocimiento para su realización.

Desde el punto de vista de la Administración, la solución subterránea presenta el atractivo de disminuir el coste social frente a la alternativa en superficie por los motivos enumerados anteriormente. Las ingenierías deben de tener estos factores en cuenta, pues deben de ofrecer a sus clientes la solución que globalmente represente el menor coste para los ciudadanos. El contratista debe de analizar los costes constructivos de ambas soluciones pues dependerá de los procedimientos utilizados en cada caso, profundidad, dimensiones y características geotécnicas del terreno, aparte de las restricciones particulares a tener en cuenta para llegar a la conclusión correcta.

La ingeniería de túneles dispone de la tecnología para realizar las infraestructuras subterráneas y debemos apostar por ello. La discretización de los trabajos en diferentes contratos independientes va en contra de la reducción del coste social ya que en cada contrato, el adjudicatario va a centrar su interés en obtener el máximo beneficio del mismo sin considerar la visión global que proporcionaría el máximo beneficio a los ciudadanos. Los contratos PPP (*Public Private Partnership*) van encaminados en este sentido de proporcionar las soluciones más adecuadas en cada caso, minimizando el coste social.



Fotos 9 y 10. Excavación de cavernas en avance y destroza en zonas no sensibles (izda.) y mediante sistema de control de cargas mediante tirantes en zonas sensibles (dcha.)

Lo que ya es un hecho en numerosas urbes, transfiriendo las infraestructuras al subsuelo como forma de mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos, debemos también aplicarlo a su construcción, no siendo una molestia durante este tiempo ya que se pueden causar trastornos irremediables y que la nueva construcción no compense el daño provocado durante su ejecución.

## 5. Conclusiones

Las técnicas de excavación de túneles son múltiples y variadas. La geología del terreno a excavar es determinante a la hora de elegir el método constructivo, pero no es el único factor a tener en cuenta. Por el contrario, existen numerosos factores que influyen a la hora de seleccionar el mejor de entre los posibles métodos. De estos factores que están directamente relacionados con la propia ejecución, algunos pueden ser restrictivos y condicionar el método. Como hemos visto a lo largo del presente capítulo, estos pueden ser la reubicación de servicios, el mantenimiento de accesos, reordenación del tráfico o limitaciones en horario de trabajo por ruidos y vibraciones.

La excavación en mina, por métodos convencionales o con tuneladoras minimizan estos impactos negativos que afectan al coste social del proyecto haciendo éste atractivo a los ojos de los ciudadanos y de las autoridades, al minimizar las molestias y no influir negativamente en la gestión de sus propios negocios o en el valor de sus propiedades.

Por ello, los responsables de desarrollar las nuevas infraestructuras urbanas deben de tener en cuenta este

coste social de forma global para, de este modo, permitir el desarrollo sostenible y mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos. De nada sirve construir infraestructuras que mejoren el funcionamiento diario de una ciudad si en el camino se ha perjudicado, a veces de forma permanente e indefinida, a los ciudadanos que viven o realizan su actividad comercial en el entorno de la misma.

Los contratos tipo PPP (*Public Private Partnership*) deben de ir encaminados en este sentido y es una herramienta que permite desarrollar las ideas más innovadoras al contratista y al diseñador de las nuevas infraestructuras sin perjudicar a los ciudadanos durante su construcción.

En general, los contratos de diseño y construcción deben de contemplarlo igualmente ya que serán acogidos con agrado por parte de las autoridades sin suponer, en la mayoría de los casos, un mayor coste económico y por supuesto con menor coste social. **ROP**

## Referencias

- Fernández, E. "Los mitos en los túneles. Una revisión de las prácticas actuales". Ingeotúneles Vol.20 Cap.1 Editor E.T.S.I. Minas U.P.M. Madrid, 2013.
- Fernández, E. Laubbichler, J. "The invisible SEM. Flexible tunneling method in urban areas". Tunneling Association of Canada TAC Proceedings Montreal 2012