

CROSSRAIL

Un nuevo metro

16



para Londres

17

DEBAJO DE Londres se encuentra un intrincado y extenso sistema subterráneo que data desde hace siglos. La gran cantidad de túneles en uso y abandonados que forman parte de esta ciudad responde en parte al suelo arcilloso sobre el que se desplanta esta poblada urbe.

	Arq. Adriana Valdés, Constanza Ontiveros
	 www.facebook.com/Cyt.imcyc
	 @Cement_concrete
Fotografías: Crossrail	

Pruueba de ello es que Londres cuenta con la red de metro más antigua del mundo la cual data de mediados del siglo XIX. Actualmente esta red está compuesta por 408 km de vías activas, además de varias inactivas que logran dar servicio diario a más de tres millones de viajeros.

Sin embargo, el crecimiento vertiginoso de esta ciudad –Londres registra actualmente 8.6 millones de habitantes- ha hecho que las autoridades se hayan planteando un magno proyecto para añadir aún más ramas al metro de Londres como parte de una iniciativa global de infraestructura. El nuevo ramal lleva el nombre de Crossrail y se completará en una segunda etapa con el Crossrail 2. Aunado a la obra del metro, el proyecto maestro incluye la construcción de seis nuevos puentes y túneles en el río, un nuevo aeropuerto y 200 km de carriles de bicicleta.

Se tiene contemplado que el proyecto de Crossrail, iniciado desde el 2009, sea culminado en una primera etapa a fines de 2018 involucrando una inversión de más de 20,700 millones de euros. Este ramal contará con 40 estaciones que atraviesan la ciudad a lo largo de más de 100 km con la intención de dar servicio a 200 millones de personas al año que circularán a bordo de los 24 trenes que recorrerán esta línea cada hora. Cada tren mide 200 m y está formado por 11 vagones con espacio para

transportar a 1,500 personas cada uno, lo cual dobla la capacidad de los trenes convencionales empleados hoy en día en el metro de Londres.

Las magnitudes de la obra de Crossrail y su complejidad logística y operativa se hacen visibles en la gran cantidad de gente que labora en ella, ya que más de 10,000 personas trabajan diariamente de manera paralela en 40 sitios de construcción.

CROSSRAIL: UNA OBRA DE MAGNAS DIMENSIONES

La estructura principal de Crossrail se compone por dos gigantes túneles paralelos de 21 km por 6.2 m de diámetro que se desplantan a una impresionante profundidad de hasta 40 m por debajo del nivel de la ciudad. La primera fase de la obra consistió en la excavación de los túneles, los cuales fueron excavados en su totalidad durante un lapso de tres años gracias a la labor de ocho máquinas excavadoras gigantes (Tunnel Boring Machines. TBM) especialmente diseñadas para esta obra.

Cada una de las máquinas empleadas en Crossrail pesa más de 1,000 toneladas y mide 150 m de largo logrando perforar a un ritmo aproximado de 20 metros al día. Las máquinas empleadas en la obra tienen forma de cilindro y cuentan con un cortador que rota en la parte delantera que es presionado contra la superficie del túnel logrando efectuar hasta 3.19 rotaciones por minuto. Dentro de esta enorme rueda se encuentran numerosos aditamentos que fragmentan el material recolectado, el cual es acarreado automáticamente a una cinta transportadora ubicada en la parte trasera de cada máquina para remover los escombros fuera del túnel. A su vez, detrás de cada máquina se almacenan todos los equipos mecánicos y eléctricos requeridos en una serie de remolques.

Cabe señalar que durante el proceso de excavación de los túneles la superficie fue continuamente monitoreada por medio de sensores de presión con el fin de regular la fuerza de la rueda cortadora delantera y



Cifras generales de excavación

de registrar la afluencia de la cinta transportadora logrando guardar un registro exacto de la cantidad de material extraída. Aunado a esto, se realizaron estudios previos para determinar, prevenir y solucionar los asentamientos generados por la excavación a lo largo de la ciudad. Al concluirse la fase de excavación algunas de las máquinas fueron desmanteladas bajo tierra y subidas por ductos a la superficie, mientras que la mayoría de los cilindros de la parte delantera se dejarán bajo tierra debido a los altos costos de transporte y a su especificidad.

Como es de esperarse, el proceso de excavación levantó una enorme cantidad de escombros -más de 1,2 millones de toneladas-, los cuales se transportaron hasta la isla de Wallasea, en Essex, con la intención de crear una nueva reserva natural en colaboración con la Real Sociedad para la Protección de las Aves.

Cantidad de máquinas especializadas empleadas (TBM): 8.

Diámetro de cada túnel: 6.2 metros.

Diámetro de las cortadoras de las TBM: 7.1 metros.

Avance promedio de la perforación: 100 m por semana.

Largo de cada TBM: 148 metros.

Peso de cada TBM: 980 toneladas.

Fuerza empleada: 58,000 kN aproximadamente.

Velocidad de rotación de la cortadora: hasta 3.19 rotaciones por minuto.

Horarios de operación: 24 horas al día los 7 días de la semana. Con equipos de 20 personas por cada TBM.

EL USO DEL CONCRETO EN LA OBRA DE CROSSRAIL

De acuerdo al equipo de ingeniería, el concreto es un material fundamental para el desarrollo de este proyecto. Su importancia se hace patente a través de la gran cantidad de concreto empleada en la obra, ya que se han utilizado alrededor de 8 millones de





toneladas de mezcla. Lo anterior equivale a medio millón de toneladas de concreto, 2,5 millones de toneladas de arena y 4 millones de toneladas de agregados.

Desde sus primeras etapas los especialistas que laboran en este proyecto han buscado continuamente maneras para incrementar la eficiencia y efectividad del concreto que forma parte de este magno proyecto. Lo anterior se ha logrado por medio de la introducción de nuevas tecnologías con la intención de reducir la cantidad de concreto requerida sin comprometer su funcionamiento y durabilidad.

Otra preocupación también ha sido la de disminuir el consumo de energía en

esta obra. Como ejemplo de este interés se buscaron rutas alternas -como es el caso del río- para transportar los segmentos de concreto empleados en la zona este de la obra. En términos generales en Crossrail se ha utilizado el concreto en dos componentes principales de la obra:

- 1) en los segmentos instalados en los túneles por las máquinas especializadas (*Tunnel Boring machines. TBM*) y
- 2) en el recubrimiento de cada túnel.

A su vez, se ha establecido un laboratorio y academia (*Underground Construction Academy-TUCA*) con la finalidad de experimentar con el concreto que será empleado en la obra y de probar los procesos de excavación y construcción. Aunado a esto, aquí se llevan a cabo cursos especializados de entrenamiento para el personal que se integra la empresa.

ESPECIFICACIONES DEL CONCRETO EN CROSSRAIL

A partir de lo referido por el equipo de ingeniería de Crossrail, los 42 km del recubrimiento de los túneles se conforman por segmentos de concreto prefabricado (*PCC segments*) con un grado de C40/50, los cuales están diseñados para durar alrededor de 120 años. Cada uno de ellos mide 1.6 m y es diseñado con diversas formas para permitir que los túneles tengan una





Agregados y aditivos empleados en Crossrail

aparición curva. En total se tiene contemplado emplear alrededor de 250,000 de estos segmentos en la obra.

La mayoría de los segmentos de concreto utilizados fueron reforzados y recubiertos con fibra de acero (SFR) y adquirieron resistencia al fuego por medio de fibras de polipropileno. El reforzamiento por medio de varillas solo fue usado en áreas específicas para ser capaz de soportar las losas flotantes para vías férreas o donde había estructuras preexistentes que podían adicionar carga a los recubrimientos. Según lo relatado por los especialistas, al minimizar el uso del reforzamiento por medio de varillas y emplear concreto con una baja permeabilidad, se logra un recubrimiento durable que provee a los túneles de un ambiente estable.

Además del refuerzo de fibra de acero (SFR), fueron empleadas algunas uniones curvas en las que se colocaron pernos radiales para generar un medio estable para la distribución de movimientos y fuerzas a través de los anillos de concreto prefabricado que forman parte de cada segmento. Cabe apuntar que cada anillo está formado por ocho segmentos de concreto prefabricado y tiene un largo de 1,600mm aproximadamente. En este caso la superficie se hace impermeable por medio de juntas especialmente diseñadas. Lo anterior responde a que la estabilidad de las uniones de cada segmento es vital para lograr mantener el carácter impermeable de los túneles.

En esta obra fueron utilizados diversos tipos de agregados (detallados en la TABLA 2). Sin embargo, todas las mezclas emplearon agregados de piedra caliza (10 mm y 20 mm) debido a su fuerza compresora y a las bajas posibilidades de una reacción Sílico-Alcalina (ASR). A su vez, estos agregados tienen un riesgo mínimo de generar encogimientos durante el secado. Por otra parte, las fibras de polipropileno añadidas a la mezcla de concreto logran proteger los recubrimientos en contra del fuego al prevenir los desprendimientos durante la etapa inicial de un incendio. De esta manera, los recubrimientos tienen la capacidad de tolerar la

Información proporcionada por Crossrail

- a) En el recubrimiento de concreto:
 - Glenium Sky901 para mejorar el manejo de la mezcla.
 - MasterRoc SA160 para acelerar el asentamiento del concreto aplicado y para incrementar su fuerza.
 - Emsac 500 SE para controlar la segregación de la mezcla y conservar su fuerza.
- b) First Stage Track-Bed Concrete:
 - Aquatard para disminuir el ritmo de asentamiento del concreto lo que facilitó el terminado final en los sitios de construcción.
- c) Segmentos de concreto prefabricados
 - Pulverised Fuel Ash (PFA) dentro de la mezcla (113 kg por cada m³ de concreto). Este material logra aumentar la durabilidad mediante la reducción en la cantidad de agua empleada, es resistente a los ataques de sulfatos, se reducen las grietas y encogimientos y se aumenta la resistencia a las reacciones Sílico-Alcalinas, entre otros beneficios.

curva de un tipo de fuego por hidrocarburos (RABT-ZTV) cuyas características son el incremento instantáneo de la temperatura (1200deg C en 5 min) y su larga duración (1200deg C durante 60mins).

AVANCES Y RETOS

Actualmente el proceso de excavación está completado al 100% y la construcción de las nuevas estaciones en la parte central de Londres y en Docklands se encuentra a la mitad del proceso con casi 16 km de plataformas y túneles terminados debajo de las calles de la ciudad logrando generar la menor cantidad de ruido y de molestias a los habitantes. En estos momentos se construyen las estaciones de Paddington, Bond Street, Tottenham Court Road, Farringdon, Liverpool Street, Whitechapel, Canary Wharf, Custom House y Woolwich a un ritmo acelerado.

De acuerdo a las autoridades de Crossrail, a partir del 2018 las estaciones localizadas en la parte central de Londres darán servicio diario por medio de 24 trenes en cada dirección durante las horas pico. No queda más que esperar el continuo avance de este magno proyecto, ya que en él se plasman numerosas innovaciones en cuanto a planeación, logística, implementación de una obra con las mínimas afectaciones a la ciudad y, por supuesto, en cuanto a las posibilidades tecnológicas del concreto y sus aplicaciones en las diversas fases de la obra. **C**