

En el casco urbano de Barcelona (tramo III, Línea 9 del Metro)

Auditoría y control de voladuras para la extracción de la cabeza de corte de una tuneladora

La construcción de la *Línea 9/10* de Barcelona es uno de los proyectos de ingeniería más ambiciosos que actualmente lleva a cabo la *Generalitat de Catalunya*, a través de GISA. La necesidad de sustituir el cabezal de corte –debido al cambio brusco de la geología del subsuelo de la traza– de una de las tuneladoras utilizadas en la excavación del tramo III de la *Línea 9*, ha precisado la excavación mediante voladura de una gran galería que conectará la traza con el pozo de ventilación de la plaza Havaneres. Los trabajos de voladuras para la ejecución de la galería de conexión y la reprofundización del pozo de ventilación fueron subcontratados por la *UTE L9 (FCC, Ferrovial, OHL, Copisa y Copcisa)* a la empresa *Osebe*, y la Dirección de Obra (*Payma Cotas-Bureau Veritas*) contrató a *Blast Consult* la auditoría de los trabajos con explosivos, para certificar la seguridad y control de las voladuras a fin de evitar molestias al vecindario y desperfectos sobre el entorno.

La construcción de la *Línea 9/10* de Barcelona es uno de los proyectos de ingeniería más ambiciosos que actualmente está llevando a cabo La *Generalitat de Catalunya*. Con 47,8km de longitud será la línea subterránea más larga de Europa conectando hasta cinco municipios: *Santa Coloma de Gramenet, Badalona, Barcelona, l'Hospitalet de Llobregat* y el *Prat de Llobregat*.

Dicha Línea constará de 52 estaciones, 20 de las cuales serán intercambiadores que permitirán mejorar el transporte en el Área Metropolitana de Barcelona ya que conectarán con otros sistemas de transporte colectivo como Cercanías, TAV, L1-L2-L3-L4 y L5 del Metro de Barcelona, Ferrocarriles de la *Generalitat de Catalunya*, mediante el departamento de *Política Territorial i Obres Públiques* ha impulsado el planeamiento y la construcción de la Línea. La Línea la financia y la promueve con *Ifercat (Infraestructures Ferroviàries de Catalunya)*, y la gestiona y construye con *GISA (Gestió d'Infraestructures SAU)*. Por otro lado, *TMB (Transports Metropolitans de Barcelona)* es el operador de la línea.

El desarrollo de esta infraestructura tiene un presupuesto total de 6.500 M€ y requiere de una organización bien estructurada por parte de la Administración. La *Generalitat de Catalunya*, mediante el departamento de *Política Territorial i Obres Públiques* ha impulsado el planeamiento y la construcción de la Línea. La Línea la financia y la promueve con *Ifercat (Infraestructures Ferroviàries de Catalunya)*, y la gestiona y construye con *GISA (Gestió d'Infraestructures SAU)*. Por otro lado, *TMB (Transports Metropolitans de Barcelona)* es el operador de la línea.

La Plaza de Havaneres y el pozo de ventilación

Este artículo se centra en el pozo de la Plaza de Havaneres (**Fig 1**), correspondiente al *Tramo III de la Línea 9 del Metro de Barcelona*, y que concretamente está ligado al contrato de la construcción de la infraestructura del túnel entre *Sagrera Meridiana* y *Mandri*. *GISA*, mediante concurso público, adjudicó la Dirección de la Obra de este Tramo a la empresa *Payma Cotas* y adjudicó la construcción de la infraestructura a *UTE Línea 9* (formada por las empre-

Palabras clave: AUDITORÍA, CABEZA DE CORTE, CONTROL, DESTROZA, GALERÍA, POZO, PROYECCIÓN, RECORTE, VOLADURA.

Roger ELOY, GISA.
Roger PILLAO, PAYMA COTAS -BUREAU VER.
Benjamín CEBRIÁN, BLAST CONSULT, S.L.

sas constructoras *FCC, Ferrovial, OHL, Copisa* y *Copcisa*).

El Pozo de la Plaza Havaneres esta proyectado y ejecutado como pozo de ventilación para las líneas 9 y 4 y como salida de emergencia. Este pozo constituía el final del recorrido de la tuneladora procedente del tramo de Badalona, y por lo tanto fue utilizado como pozo de extracción.

Debido a la complicada litología del subsuelo de Barcelona presente en la traza del tramo III, la tuneladora procedente de excavar el tramo de Santa Coloma de Gramenet y Via Trajana-Sagrera Meridiana, precisó sustituir su cabeza de corte sirviéndose del citado pozo de Plaça Havaneres. En el tramo Sagrera-Me-



Inicio de la excavación en avance (arriba) y destroza (abajo) de la galería de conexión con el pozo de Havaneres.



ridiana – Mandri el trazado era prácticamente tangente al pozo de la Plaza de Havaneres.

La sustitución de la cabeza de la tuneladora estuvo motivada por el cambio brusco de geología que se

Pozo de ventilación de Plaza Havaneres utilizado para conectar con la traza del túnel y extraer la cabeza de corte a sustituir.



Reprofundización del pozo de ventilación y de la galería de conexión para ganar en altura suficiente para el cambio de la cabeza de corte de la tuneladora (Foto: GISA).

dadanos. En el caso del Pozo de Havaneres y básicamente debido al uso de explosivos y a la proximidad de viviendas, se transmitió a la Dirección de Obra (*Payma Cotas Bureau Veritas*) la necesidad de llevar un control muy minucioso sobre los trabajos realizados por UTE L9. Por este motivo *Bureau Veritas* contactó con *Blast Consult S.L.* quien fue la encargada de auditar estos trabajos con explosivos, con el objetivo de certificar la seguridad de las voladuras, analizar formas de incrementar el ritmo de las labores de excavación y realizar un registro exhaustivo de cada disparo.

La apuesta por garantizar niveles de calidad elevados en la ejecución de voladuras por parte de GISA y *Bureau Veritas* supone un paso pionero en el control de voladuras. El resultado de esta colaboración ha sido un éxito rotundo, consiguiendo ejecutar la obra en el ajustado plazo requerido y sin ocasionar molestias a los vecinos ni desperfectos sobre sus bienes.

Descripción de las voladuras disparadas en la Plaza Havaneres

En la profundización del pozo se dispararon 2 tipos de voladura:

- De *destroza* en galería, formando una cámara para extraer la cabeza de la tuneladora.
- De *profundización* de pozo.

Voladuras de galería

Las voladuras de galería presentaban dos retos fundamentales: fragmentación y buena calidad de los recortes. Esto garantizando, por supuesto, ausencia de proyecciones y niveles bajos de vibración.

La necesidad de una fragmentación adecuada se debía a su repercusión en el trabajo posterior de desescombro. Con un cuello de botella situado en las cubas aerotransportadas de material, todo defecto de fragmentación se pagaba con menores tonelajes por cuba y menores ritmos de la retroexcavadora.

Producir daños y sobreexcavaciones en los hastiales, derivaba en tiempos extendidos de saneo y consumos elevados de gunita y otras medidas de fortificación (**Figs. 2 y 3**). Enfocar



Secuencia de una voladura. Las auditorías revelaron puntos a reforzar/revisar en los blindajes de contención para incrementar la seguridad frente a proyecciones.

produce justo antes de llegar a la Plaza de Havaneres, pasando de un terreno conformado básicamente por suelos, a un terreno granítico competente.

Para realizar esta sustitución, y debido a que el trazado del túnel en este tramo no intercepta el pozo de la Plaza de Havaneres, se precisó de la excavación de una galería de grandes dimensiones que permitiera la maniobra del cambio de cabeza de la tuneladora lateralmente. Dicha galería se construyó desde el pozo de la Plaza de Havaneres que tiene 26 m de diámetro y 80 de profundidad. La construcción de este pozo y de la mencionada galería –cuya dirección facultativa corrió a cargo de *Magi Pina*–, suponía en sí mismo un reto, debido a varios factores importantes:

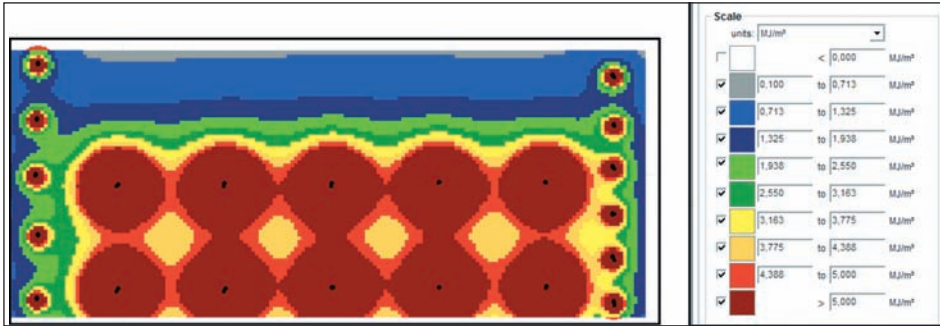
- Las condiciones geológicas del terreno.
- El método de arranque empleado mediante explosivo.
- El ámbito urbano de la obra.
- La proximidad de las viviendas al pozo.
- La situación bajo viviendas de la caverna subterránea .

UTE L9 contrató los trabajos de voladuras a la empresa *Osebe*, quienes fueron los responsables de la ejecución de la profundización del pozo de la Plaza de Havaneres así como de la galería de conexión del pozo con el túnel para permitir el posterior cale de la tuneladora y la sustitución de la cabeza de corte.

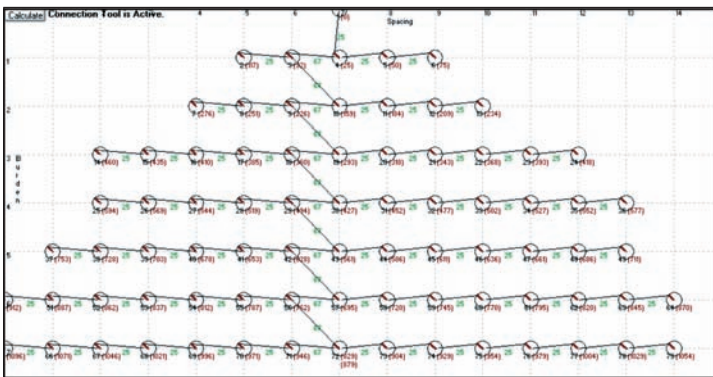
La *Generalitat de Catalunya* y GISA siempre han mostrado una especial sensibilidad con las afecciones de las obras públicas sobre los ciu-



[Figura 2].- Frente de voladura de destroza, iniciada en el centro. Obsérvese cómo la componente hacia la izquierda provocaba un dislocamiento prematuro de bloques en detrimento de una buena fragmentación y daños al hastial izquierdo.



[Fig. 3].- Análisis de distribución de energía MJ/m³ de las voladuras de destroza por JKSimBlast. La distribución energética sirve para comparar áreas que reciben mayor intensidad de energía explosiva. Este análisis indicó un déficit de energía en la parte superior de la destroza, posible causa de un sobreconfinamiento que podría dar mayores niveles de vibraciones y mayores daños en los hastiales de la galería.



[Fig. 4].- Simulación de secuencia mediante sistema no eléctrico para disparo de pozo en media sección.



[Fig. 5].- Prevención de proyecciones en voladuras de fondo de pozo: Combinación de barrera geotextil para partículas pequeñas de alta velocidad y complemento con capas pesadas de material de alta resistencia.



Sustitución de la cabeza de corte de la tuneladora a través de la galería de conexión y extracción al exterior por el pozo de ventilación de Havaneres (Foto: GISA).

de manera adecuada la secuenciación de la voladura en función de la estructura geológica dominante jugó un papel destacado en los resultados.

Voladuras de pozo

Las voladuras de profundización de pozo se realizaron en medias secciones con sistemas no eléctricos (Fig. 4). Por sus mayores dimensiones y exposición mayor al exterior del pozo, requerían medidas anti proyecciones más robustas y un control de la secuenciación exhaustivo. Se estudió la posibilidad de disparar el pozo a sección completa secuenciando con detonadores electrónicos cuyos tiempos ideales vendrían determinados por un estudio previo de onda semilla, aunque finalmente se determinó proseguir con las medias secciones y no eléctricos.

Medidas anti proyecciones

Las proyecciones, o escape incontrolado y violento de fragmentos rocosos en la voladura, fueron limitadas en esta voladura mediante el uso de técnicas complementarias (Fig. 5):

- Retacado de los barrenos mediante un material adecuado para el confinamiento de la energía explosiva.
- Empleo de barreras físicas de alta resistencia para interceptar fragmentos de roca desprendidos, en una combinación de geotextil y barreras blindadas.
- El control del diseño, perforación, carga, retacado y conexión, es decir, garantizar unos niveles de calidad elevados. La evaluación, simulación y auditoría de los parámetros de diseño y ejecución.

Resumen

La auditoría y control de calidad de las voladuras en obra han supuesto una medida pionera que derivó en una serie de ventajas para la ejecución de la obra de la Línea 9. Por un lado, se auditó de una manera independiente la seguridad en el uso de explosivos en un entorno delicado, dejándose constancia escrita de los aciertos y puntos prioritarios de supervisión. Por otro lado, los análisis de cada voladura indicaron mejoras potenciales y señalaron los cuellos de botella de producción desde una fase temprana de producción como es la perforación y voladura. Adicionalmente, los daños que derivaban en mayor saneamiento y gunitado de los hastiales de la galería quedaron identificados.

BLAST CONSULT, S.L.

José Fentanes, 42

28035 Madrid

Tel: 609 988 120 • Fax: 913 768 596

E-mail: blast-consult@blast-consult.com

Web: www.blast-consult.com

