



**Madrid Calle 30. Un año después.
Vanguardia en tecnología de las aplicaciones Hilti.
Ensayos de Fuego de los Sistemas de Fijación.
Equipo de Ensayo Hilti "Tester Mark V".**



Estimado lector:

Abordamos en este número monográfico un ejemplo único de contribución de la Ingeniería Civil al bienestar social: el Proyecto “Madrid Calle 30”. La remodelación de esta arteria de la ciudad no sólo ha permitido agilizar el tráfico en algunos de los tramos más conflictivos mejorando los accesos y conexiones, sino que ha supuesto un antes y un después en el suroeste de la ciudad. El soterramiento de la vía en esta zona ha permitido recuperar para los ciudadanos importantes espacios en superficie que se destinarán a zonas

verdes. Además, la recogida de gran parte del CO₂ emitido por los vehículos en las zonas soterradas refleja un compromiso claro con el medio ambiente y la calidad de vida.

De la mano de D. Jorge Presa Matilla, Subdirector General de Coordinación de Actuaciones. Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda del Ayuntamiento de Madrid, analizamos en una amplia entrevista los objetivos y las claves de este ambicioso proyecto. Adicionalmente a este enfoque global, centramos nuestra atención en un área técnica especialmente crítica en una obra ejecutada con elementos estructurales prefabricados: las conexiones. La unión de las losas de rodadura con las dovelas del túnel ha sido sin duda la aplicación más desafiante desde una perspectiva ingenieril. Hilti, como experto en fijaciones, ha colaborado estrechamente con los responsables del proyecto en la solución adoptada, fiable desde un punto de vista técnico y comprometida con los exigentes requerimien-

tos de plazo de ejecución.

En el apartado de Innovación, nos centramos en un tema primordial en lo que a túneles se refiere, como es la protección contra el fuego. En este artículo profundizamos en el comportamiento de los elementos de fijación y soportación de instalaciones, que son claves para garantizar la evacuación de la infraestructura en caso de incendio.

Sólo me queda expresar que “Madrid Calle 30” ha sido para Hilti un gran reto y un ejemplo altamente satisfactorio de lo que es nuestra razón de ser: el servicio a través del suministro de productos y soluciones técnicas respetuosas con el Medio Ambiente.

Atentamente.

Ángel Cueto
Director de Grandes Clientes y Proyectos. Hilti España, S.A.

Edita:

Hilti Española, S.A.
Avda. Fuente de la Mora, 2 Edificio 1
28050 Madrid
Tel. 902 100 475
Fax 900 200 417

Responsable de contenidos:

Alejandro Álvarez

Elabora y coordina:

Comunicación
Oficina Técnica
Grandes Proyectos
Desarrollo de Mercados

Colaboradores:

Marketing

Diseño y producción:

Pulse Comunicación, S.L.

Frecuencia de aparición:

Semestral

Tirada:

11.000 ejemplares
Impreso en papel ecológico. Contribuimos a conservar el medio ambiente
Buzón de sugerencias:
es.ingenia@hilti.com



Índice

Introducción

3 Madrid Calle 30.

Aplicaciones técnicas

4 Detalles de una conexión singular.

7 El límite de una solución.

10 Soluciones flexibles para los requerimientos de una gran infraestructura.

Innovación

13 Ensayos de Fuego. Garantía y Seguridad en la construcción de túneles.

La opinión del Experto

16 Madrid Calle 30. Innovación al servicio de la sociedad.

Actualidad

22 Equipo de Ensayo Hilti “Tester Mark V”: seguridad y flexibilidad de nuestras aplicaciones en obra.



4-7 Conexión con barras corrugadas y conexión con anclajes Hilti HSL-3



13 I+D de Hilti: Ensayos de Fuego en túneles



16 M-30. Un año después



22 Equipo de Ensayo Hilti “Tester Mark V”

Madrid Calle 30. Un gran proyecto

“La transformación de la M-30, primera vía de circunvalación de Madrid, en Calle 30 no supone sólo una política de modernización de una infraestructura obsoleta y problemática, sino que constituye también un elemento esencial de la estrategia de movilidad de la ciudad –en la que se intenta combinar las distintas redes y formas de movilidad urbana– y en la que se aprovecha la oportunidad de la reforma de esta infraestructura para impulsar una importante política de transformación urbana que suture algunas de las principales heridas de la ciudad, genere espacios colectivos, permita recuperar el entorno del río Manzanares y contribuya a la revitalización del centro urbano”.

El Proyecto Calle 30 es, sin duda, una de las mayores actuaciones urbanísticas realizadas en los últimos años en la ciudad de Madrid, y la más importante realizada sobre la vía, desde el cierre de la zona norte en los años 90.

Han justificado esta actuación varios aspectos, entre otros:

- La necesidad de vertebrar la ciudad, con una vía de circunvalación que fractura y divide Madrid, sobre todo en la zona del río Manzanares, donde la vía estaba encajonada junto a éste y muy próxima a las edificaciones existentes.
- Reducir la siniestralidad de la vía ajustando el viario para dar lugar a una infraestructura moderna y segura.

- Disminuir la contaminación de la vía. La mejora en su trazado así como en los firmes, lograrán no sólo un beneficio ambiental en términos de emisión de CO₂ sino que supondrán una drástica disminución del ruido soportado por los vecinos que viven próximos a los tramos que se van a soterrar.
- Ampliación de los espacios naturales, con la creación de un gran cinturón verde en la zona Sur, que se sumará al Corredor Ambiental de 3.500 hectáreas, que desde Getafe hasta El Pardo, vertebrará los distritos situados en ambas márgenes del río.
- Recuperar el río Manzanares en la zona sur de la ciudad.
- Mejorar la movilidad de la M-30 como eje clave para poder optimizar la circulación de

la ciudad, logrando un ahorro estimado de 708 millones de horas de viaje en los próximos 30 años, con una valoración económica de 3.915 millones de euros, y con repercusión directa sobre la productividad de la región.

El Plan de Reforma y Gestión Integral de la M-30 se ha centrado en numerosas zonas de la vía con diferentes grados de actuación: mejoras en las comunicaciones con otras vías, adecuaciones en la vía, y eliminación-duplicación de tramos.

No todas las actuaciones previstas en el proyecto inicial se han ejecutado a día de hoy, en concreto el proyecto By-Pass norte, túnel que permitirá cerrar la M-30 como vía rápida en lugar de la actual Avenida de la Ilustración ha quedado pospuesto, si bien sí lo han hecho algunas de las más importantes encuadradas en la zona este, sur y oeste. Entre las más destacadas podemos citar:

En primer lugar, la conexión del Paseo de Santa María de la Cabeza con la A3 correspondiente al By-Pass sur de la M-30. En segundo lugar la conexión de la Calle Embajadores con la M-40 y, finalmente, el soterramiento de seis kilómetros de viario de M-30. Esta última actuación tiene además una gran implicación a nivel urbanístico pues supone la recuperación de 500.000 metros cuadrados de espacios anteriormente ocupados por calzadas, permitiendo la creación de un gran parque que bordeará el Distrito de Arganzuela, logrando con ello dinamizar de manera indiscutible el entorno del río Manzanares.

Se trata como vemos de un gran proyecto, que, como no podía ser menos, ha ido acompañado de importantes retos técnicos, algunos de los cuales tendremos oportunidad de desarrollar en las páginas de este número 4 de la revista Ingenia, dedicado monográficamente a la revisión de las que han sido para Hilti algunas de las principales intervenciones en esta singular obra, inaugurada en Abril de 2007, proyectada y ejecutada, sin interrupción de tráfico, en un tiempo récord de 30 meses. ■



Recreación virtual del entorno del Parque de la Arganzuela, realizada por el equipo ganador del concurso Madrid Río, y pendiente de aprobación definitiva del proyecto de urbanización.

Túnel By-Pass Sur

Retos en aplicaciones innovadoras

Detalles de una conexión singular



Por su interés y relevancia, en este artículo y en el siguiente vamos a comentar dos conexiones claves especialmente particulares: la conexión de las ménsulas que sirven de apoyo a la plataforma de rodadura y la conexión de la losa superior del falso techo a las dovelas prefabricadas del túnel By-Pass Sur de la M-30.

Por **Luis Miguel Pombo**, Ingeniero, Desarrollo de Mercados, Hilti Española, S.A.

Agradecimientos: **Jorge Arias (Dragados)** y **Soñía Abajo (TYPSA)**.

Dentro de las actuaciones de Reforma y Gestión Integral de la M-30 destacan por su importancia las realizadas en el Arco Sur, sin duda la zona de mayor densidad y congestión de tráfico de toda la vía. Entre estas, el tramo conocido como By-Pass Sur, que conecta mediante un do-

ble túnel las calzadas desde Santa María de la Cabeza a la A-3 es quizás la más significativa, pues logra canalizar el tráfico de paso entre el Este y el Oeste de la M-30, configurándose como una alternativa a las calzadas previamente existentes, con el consiguiente ahorro en tiempo de circulación

por citar algunas de las ventajas que esta actuación tiene.

La solución constructiva utilizada, con ejecución mediante tuneladora EPB, ha estado condicionada por la gran profundidad requerida para este tramo con objeto de no interceptar otras vías

de comunicación existentes en la zona.

Por estos, y otros muchos condicionantes, el By-Pass Sur destaca por su complejidad técnica, constituyendo unas de las actuaciones más singulares de todo el complejo proyecto Madrid Calle 30.

Los túneles del proyecto tienen una longitud aproximada de 4.000 m por calzada, lo que suponía ejecutar 16.000 m de conexión. Se trata de una considerable longitud condicionada a su vez por los plazos tan ajustados. Los túneles se realizaron mediante tuneladora de 15 m de diámetro exterior. En el nivel de rodadura se dispone de 3 carriles para circulación de 3,50 m de ancho cada uno, 2 arcenes de 0,60 m y 2 aceras de 0,75 m. El revestimiento del túnel está constituido por dovelas prefabricadas de hormigón armado de 13,80 m de diámetro interior, 60 cm de espesor, con una longitud media de 2 m.

En el proyecto original, realizado por la empresa TYPSA, la estructura de la plataforma de rodadura se concebía como una losa monolítica constituida por dos vigas prefabricadas de 0,40 x 0,50 m dispuestas longitudinalmente, prelosas de 9 cm de canto y 1 m en dirección longitudinal y finalmente una losa in situ de 40 cm de canto, que se apoyaba sobre soportes prefabricados espaciados 5 metros entre sí. Los pilares iban dispuestos sobre banquetas fijadas a las dovelas del túnel con anclajes.

La losa por tanto constaba transversalmente de una luz central de 6,30 m entre vigas más dos voladizos laterales de 2,65 m donde se anclaban las aceras.

Análisis de la solución propuesta.

Con el objeto de simplificar la ejecución e intentar una reducción de los plazos de ejecución, la UTE propuso una modificación para la estructura de la plataforma de rodadura. En este caso, se proponía

una estructura a base de losas prefabricadas aligeradas de 0,50 m de canto y de 1,20 m de ancho con una losa de compresión de 0,10 m, las cuales cubrirían toda la luz de la plataforma de rodadura, quedando apoyadas mediante neoprenos en ménsulas fijadas a las dovelas del túnel a tal efecto (Ver Figura 1). Para la solución finalmente adoptada, la luz de las losas era de 12,60 m, y la luz de cálculo de 11,90 m. **La conexión de las ménsulas, exigía por tanto una solución con barras corrugadas conectadas a posteriori con resina en las dovelas prefabricadas del túnel.** Con objeto de analizar esta conexión, la empresa INTECSA-INARSA que asesoraba a la UTE, contactó con la Oficina Técnica de Hilti Española solicitando el estudio de una posible solución.

Para el cálculo de los esfuerzos en las ménsulas con los que dimensionar las barras de anclaje, se consideraron básicamente las hipótesis de acciones recogidas en la Instrucción de Acciones en Puente de Carretera IAP-98. Como acciones principales, aparte del peso propio de la estructura y la carga muerta, se consideró una sobrecarga de tráfico de 4 kN/m² y el carro de 600 kN.

Reflejando esfuerzos por metro lineal de conexión, el esquema de fuerzas resultante sobre la ménsula es el que se recoge a continuación (Ver Figura 2).

Despreciando, del lado de la seguridad, la contribución resistente del rozamiento entre ménsula y dovela de hormigón, y analizando el equilibrio de la ménsula como si se tratara de un sólido rígido podemos hallar las fuerzas de reacción, resultando una componente tangencial y otra normal. Con estas reacciones se determina la necesidad de anclar en las dovelas una tracción de 307,5 kN/m ($\phi 25$ c/500) en la parte superior de la ménsula y que tiende a despegar ésta, y asimismo, un cortante de 317,1 kN/m ($\phi 25$ c/333) en la parte inferior y que tiende a hacer deslizar el bloque.

Cálculo de la conexión ménsula - dovela.

Para el cálculo del anclaje necesario se han empleado las hipótesis recogidas en el Anejo C de la Normativa Europea ETAG, guía de diseño de anclajes a posteriori, realizando la comprobación con el programa de cálculo Hilti PROFIS Anchor.

No es correcto analizar cada barra de forma individualizada, sino que es preciso analizar cada fila de barras como un conjunto, dado que debido a las reducidas profundidades de empotramiento que se estaban manejando (condicionadas por el espesor de la dovela) y a la separación de las barras entre sí, existe cierta interacción y consiguiente

Fig. 1

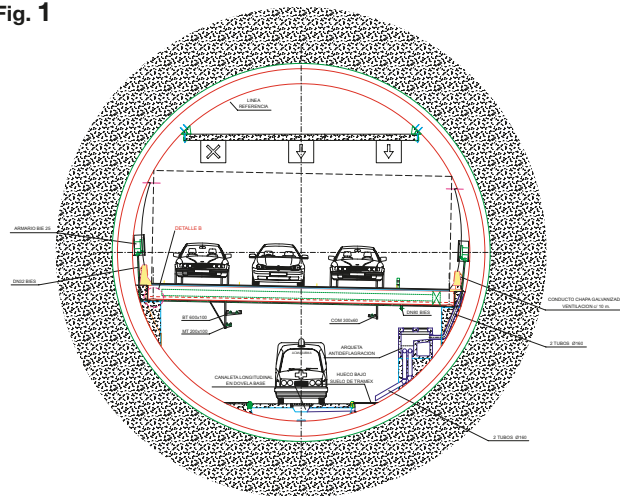


Figura 1. Sección tipo finalmente adaptada.

Fig. 2

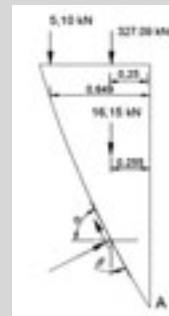


Figura 2. Esquema de fuerzas en la ménsula.

Figura 3. Detalle armado de la ménsula.

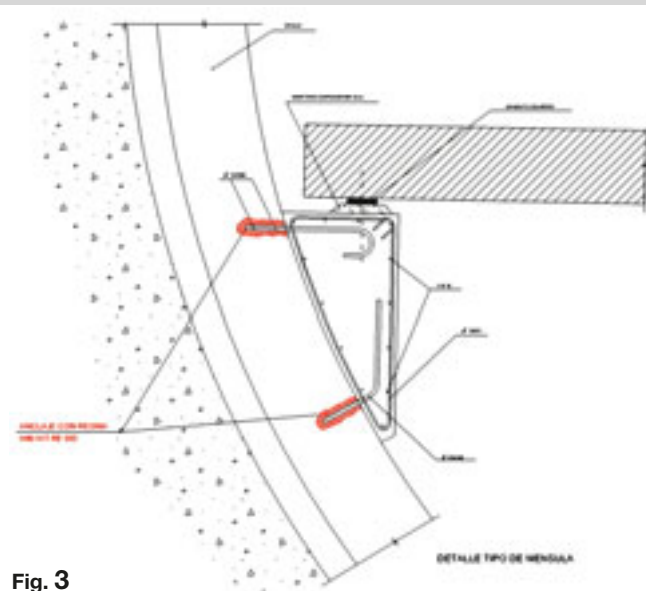


Fig. 3

pérdida de resistencia. Asimismo es preciso notar que las juntas entre dovelas generan discontinuidades que no podemos ignorar, puesto que pueden condicionar una posible rotura del anclaje por borde de hormigón y además limitar la resistencia a tracción. No obstante debido al contacto de unas dovelas con otras, van a existir necesariamente unas fuerzas de reacción que van a mejorar el comportamiento teórico en esta zona, y van a impedir en cierta medida esta posible rotura de borde de hormigón. Dado que este hecho no es fácilmente cuantificable, es preferible ignorarlo, lo cual nos deja del lado de la seguridad⁽¹⁾.

La solución finalmente adoptada para la conexión fue a base de barras $\phi 25$ c/500, en la parte superior de la ménsula y $\phi 25$ c/333 en la parte inferior, con taladros de 30-32 mm de diámetro y 400 mm de profundidad en ambos casos; rellenos con resina Hilti HIT-RE 500 (Ver Figura 3). Su elección como producto recomendado se basó no sólo en su alta capacidad adherente sino en otras características clave para poder garantizar unas condiciones de calidad adaptadas a las necesidades de ejecución de una obra de estas características.

Características de la resina Hilti HIT-RE 500.

El producto empleado para la conexión de las barras fue la resina de alta adherencia Hilti HIT-RE 500. Se trata de una resina de inyección bicomponente de base epoxídica de curado lento, muy baja retracción y con alto poder de adherencia en acero y hormigón, incluso en taladros húmedos y/o efectuados con broca de diamante, desarrollado especialmente para el anclaje de barras corrugadas a hormigón.

Además de sus inmejorables valores de adherencia, requisito indispensable

Ensayos de extracción y cortante

1. Cálculo de los anclajes inferiores

Carga a cortante

Comprobación según	Valores de diseño [kN]			Resultado
	Carga	Resistencia	Utilización β_v [%]	
Rotura de acero (sin brazo de palanca)	105.70	108.00	98	VÁLIDO
Rotura por desconchamiento	105.70	409.60	26	VÁLIDO

Rotura de acero (sin brazo de palanca)

$V_{Rk,s}$ [kN]	γ_{Ms}	$V_{Rd,s}^h$ [kN]	V_{Sd}^h [kN]
162.00	1.500	108.00	105.70

Rotura por desconchamiento

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	K-factor	empotramiento más profundo
456120.0	176400.0	210	420	2.000	1.500

$\Psi_{ec1,N}$	$\Psi_{ec2,N}$	$\Psi_{s,N}$	$\Psi_{re,N}$	$\Psi_{ucr,N}$
1.000	1.000	1.000	1.000	1.400

$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c,p}$	$V_{Rd,c}^h$ [kN]	V_{Sd}^h [kN]
169.72	1.500	409.60	105.70

2. Cálculo de los anclajes superiores

Carga a tracción

Comprobación según	Valores de diseño [kN]			Resultado
	Carga	Resistencia	Utilización β_N [%]	
Rotura de acero	153.75	204.50	75	VÁLIDO
Rotura por extracción	153.75	266.03	58	VÁLIDO
Rotura por cono de hormigón	307.50	441.36	70	VÁLIDO

Rotura de acero

$N_{Rk,s}$ [kN]	γ_{Ms}	$N_{Rd,s}^h$ [kN]	N_{Sd}^h [kN]
269.94	1.320	204.50	153.75

Rotura por extracción

$N_{Rk,p}$ [kN]	Ψ_c	$\gamma_{M,p}$	$N_{Rd,p}^h$ [kN]	N_{Sd}^h [kN]	empotramiento más profundo
206.06	1.549	1.800	266.03	153.75	1.500

Rotura por cono de hormigón

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	empotramiento más profundo
352800.0	176400.0	210	420	1.500

$\Psi_{ec1,N}$	$\Psi_{ec2,N}$	$\Psi_{re,N}$	$\Psi_{s,N}$	$\Psi_{ucr,N}$
1.000	1.000	1.000	1.000	1.400

$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$N_{Rd,c}$ [kN]	N_{Sd} [kN]
169.72	1.800	441.36	307.50

ble por cálculo, para un proyecto de las características del By-Pass Sur, era imprescindible contar con un producto de las máximas garantías. En concreto, interesa prestar atención a las siguientes propiedades:

- **Comportamiento a largo plazo:** diferentes ensayos a varias temperaturas y condiciones de humedad, corroboran el buen comportamiento y permanencia de propiedades de la resina a largo plazo incluyendo ensayos de fluencia bajo carga.
- **Comportamiento a fatiga/sismo:** diferentes ensayos según normas americanas como la ICBO AC58, verifican la posibilidad de empleo de la resina bajo cargas cíclicas o de sismo,

lo cual da tranquilidad en cuanto a la continua circulación de vehículos y su consiguiente oscilación de cargas.

- **Comportamiento en caso de incendio:** bajo diferentes hipótesis de incendio, y diferentes tipos de detalles constructivos, es posible predecir la resistencia de las conexiones de barras corrugadas ancladas con resina Hilti HIT-RE 500. La seguridad frente a incendio es uno de los puntos clave del By-Pass, y un elemento de la importancia estructural de la ménsula debía ser seguro también bajo la hipótesis de incendio.
- **Resistencia al agua/humedad:** la resina Hilti HIT-RE 500 puede ser empleada en medios perma-

nentemente húmedos sin pérdida de propiedades, lo cual debe ser tenido en cuenta al tratarse de una obra subterránea con zonas de hormigón. ■

Datos de la obra

Proyecto: By-Pass Sur M-30.
Localización: Madrid.
Propiedad: Ayto. de Madrid.
Ingeniería: TYPESA.
Contratistas:
 UTE Dragados - FCC
 UTE Acciona - Ferrovial
Inspección y vigilancia:
 AEPO - IBERINSA
 INTEMAC - GIMPROSA
Control de Calidad:
 Azierta Geoteyco - Eurocontrol
 EPTISA - Euro Estudios

¹ Para más información a este respecto puede consultar el artículo técnico de la página 7.

Túnel By-Pass Sur

Retos en aplicaciones innovadoras

El límite de una conexión

Este artículo se centra en el análisis de la conexión de la losa de falso techo del túnel By-Pass Sur, del tramo ejecutado por la UTE Dragados - FCC. Como en la conexión de la ménsula de la plataforma de rodadura, objeto de análisis en el artículo anterior, la Oficina Técnica de Hilti Española colaboró en el diseño de la solución finalmente adoptada.

Por **Alejandro Álvarez**, Ingeniero, Oficina Técnica de Hilti Española, S.A.

Agradecimientos: **UTE Dragados - FCC Túnel Sur, By-Pass Sur M-30.**

Un túnel es quizás una de las infraestructuras más complejas tanto en diseño, como en construcción y en explotación, pues en cada una de estas etapas es necesario considerar numerosos parámetros e hipótesis de diseño. Especial relevancia tienen los relacionados con la funcionalidad y muy especialmente los de seguridad, pues un túnel es una infraestructura en la que normalmente el acceso, la evacuación de los vehículos y sus ocupantes es muy compleja, con gran riesgo para la seguridad en caso de accidente, lo que obliga a extremar las precauciones, sobre todo en caso de incendio.

Por esta razón, las instalaciones cumplen un papel clave en este tipo de infraestructuras con una importancia mayor frente a otras, como puede ser un puente convencional, o en un tramo de autovía por citar algunos casos. Entre las instalaciones más destacadas, debemos señalar no sólo las de iluminación sino sobre todo las instalaciones de extinción de incendios, evacuación, comunicación y extracción de humos, tanto en su hipótesis de uso como en la de incendios. Todos estos criterios han sido abordados en el gran proyecto del túnel By-Pass Sur de la M-30 de Madrid, infraestructura de gran complejidad por su longitud de 4000 m y por su altísima carga de tráfico soportada por 3 carriles por sentido.

Por todo lo anterior, el diseño de la sección de un túnel ha de tener en cuenta la necesidad de alojar un número importante de instalaciones que den servicio a la infraestructura, así como servir de evacuación de humos en las hipótesis antes comentadas.

En el caso del túnel By-Pass Sur, dos bocas de 15 m con un diámetro interior útil de 13,8 m respectivamente, la sección definida en proyecto por parte de TYPESA quedaba dividida en tres zonas diferenciadas: una central de rodadura de tráfico con 3 carriles, bajo la que se sitúa una vía de servicio y acceso de emergencias, y una superior, a modo de falso techo. Se trata de un esquema con tres zonas independientes con diferentes usos, los anteriormente comentados y el de ventilación. La zona superior de falso techo se utiliza como galería de extracción de aire y la inferior, bajo la losa de rodadura, como galería de inyección de aire fresco. Adicionalmente el sistema se completa con varios pozos de ventilación, estando todo el sistema asistido con ventiladores.

Encontramos por tanto 3 zonas segregadas separadas por dos elementos estructurales a conectar en los extremos a las dovelas prefabricadas del túnel. Ambas conexiones, han sido analizadas en su fase de diseño por la Oficina Técnica

de Hilti Española y son objeto de análisis en este número monográfico de la revista Ingenia, estando este artículo centrado en el análisis de la conexión de la losa superior del falso techo del túnel Sur ejecutado por UTE Dragados - FCC.

Estudio de la conexión a las dovelas prefabricadas.

La solución finalmente adoptada para la losa del techo se compone de losas alveolares prefabricadas de 0,25 m de canto y 10,65 m de largo estándar simplemente apoyadas en los extremos en dos ménsulas metálicas empotradas en las dovelas del túnel. Las losas situadas a 2,35 m bajo la clave dejan libre en la parte superior una superficie útil de unos 11 m², permitiendo la extracción del caudal de aire requerido. Éstas losas, con un peso propio de 3,95 kN/m² estaban calculadas para asumir una carga adicional de 2,0 kN/m².

El proceso constructivo elegido permitía de manera sencilla que una vez colocada la ménsula, elevar la placa y apoyarla sobre la ménsula gracias a un ingenioso sistema de bisagra que permitiría variar la geometría de la ménsula para que la losa pudiera ser izada. Una vez realizada esta operación, la bisagra se bloqueaba por medio de unos torni-

llos de alta resistencia, bajando posteriormente la losa hasta apoyarla sobre la ménsula (Ver el proceso de montaje en la figura 1).

Los anclajes seleccionados por parte de la Dirección de la Obra para garantizar la transmisión de esfuerzos de la ménsula a la dovela fueron los anclajes Hilti HSL-3 M16/25 como elementos principales y los anclajes Hilti HST M8x25 como anclajes supletorios para montaje, si bien tras un análisis más detallado se optó por eliminar éstos al poderse realizar el montaje fácilmente sólo con anclajes Hilti HSL-3. **El anclaje Hilti HSL-3 es un anclaje mecánico de alta capacidad de carga, con Documento de Idoneidad Técnica Europeo 02/0042 Opción 1⁽¹⁾, lo que valida su uso en hormigón no fisurado y fisurado y con un rango de calidad de hormigón hasta 50 N/mm².**

La carga por cada anclaje Hilti HSL-3, tras el análisis de acciones externas era de 37,8 kN a tracción y 23,2 kN a cortante.

La premisa de la UTE era llegar a una solución que pudiera ser válida en lo posible, para toda la longitud del túnel, si bien la presencia de juntas entre dovelas y la presencia de oquedades en las juntas, habituales en estos elementos para permitir la manipulación en la colocación de las dovelas, planteaban

¹ Ver en el número 1 de esta revista, la entrevista realizada a Dr. Ing. Rolf Eligehausen, miembro del grupo de trabajo de anclajes EOTA y al Dr. Ing. Meter Pusill-Wachtsmuth, vicepresidente de "Normativa Internacional" en la central de Hilti.

Datos de la obra

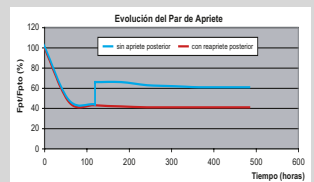
Proyecto: By-Pass Sur M-30, Túnel sur.
Localización: Madrid.
Propiedad: Ayto. de Madrid.
Ingeniería: TYPSA.
Contratistas: UTE Dragados - FCC
Inspección y vigilancia: AEPO - IBERINSA
Control de Calidad: Azierta Geoteyco - Eurocontrol

analizar los anteriores parámetros de comportamiento en base a una serie de ensayos en obra a realizar en el túnel.

La batería de ensayos se centraría en analizar el comportamiento de las situaciones no cubiertas por la experiencia reflejada en la bibliografía, y los límites del replanteo realizados para la colocación de las placas,

Evolución de la relación entre la fuerza de precompresión en el tiempo y la fuerza de precompresión inicial sin haber reapretado y habiendo reapretado después de 4 días

Obsérvese que estas pérdidas pueden llegar a ser del 60% sin reapriete y del 40% en caso de reapriete. No obstante es importante destacar que esta pérdida temporal no debe ser confundida con una pérdida instantánea motivada por ejemplo por una fisuración del hormigón por Splitting; ya sea por par excesivo o mala colocación, situaciones que llevarían a una pérdida de par instantáneo poniendo en cuestión la capacidad a tracción del anclaje. El siguiente gráfico profundiza en este aspecto.



que estimaban la distancia mínima a junta en 60 mm.

En colaboración con los responsables de producción de la UTE, se realizaron los ensayos de obra por el equipo de especialistas en Túnel y de la Oficina Técnica de Hilti Española. Los ensayos conforme al programa recogido en el cuadro adjunto se realizaron con el aparato de ensayo Hilti DPG 100.

Tras el resultado obtenido en los ensayos, sobre todo en la zona de junta, se pudo verificar el contacto pleno entre las dovelas del túnel como factor determinante en el excelente comportamiento alcanzado. En este sentido las pruebas fueron concluyentes para poder asumir un correcto comportamiento de los anclajes Hilti HSL-3 M16 fuera de los límites técnicos recogidos por la homologación de éstos.

Por último, cabe destacar algunos aspectos relativos al par de apriete: por un lado, la necesidad de su correcta aplicación y por otro, la evolución del par de apriete del anclaje. En relación al primero es necesario destacar que el par de apriete es clave pues garantiza el correcto comportamiento a tracción del anclaje en aquellos que trabajan por rozamiento. **En el caso del anclaje Hilti HSL-3, si bien el par es necesario, su diseño innovador le permite acodarse una vez colocado sin necesidad de un par de apriete lo que le confiere el sobrenombre de "anclaje de seguridad" si bien, a costa de un pérdida de rigidez como se observa en la Figura 4.**

En cuanto al segundo aspecto, el par de apriete de los anclajes evoluciona con el tiempo, pues la carga inicial dada se relaja por efecto de la fluencia del hormigón. Si bien el reapriete es una buena práctica no es estrictamente necesario salvo que en el cálculo se haya asumido una reducción de cortante en base a un rozamiento que es necesario que la placa garantice (Ver cuadro: evolución del par de apriete). En el caso que nos ocupa, por seguridad se procedió al reapriete por parte de la UTE.

Programa de ensayos realizados con anclajes Hilti HSL-3

Se diseñaron una serie de ensayos realizados en las siguientes fases:

1. Dotar de un par de apriete 1,5 el nominal a todos los anclajes de una pieza aumentando progresivamente éste desde 0 hasta el valor final, chequeando el comportamiento; en presencia de fisuraciones por rotura, el conocido como Splitting no es posible elevar este valor. Una vez alcanzado el valor previsto, 120 Nm, se procedería a la descarga de los anclajes y la comprobación visual de la zona, tras retirar la placa.
2. Tras esto, se procedería al ensayo a tracción de los anclajes de cara a analizar su capacidad a tracción última.



Si bien es interesante realizar un ensayo específico a cortante su dificultad unido a que la caracterización del material a través del par de apriete y de la tracción permiten obviar este punto, nos llevó a dar por bueno un análisis a cortante basado en parámetros de comportamiento a tracción.

Los ensayos se iniciaron con una distancia a junta de 60 mm, valor pésimo estimado. Una vez chequeado el correcto comportamiento tras el análisis de par de apriete, se procedió a la prueba de tracción pura, parando el ensayo tras alcanzar los 90 kN de capacidad, prácticamente 3 veces el valor de diseño requerido, sin observarse ni fisuraciones ni pérdidas de carga. Tras esto, a la vista del excelente resultado se pasó a realizar otra batería de ensayos a 20 mm de junta y en la propia junta con objeto de tener una idea del comportamiento en un caso totalmente límite. En estos dos últimos casos, los ensayos fueron también satisfactorios con un valor de capacidad de 70 kN por anclaje, valor al cuál se paró el ensayo, sin observarse fallos.

A partir de los informes técnicos justificativos presentados, la solución propuesta de anclaje de las ménsulas de apoyo de la losa superior fue aprobada por la Dirección Técnica de la obra siendo la solución finalmente adoptada en el tramo UTE M-30 Túnel Sur (Dragados - FCC)

del túnel By-Pass Sur del soterramiento de la M-30 de Madrid, permitiendo a Hilti poder estar presente en la segunda gran aplicación de conexión estructural del túnel, además de en la losa intermedia de rodadura que se ha comentado en artículo anterior.

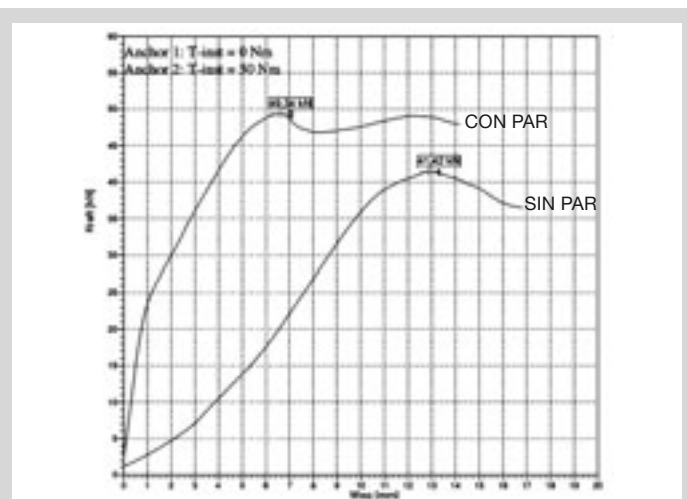


Figura 4. Anclaje de seguridad HSL-3. Gráficas desplazamiento-carga para un anclaje sin par de apriete (Anclaje 1) y con par de apriete (Anclaje 2).

Soluciones flexibles para los requerimientos de una gran infraestructura

En una gran infraestructura como la que nos ocupa en esta edición especial sobre la M-30, las aplicaciones singulares de instalación han tenido que dar respuesta a requerimientos normativos, de diseño y también a altas exigencias constructivas.

Por **M.ª Hontanares Domínguez**, Ingeniero, Oficina Técnica de Hilti Española, S.A.

Agradecimientos: **José García Martín (UTE Acciona Ferrovia)** y **Mariano de Andrés (UTE Soterramiento M-30)**.

Tal y como hemos comentado en los anteriores artículos de este número de Ingenia, un túnel es una infraestructura singular en cuanto al peso que, frente a otras tipologías, toman las instalaciones en lo que al diseño, coste y ejecución se refieren.

Si bien hay algunas instalaciones comunes a otras infraestructuras como la iluminación o el balizamiento, aparecen otras de gran trascendencia que conviene destacar: instalaciones de ventilación, de control y comunicación y de seguridad frente a incendio, por citar las más relevantes. Adicionalmente a elementos puntuales como pueden ser los ventiladores interiores, aparecen gran cantidad de elementos cuyas soportaciones son necesarias: bandejas de cable, luminarias y señalización.

Es importante reseñar que existen distintos niveles de iluminación en función de la zona en la que nos encontremos. A nivel general podemos identificar: la zona umbral, tramo inicial del túnel en el que las condiciones de visibilidad diurna deben ser las adecuadas a un conductor situado en el exterior; la de transición, cambio entre la inicial y la interior, en la que el ojo del conductor ya se ha acostumbrado al nivel de iluminación del túnel y la de entrada-salida, tramo que está situado antes o después de la entrada-salida al túnel.

El artículo que vamos a desarrollar a continuación, cierre de las aplicaciones técnicas de este número monográfico de Ingenia, se centra en el análisis de dos aplicaciones de soportación de instala-

ciones en el túnel norte del By-Pass Sur de la M-30 y en el tramo soterrado entre el Puente de Segovia y el Puente de San Isidro, directamente relacionadas con los puntos antes mencionados.

En ambos casos, Hilti ha estado presente en el asesoramiento y cálculo de soportación para las instalaciones. La Oficina Técnica de Hilti ha realizado los diseños, incluyendo especificaciones técnicas, planos y presupuestos ofreciendo la solución óptima para cada situación.

A continuación se describen las dos principales aportaciones que ha tenido Hilti Española en el estudio, diseño y cálculo de soportación de instalaciones dentro del marco que engloba el macroproyecto de la M-30.

Soportes de bandejas de cables para la UTE By-Pass Sur Túnel Norte, obras de la calzada izquierda de la conexión del Paseo de Santa María de la Cabeza - A3 correspondiente al By-Pass Sur de la M-30.

La presencia de Hilti en este proyecto comenzó en la fase de diseño de los soportes. Tras una primera demostración del sistema modular de montaje Hilti, recibimos por parte del cliente una petición de análisis técnico de la soportación de las bandejas de cable. Los datos aportados por el cliente fueron el

tipo de bandejas a soportar (electricidad, media tensión y comunicación), la altura respecto al techo a la que se encontraban y los metros lineales de recorrido de las bandejas, de aproximadamente unos 3.600 m. Con objeto de optimizar al máximo la solución técnica y minimizar costes, la Oficina Téc-

nica de Hilti desarrolló tres propuestas de soportación, que fueron presentadas directamente al jefe de instalaciones de la UTE By-Pass Sur Túnel Norte. Las diferentes soluciones fueron analizadas en colaboración con el cliente, adoptando finalmente la solución que se describe a continuación, siendo ésta la

de mayor flexibilidad y facilidad en el montaje para similares condiciones económicas (Ver Figura 1).

La principal ventaja observada por la UTE fue la versatilidad en el montaje de los soportes y por consiguiente de las bandejas de cables, lo que suponía un gran ahorro de tiempo durante la ejecución de la obra, clave para poder acometer en el plazo requerido esta unidad de obra.

Cálculo del soporte seleccionado.

El soporte ha sido diseñado por la Oficina Técnica de Hilti Española, conforme a las siguientes especificaciones:

- Todas las cargas consideradas son estáticas y verticales. Los esfuerzos horizontales tanto longitudinales como transversales son nulos.
- El material base es hormigón de resistencia característica a compresión $f_{ck} \geq 25$ N/mm², sin fisuras y seco.
- Los pesos de las cuatro bandejas de cables de 300 mm de ancho son 110 N/m.
- La separación máxima entre soportes: 1.25 m.

Los elementos analizados fueron:

a) Ménsula necesaria para soportar el peso de las bandejas de cables de 300 mm de ancho. Tras el análisis se optó por:

El soporte **Hilti ML-B-30/350** que soporta las cargas indicadas sin superar la máxima deflexión y tensión normal permitida. Dicho soporte está realizado en acero galvanizado S 235 JR según DIN EN 10025, con excelentes propiedades para la protección contra la corrosión (Ver figura 2).

b) Soporte vertical fijado directamente al techo de hormigón y que sirve de guía para los soportes horizontales.

El soporte se ha calculado considerando el caso más desfavorable,

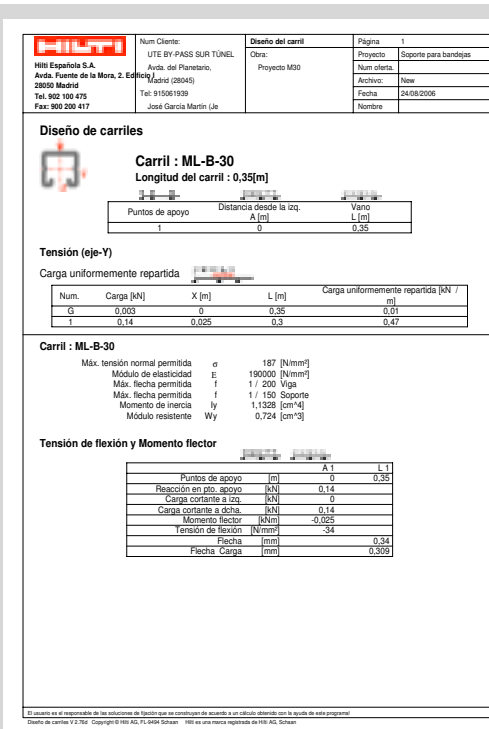
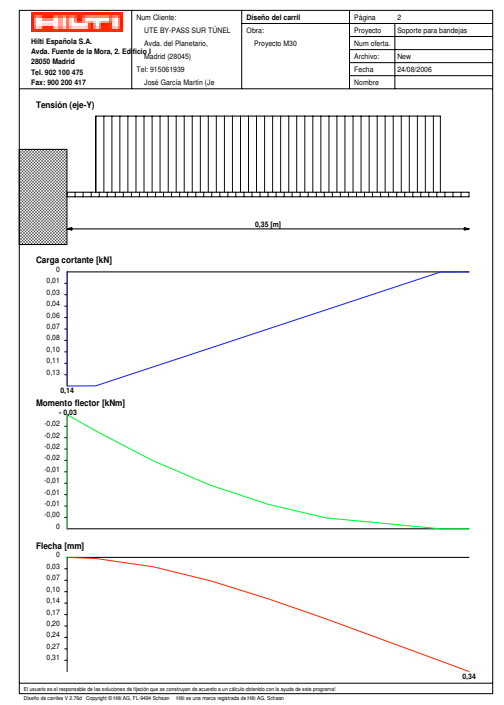


Fig. 1. Detalle del cálculo del soporte de las bandejas.

que puede darse cuando durante el montaje de la instalación, dos de los soportes horizontales de un mismo lado están totalmente cargados.

El soporte **Hilti MQK-21D/600** soporta los esfuerzos considerados sin superar la máxima deflexión y tensión normal permitida. Dicho soporte está realizado en acero galvanizado S 235 JR según DIN EN 10025. Además, la utilización de este soporte facilita el montaje, puesto que al contar con marcas cada 5 cm permite nivelar la altura sobre la cual colocar los soportes horizontales con respecto al techo.

c) Unión de dicho soporte al techo. La placa del soporte de 8 mm de espesor y dimensiones 125x50 mm (largo x ancho) cuenta con dos taladros sesgados de 20x14 mm para realizar las fijaciones con anclajes. De los cálculos anteriores, se desprende que la máxima tracción a que estaban sometidos los anclajes se daría cuando las cuatro bandejas de cables estuviesen cargadas totalmente y el momento máximo, para el caso en que hubiera solo dos de las ban-



dejas de un mismo lado. El anclaje **Hilti HKD-E M10x40** elegido por su versatilidad y

sencillez de colocación, cumple con los criterios de diseño necesarios para la fijación.

Sistemas de montaje Hilti

A medida que aumenta la complejidad de las instalaciones mecánicas y eléctricas en las obras se hace más habitual la disposición de cables, tuberías, etc., en varios niveles. Para formar estructuras de sujeción, los instaladores comenzaron a soldar o conectar juntas con secciones de acero diferentes.

Hilti se dio cuenta de este hecho y desarrolló soluciones de fácil manejo adecuadas a estas aplicaciones. El diseño modular de los sistemas modernos de carriles para montaje, permite proporcionar soluciones individualizadas y económicas que se adecúan a distintas necesidades. Hilti ha desarrollado los sistemas de instalación de carriles con más eficacia en la instalación.

Ventajas generales del sistema de montaje Hilti con carriles

- Selección simple de los carriles más adecuados para aplicaciones concretas.
- Ahorro de tiempo en el montaje de abrazaderas.
- Colocación simple y precisa de los carriles gracias al tornillo-tuerca de carril en una sola pieza.
- Instalación rápida en angulares de 90°, en una única pieza para aplicaciones estándar.

Uso

- Instalación mecánica y de electricidad tanto para cargas ligeras, medias y pesadas: Sistema ML, MQ y MI.
- Construcción de estructuras de apoyo, bases, barreras, estanterías y barandillas.
- Construcción de estructuras secundarias: falsos techos, soportación de revestimientos.

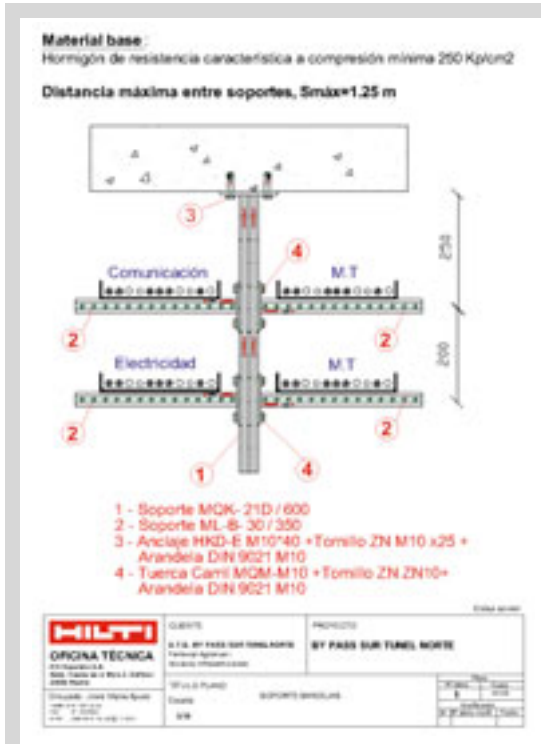


Fig. 2. Cálculo del soporte utilizado para las bandejas.

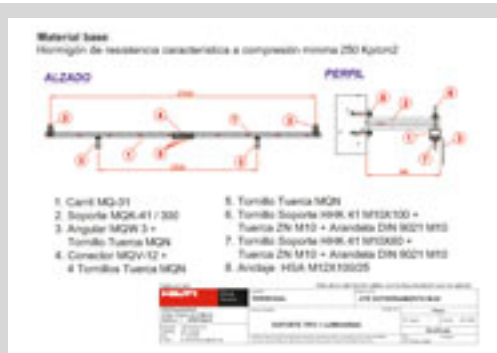


Fig. 3. Detalle del soporte de las luminarias.



Fig. 4. Detalle del soporte Tipo 2 de las luminarias.

Soportes de las luminarias para la UTE Soterramiento M-30, obras de soterramiento de la M-30 entre el Puente de Segovia y el Puente de San Isidro.

Tras presentar a la UTE el sistema modular de soportación, ésta consideró de interés el análisis por parte de la Oficina Técnica de Hilti Española de las luminarias laterales del túnel. A partir de la documentación facilitada: tipo de luminaria a colocar, su posición respecto a la pared (se disponen de forma lineal y paralela a la pared del túnel), y el número total de medición, en torno a 6 km, la Oficina Técnica de Hilti realizó los cálculos para el diseño del soporte presentando la solución a Ferrovial, adjudicatario de esta obra, quien decidió que dicha solución fuera adoptada por la instaladora IMES, S.A., subcontratada para la instalación de las citadas luminarias.

Cálculo del soporte seleccionado.

Los criterios de diseño considerados para definir el soporte fueron los siguientes:

- Todas las cargas consideradas son estáticas y verticales, y los

esfuerzos horizontales tanto longitudinales como transversales son nulos.

- El material base es hormigón de resistencia característica a compresión $f_{ck} \geq 25 \text{ N/mm}^2$, sin fisuras y seco.
- Peso de las luminarias: 120N/m.

El soporte diseñado por la Oficina Técnica es el que se muestra en la Figura 3. Está compuesto por un carril continuo en toda la longitud del túnel en que había que disponer las luces y apoyado cada 2.5 metros en soportes que distan de la pared unos 30 cm. El cálculo de los diferentes componentes del sistema MQ de Hilti que componen el soporte se ha realizado de la forma siguiente:

- a) Cálculo de la sección del carril necesaria para soportar el peso de las luminarias. Tras el estudio técnico se definió:

El carril Hilti MQ-31. El carril es de acero S 250 GD según DIN EN

10147, galvanizado sendzimir de aproximadamente 20 micras de recubrimiento. Dado que dicho carril se suministra como máximo en barras de 6 metros, para poder garantizar la continuidad entre carriles, hubo que emplear el conector longitudinal Hilti MQV-12 unido al carril con cuatro tornillos tuercas Hilti MQN.

- b) Cálculo de la ménsula necesaria para sujetar el carril soporte de las luminarias.

- Se ha considerado como carga puntual de servicio actuando en el extremo del soporte el valor de las reacciones producidas en los apoyos del carril anterior.
- Longitud máxima del soporte, $L=300\text{mm}$.
- Máxima tensión normal permitida del soporte $s=175,3 \text{ N/mm}^2$ y una deflexión máxima de $L/150$.
- Soporte en ménsula: El soporte elegido fue el Hilti MQK-41/300, que soportaba las cargas indica-

das sin problema alguno. También es de acero galvanizado S 235 JR según DIN EN 10025.

- c) Finalmente para fijar los soportes a la pared se seleccionaron los anclajes Hilti HSA M12x100, anclajes estándar de rosca externa.

Durante el montaje, el instalador advirtió que los soportes que se habían diseñado no serían válidos para una zona concreta del túnel, puesto que debido a la necesidad de solventar ciertas irregularidades se incrementaba la distancia de las luminarias a la pared, hasta una longitud máxima de un metro y medio.

Para esta zona concreta, en colaboración con el cliente la Oficina Técnica diseñó un nuevo soporte, que es el que se detalla en la Figura 4.

El soporte consistiría en un tramo de carril Hilti MQ-41 de un metro y medio de longitud, atirantado mediante un cable de acero, que proporcionaría el cliente, a una distancia de un metro respecto a la pared. Dicho carril iría unido a la pared con dos anclajes de los anteriores a través la placa base Hilti MQP-21-72.

La disponibilidad de un sistema modular de montaje convierte a éste en una pieza clave para abordar grandes unidades de obra. La aportación de Hilti con una solución integral tanto en diseño, asesoramiento en obra y planificación de entrega de producto es clave para poder dar al cliente una adecuada respuesta en este tipo de proyectos. ■

Datos de la obra

Proyectos:

- By-Pass Sur M-30 Túnel Norte A-3 calzada izquierda.
- Puente de Segovia - Puente San Isidro.

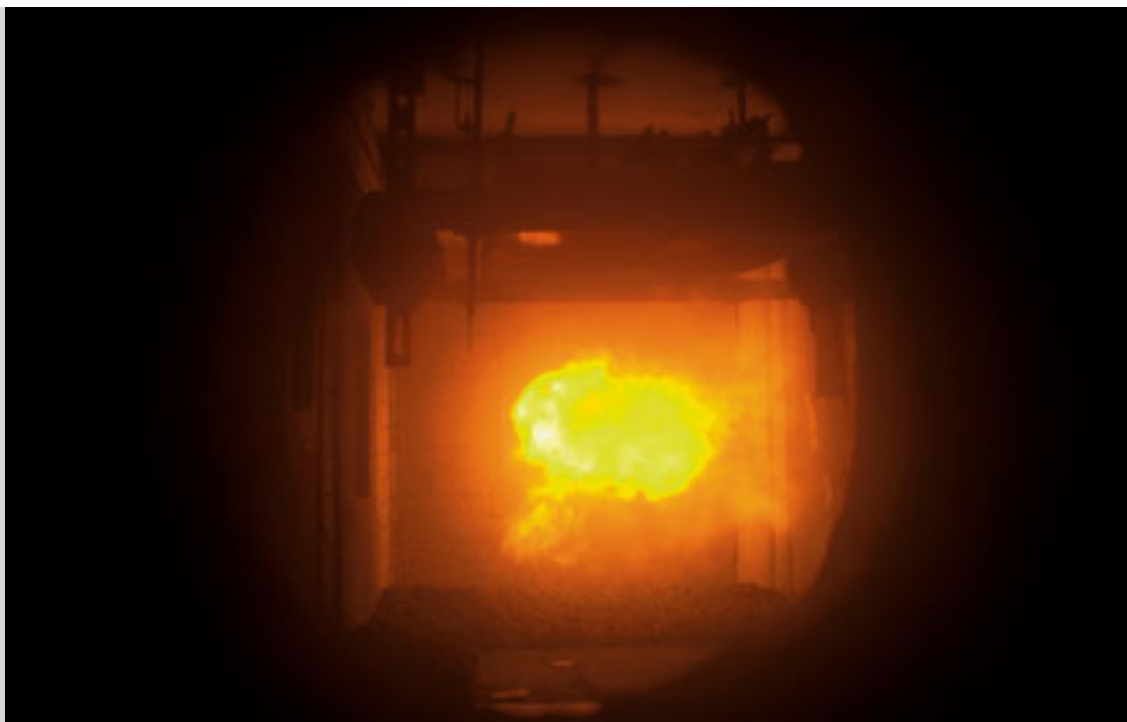
Localización: Madrid.

Propiedad: Ayto. de Madrid.

Constratista:

UTE Acciona - Ferrovial
UTE Ferrovial Agroman;
CIA de Obras Castillejos

Hilti es la primera empresa del sector que ha ensayado sus sistemas de soportación de instalaciones en caso de incendio.



Ensayos de Fuego: Garantía y Seguridad en la construcción de túneles

La resistencia al fuego es, junto con la corrosión, uno de los aspectos clave en el diseño de túneles. En esta línea, el centro de I+D de Hilti lidera el estudio y experimentación basado en múltiples y complejos ensayos de fuego que reproducen las características de un incendio real en un túnel.

Por **César Ribeiro Da Silva**, Ingeniero Civil, Oficina Técnica, Hilti Española, S.A.

Agradecimientos: **Úrsula Trunz**, **Hilti Magazine**.

Para Hilti es prioritario disponer de resultados empíricos para sus fijaciones, obtener homologaciones y certificados que den garantías a estas aplicaciones en condiciones de incendio. Para ello, Hilti dispone en su centro de I+D en la ciudad alemana de Kaufering de laboratorios con tecnología específica para poner a prueba la resistencia al fuego de anclajes tanto químicos como mecánicos, carriles de montaje, abrazaderas, etc. Por otro lado Hilti dispone de valores más precisos obtenidos de pruebas de ensayo realizadas por el Instituto IBMB¹ de la Universidad Técnica de Braunschweig. Las condiciones de estos

ensayos tienen la singularidad de reproducir la situación real de un incendio en un túnel (ver Figura 1).

Hilti es la primera empresa del sector que ha ensayado sus sistemas de soportación de instalaciones en caso de incendio, llevando años de experiencia en la realización de ensayos en Kaufering y en el IBMB en condiciones de incendio total según la ISO 834, lo que permite

¹ Institut F. Baustoffe Massivbau U. Brandschutz D./ Instituto para Materiales de construcción, construcción maciza y protección antiincendios.

demostrar el comportamiento de los componentes y sistemas de instalación Hilti en condiciones extremas de incendio y además, satisfacer las directivas sobre instalaciones de tuberías (LAR) vigentes en Alemania. (Ver breve artículo de Rainer Loose, "Seguridad en las vías de evacuación" en la pág. siguiente).

Ensayos y seguridad de los sistemas de fijación.

Tanto en instalaciones electromecánicas como en la instalación de falsos techos se utilizan además de componentes de montaje, fijaciones con anclajes. Las fijaciones tienen la garantía del diseño de cargas de

fuego que responden a los requerimientos exigidos, por ejemplo, en el diseño de vías de evacuación.

En el desarrollo del método de diseño contra el fuego de Hilti, se pueden citar las conclusiones obtenidas como resultado de ensayos realizados por el Instituto IBMB en fijaciones Hilti correspondientes a acero galvanizado y de aceros resistentes a la corrosión, en hormigón fisurado y en condiciones de exposición a llamas sin aislamiento o medidas de protección:

- A altas temperaturas, el material rompe (fallo por spalling en hormigón). El fallo se incrementa en función del tiempo y temperatura de exposición. A mayor profundidad de empotramiento mayor superficie de contacto en zona de hormigón no afectada por el fuego.

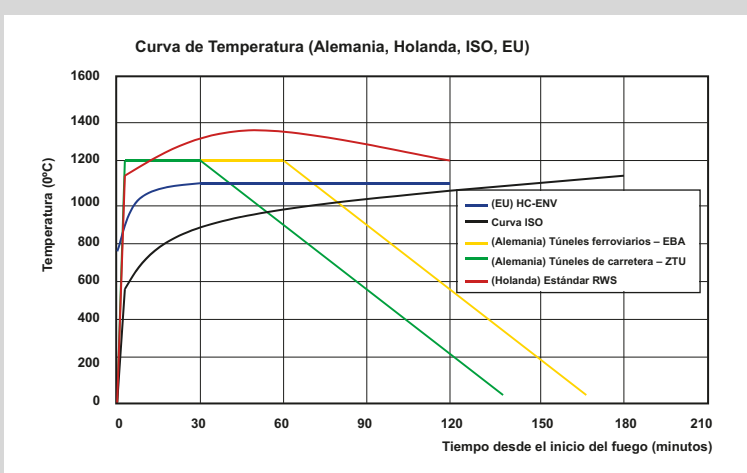


Figura 1. Curvas de temperatura de fuego "estándar".

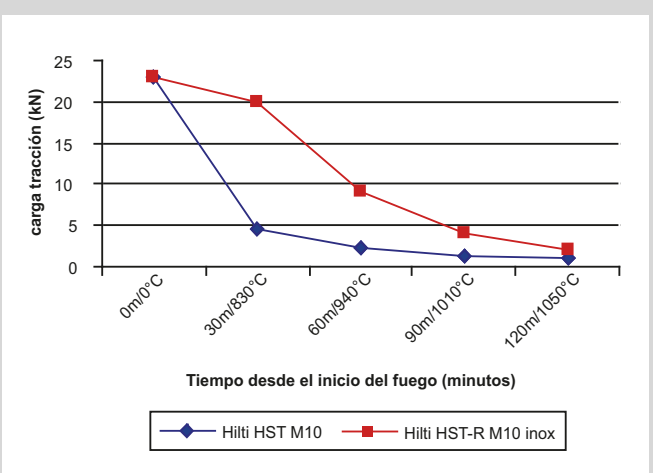


Figura 2. Comportamiento frente al fuego del acero galvanizado y del acero inoxidable.

- Si bien el acero no arde, su capacidad de carga disminuye a medida que aumenta la temperatura (se considera crítico a partir de los 500°C). Durante el ensayo se produce deslizamiento de tuercas o rotura de la varilla del anclaje. (Ver Figura 2).
- Al aumentar la temperatura, la capacidad de carga del material base y la fijación disminuyen.

En el caso de ensayos para anclajes químicos, puede disponer de resultados obtenidos de pruebas realizadas en el instituto IBMB, orientados a determinar la temperatura de carbonización de las resinas bicomponentes².

Aplicación de sistemas de soportación de instalaciones y fijación en túneles.

Los incendios ocurridos en los túneles del Canal de la Mancha, Tauern o Mont Blanc entre otros, pusieron de manifiesto que hay que involucrar a todas las partes implicadas en la seguridad de túneles. Además de la necesidad de revisar las infraestructuras para soportar cargas de fuego ocasionadas por incendios y

potenciar las galerías de emergencia para facilitar la intervención de los cuerpos de socorro y posibilitar la evacuación³. Podemos citar por ejemplo, la catástrofe acaecida durante las inundaciones ocurridas en República Checa en 2002, en donde 17 estaciones del metro de Praga quedaron completamente anegadas. Los responsables del metro se vieron obligados a poner en funcionamiento el sistema de tráfico en el menor tiempo posible. Frente a esta realidad se consideraron entre otras medidas, dar prioridad a la protección contra incendios para lo cual se previó instalar nuevos falsos techos que deberían cumplir con una resistencia al fuego de 90 minutos. Como no existía, ni existe, código internacional o nacional vigente con validez general, el equipo de Hilti recurrió a una directiva alemana de instalación de conductos que cubría las exigencias locales. Se realizaron diversos ensayos, cuyos resultados fueron evaluados por especialistas acreditados, con el fin de determinar el producto de instalación más adecuado según los requisitos impuestos por esta directiva (Ver Figura 3).

En este caso se consideró que durante el desarrollo de un incendio en un túnel, la temperatura en el

entorno al foco de incendio podría alcanzar una temperatura de 1200°C, lo cual hizo imprescindible garantizar unos tiempos reducidos para la evacuación (Ver Figura 1). Hilti considera que para

cumplir con las exigencias de protección pasiva contra el fuego no sólo basta con utilizar abrazaderas y almohadillas intumescentes en pasos de cables y tuberías sino que hay que plantear una solución

Seguridad en las vías de evacuación

Frente al riesgo de incendio en un túnel, las vías de evacuación permiten en caso de emergencia, el desplazamiento hacia las zonas de seguridad y facilitan la labor de los equipos de extinción. Si además se considera el hecho de que por las zonas de evacuación discurren tuberías y cables, se hace necesario instalar una superficie suspendida homologada contra incendio y que debe cumplir con la función de aislar las instalaciones de esta zona de la vía útil de evacuación impidiendo que el humo y el fuego se propaguen. Durante la exposición al fuego, las instalaciones situadas sobre el falso techo pueden deformarse o incluso podrían producirse caídas de partes de éstas o del sistema de instalación, causando graves daños al techo. Por esta razón es importante que los sistemas de instalación y sus fijaciones cumplan con los mismos requisitos de resistencia al fuego que las aplicadas a las vías de evacuación conformando un conjunto protegido.

Debido a la alta conductividad térmica del acero (material del cual están conformadas las piezas de montaje y soportación) los sistemas de instalación pueden alcanzar durante la exposición al fuego una temperatura próxima a los 800°C en un tiempo de 30 minutos evidenciando la pérdida casi total de su resistencia nominal original. Esta situación se agrava si se considera que en la práctica la altura libre entre las instalaciones y el falso techo son mínimas y que a menudo se concentran un número importante de instalaciones en una superficie muy reducida. En este caso es más importante considerar las deformaciones de la estructura modular, incluso aun cuando esté garantizada la integridad del sistema portante.

La investigación de Hilti en este campo en los últimos años está concentrada en obtener y reforzar los conocimientos respecto al comportamiento de los aceros frente al fuego para deducir, respecto a las deformaciones producidas, las distancias mínimas a los techos.



Rainer Loose. Especialista de Hilti en requisitos técnicos del área de instalación. Hilti AG.

² Informe de ensayo para conexiones con Hilti HIT-HY 150, IBMB, 16 de Julio de 1999.
Informe de ensayo para conexiones con Hilti HIT-RE 500, IBMB, 25 de Agosto de 2000.

³ Christoph Wegscheider. Presidente comité de túneles OBFV. "Experiencias en el incendio en el túnel de Tauern, Austria 1999).



Figura 3. Ensayo de resistencia al fuego Hilti. Interior del horno de ensayo con el montaje previo de los sistemas de instalación, ensayo y estado de las piezas una vez terminado el ensayo.

Cuadro resumen de ensayos y homologaciones de los principales elementos del Sistema de soportación de instalaciones			Ensayos 	Homologaciones 
Sistema M de soportación de instalaciones		Carril MQ-52 (F)	•	
		MQ-72 (F)	•	
		MQ-41/3	•	
		Carril doble MQ-41 D	•	
		MQ-52-72 D	•	
		MQ-124X D	•	
		Soporte MQK-41(F)(R)	•	•
		MQK-41/3	•	•
		MQK-72(F)	•	•
		Tornillo tuerca carril MQN	•	
		Placa tuerca abrazadera MQA-M10B (F)(R)	•	
		MQA-M12B (F)(R)	•	
		MQA-M16B (F)(R)	•	
	Escuadra reforzada MQW-S/2		•	
	Arandela carril MQZ-U	•		
	Placa carril MQZ-L9	•		
	MQZ-L11-(F)(R)	•		
	MQZ-L13-(F)(R)	•		
Abrazaderas y accesorios para montaje de tuberías		Abrazadera MP-MXI	•	
		Abrazadera sprinkler MP-SP		•
		Abrazadera MP-SRNI	•	
		Abrazadera MP-MRI	•	
		Abrazadera sin aislamiento MP-MR	•	
Accesorios de Fijación		Mordaza MAB-9		•
		MAB-11		•
		MAB-13		•
		MAB-17		•
		Mordaza pivotante MQT-GM8		•*
		MQT-GM10		•*
		MQT-S		•*
		Taco balancín MF-SKD-M8		•
		MF-SKD-M10		•

integral que comienza por garantizar la estanqueidad de las vías de evacuación utilizando sistemas de montaje de instalación y anclajes homologados contra incendios.

Como resultado de esta experiencia, Hilti continúa colaborando junto con los responsables del metro de Praga, ingenieros y expertos independientes en el desarrollo de nuevas normas de seguridad.

Los sistemas de instalación de Hilti son actualmente el estándar alternativo a las soluciones soldadas, cumpliendo con las exigencias normativas, diseño y ejecución para cada proyecto, tanto de edificación como de infraestructuras. Sin embargo, lo que nos queda claro es la creciente importancia que tiene la necesidad de desarrollar una normativa específica en este campo y de la importancia del trabajo de investigación y desarrollo. ■

Material de consulta

- Incendios: una Mirada al infierno, Hilti Magazine 2/2007. Ursula Trunz.
- Fire Resistant of Fastenings. Fastening Seminar 2003. Peter Bee, Hilti Corporation Group.
- Manual técnico de corrugados Hilti.
- IBMB test report No. 3105/1058-2, 1999.
- Rilem paper "Post Installed Reinforcement Bar Connections made with Injection Adhesive", F. Münger, M. Reuter, T. Greppmeir, Hilti Germany, Kaufering, 2001.



D. Jorge Presa Matilla, Subdirector General de Coordinación de Actuaciones. Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda del Ayuntamiento de Madrid.

Madrid Calle 30. Innovación al servicio de la sociedad

La remodelación de la M-30, desarrollada dentro del Proyecto Madrid Calle 30, es sin duda una de las mayores obras de infraestructura realizada en la capital en los últimos años, marcando un antes y un después no sólo a nivel de la vía sino a nivel urbanístico, con una importante mejora en la zona sur de la ciudad, destacando el entorno del río Manzanares. Entrevistamos en este número especial de la revista Ingenia a D. Jorge Presa Matilla, Subdirector General de Coordinación de Actuaciones. Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda del Ayuntamiento de Madrid y autor de gran parte de los proyectos de remodelación de la vía, con el objeto de repasar junto a él, el que ha sido el mayor proyecto de estas características realizado en España y uno de los mayores a nivel mundial, a la altura de otros como el Central Artery de Boston.

El por qué del proyecto

¿Cuáles han sido las principales motivaciones que han justificado esta actuación?

La M-30, vía de circunvalación por excelencia del municipio de Madrid, se planifica en los años 60 del pasado siglo como parte fundamental de la Red arterial de Madrid.

Su construcción se realiza por tramos y en diferentes décadas (déca-

das de los 60 y 70), siguiendo criterios de diseño distintos. La ciudad de Madrid se encontraba en un momento de notable crecimiento económico, con un fuerte proceso de incremento de población en la capital, un importante desarrollo de su corona metropolitana y un crecimiento constante de su índice de motorización.

Estas diferencias en su concepción y construcción hicieron de la M-30 una vía colectora, con una

velocidad media muy diferente según el tramo y con múltiples problemas funcionales motivados por:

- La distinta capacidad de sus tramos, con gran variación en el número de carriles a lo largo de la misma.
- La gran heterogeneidad entre los mismos, tanto por el número de carriles en sus distintas secciones como por sus condiciones de

funcionamiento (tramos en flujo libre y tramos con flujo regulado por semáforos).

- La elevada complejidad de sus enlaces.
- El gran número de tramos de trenzado en el movimiento de vehículos, generalmente de reducida longitud.
- El excesivo número de entradas y salidas hacia y desde el tronco de la vía.

Todo esto se traducía en dificultades para la fluidez del tráfico en la vía de circunvalación, provocando una elevada accidentalidad por alcances en la misma (relacionada con velocidades no uniformes) y por colisiones laterales entre vehículos (directamente relacionadas con la existencia de *transfers* de incorporación y salida directos, sin carril propio y con el excesivo número de tramos de trenzado) así como una importante concentración de impactos medioambientales junto con un claro efecto barrera al discurrir en su totalidad a cielo abierto.

Por estos motivos y una vez que se produce la transferencia de competencias relativas a la conservación, gestión y explotación de la vía entre el Ministerio de Fomento y el Ayuntamiento de Madrid, este último decide acometer la reforma integral de la vía de circunvalación M-30.

Remodelar y acondicionar un cinturón de circunvalación como la M-30, básico para la circulación de Madrid, es un gran reto. ¿Cómo se ha abordado desde un punto de vista organizativo? ¿Qué actuaciones más destacadas se han llevado a cabo?

Con objeto de llevar a cabo este proyecto, se crea una sociedad de economía mixta, participada mayoritariamente por el Ayuntamiento de Madrid (80% de su capital), denominada Madrid Calle 30, cuyo objeto es la reforma y gestión integral de la M-30, esto es, la realización de las importantes obras de renovación, modernización y mejora de la M-30 así como el mantenimiento

y explotación del anillo para su utilización por los usuarios.

Esta obra de transformación urbana, que ha supuesto un hito mundial sin precedentes en la construcción y remodelación de la infraestructura urbana de una ciudad, se ha realizado en un plazo record inferior a 30 meses.

Tres tipos de actuaciones se han llevado a cabo dentro de este proceso de remodelación de la M-30.

a) Mejoras de trazado y enlaces

Dentro de este apartado, podemos destacar tres tipos de actuaciones:

1. Actuaciones de mejora de enlaces.

La gran complejidad que presentaban los enlaces de la M-30 con las principales vías radiales de acceso a la capital y con los sistemas generales viarios Este-Oeste de Madrid, la mayoría con configuración de *trébol completo*, cuyo funcionamiento es deficiente cuando se presentan elevadas intensidades de tráfico derivadas de numerosos movimientos de trenzado por giros a izquierdas en cortas distancias, obligaba a la modificación de los mismos con supresión de *lazos* de giro y su sustitución por ramales de conexión directa, subterráneos o elevados.

Asimismo, algunos de los enlaces carecían de ciertos movimientos con importante demanda de tráfico cuya construcción era obligado abordar.

Dentro de este tipo de actuaciones se encuentran las remodelaciones de los *nudos* del arco Este de la M-30 (nudo de La Paloma, nudo de Costa Rica, nudo de la Avenida de América, nudo de O'Donnell, nudo de la A-3) y nudo de la Avenida de la Ilustración con la Carretera de Colmenar (M-607).

2. Ampliaciones de capacidad de viario

Es el caso de la construcción de un cuarto carril en la Avenida de la

Ilustración y remodelación de sus vías de servicio.

3. Remodelación de la ordenación viaria del arco Este de la M-30

Con la reordenación de los movimientos de conexión (entradas y salidas) entre tronco central de la M-30 y vías de servicio de la misma permitiendo, prácticamente en la totalidad del arco Este, las incorporaciones entre tronco y vías de servicio con carril propio, eliminando de esta forma las conexiones directas de reducida longitud entre ambos, las cuales estaban directamente ligadas con la accidentalidad y las retenciones en la vía de circunvalación.

b) Soterramiento del arco Oeste de la M-30 y de su acceso desde la A-5

Se trata de un proyecto de transformación urbana integral en el que paralelamente a la mejora de

las condiciones circulatorias de la M-30 en los 6 kilómetros del tramo del río (aumento del número de carriles, mejora de las condiciones de seguridad, etc.) y en los más de 1,5 kilómetros de la Avenida de Portugal, se reducen los impactos medioambientales que produce la circulación rodada al soterrarla (acústico, visual y de contaminación), se elimina la barrera física que separa la *alameda central* de la Casa de Campo y de los Distritos occidentales de Madrid y se posibilita la posterior recuperación del río como lugar de esparcimiento, para uso y disfrute de los madrileños.

Se construyen túneles seguros, dotados de las más modernas tecnologías. Se amplían las plataformas de circulación a 4, 5 y 6 carriles. Se realizan enlaces soterrados con ramales directos a distinto nivel. Se mejoran y rehabilitan puentes históricos de Madrid. Se aprovecha el hecho de soterrar la circulación

D. Jorge Presa Matilla

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Univ. Politécnica de Madrid, con una labor profesional desarrollada inicialmente en el sector privado y posteriormente en la Administración, con más de 15 años de experiencia en este sector.

Actualmente, Subdirector General de Coordinación de Actuaciones. Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda del Ayuntamiento de Madrid. Posee una gran experiencia en la redacción de Proyectos y Dirección Técnica de Obras en el Ayuntamiento de Madrid. Su actividad en los últimos años se ha concentrado en las obras del Proyecto Madrid Calle 30, si bien anteriormente ha dirigido algunos de los mayores retos técnicos en materia de obras en la capital.

Director del proyecto y/o de las siguientes obras:

M-30

- Túneles Norte y Sur del By-Pass Sur de la M-30.
- “Estanque de tormentas de Abroñigal” y “Nuevo Colector By-Pass Abroñigales”.
- By-pass Norte de la M-30 (By-pass de la Avenida de la Ilustración) y By-Pass Oeste de la M-30 (tramo N-V – Carretera de Castilla). Túneles Este y Oeste.

Otros proyectos

- Conexión del By-pass Norte de la M-30 con la N-I; remodelación de las vías de servicio de la carretera N-I, entre la M-30 y la M-40, y la construcción de las rampas de acceso de la carretera Nacional A-1 a los túneles de conexión del By-Pass Norte con la M-30.
- Construcción del túnel viario de conexión de las calles de María de Molina y Velázquez con la carretera Nacional N-II.
- Supresión del paso elevado de Cuatro Caminos y construcción del paso inferior.
- Conexión del distrito de Tetuán con la M-30. Eje Sor Ángela de la Cruz – Marqués de Viana (paso inferior Sor Ángela de la Cruz).
- Construcción del paso inferior y aparcamientos en la Plaza República Dominicana, calle Alberto de Alcocer y calle Costa Rica.

La Opinión del Experto

Página 18

rodada para eliminar la práctica totalidad (con rendimientos de retención de partículas superiores al 90%, incluso en tamaños de 0,5 micras) de las partículas contaminantes emitidas por los más de 200.000 vehículos que diariamente circulan por estas vías, lo que redundará directamente en una mejora de los parámetros de contaminación medioambiental, no sólo del entorno del río sino del global de la ciudad.

c) Construcción de itinerarios subterráneos alternativos

Entre los que destacan la construcción de los nuevos túneles de conexión de la Calle Embajadores con la M-40 y la construcción del By-Pass Sur de la M-30, obras estas que permiten reducir el tráfico del nudo viario con mayor intensidad circulatoria de España (más de 250.000 vehículos/día) en más de un 30%.

Desafíos de un gran proyecto

La ejecución de un proyecto en una zona con tráfico rodado y con posible afección a zonas urbanas y/o históricas, es compleja. Pro-

fundizando en las actuaciones antes esbozadas ¿Cuáles han sido los aspectos más destacados del proyecto?

La actuación realizada ha requerido un importante esfuerzo de coordinación entre las distintas administraciones con alguna competencia sobre el entorno de la M-30 (Ayuntamiento de Madrid como promotor y propietario de la vía, Dirección General de Patrimonio de la CAM con competencias sobre el patrimonio histórico-artístico y arqueo-paleontológico de la ciudad, Confederación Hidrográfica del Tajo, Dirección General de Medio Ambiente de la CAM, etc.), entre las distintas Áreas de Gobierno Municipal directamente relacionadas con su ejecución (Obras e Infraestructuras, Movilidad y Medio Ambiente) y entre los distintos tramos en los que se ha dividido la actuación, realizados simultáneamente por distintas Empresas Constructoras.

La Dirección y Coordinación de las obras fue realizada desde el Área de Gobierno de Urbanismo, Vivienda e Infraestructuras del Ayuntamiento de Madrid.

Los principales retos en superficie han sido: los derivados de la incidencia en la movilidad de la principal vía de circunvalación de Madrid, para lo que ha sido necesario realizar un gran número de fases de obra con sus desvíos provisionales de tráfico asociados, manteniendo unos índices de fluidez aceptables; los derivados de la incidencia ambiental de este tipo de obras (transplante de arbolado, con su mantenimiento y conservación en nuevas zonas de reforestación de Madrid, afecciones temporales al río, con creación de obras de paso y terraplenes arrasables en caso de avenida, tratamiento de residuos sólidos procedentes de la actuación); la conservación del patrimonio histórico-artístico que representan los distintos puentes históricos de la M-30 (como el Puente de Toledo o el Puente de Segovia) en los que se ha realizado una importante labor de refuerzo de sus cimientos o la recuperación del patrimonio arqueo-paleontológico de la ciudad; las diversas infraestructuras transversales que ha sido necesario salvar (paso de túneles bajo y sobre infraestructuras como los ramales de línea 10, líneas 5 y 6 de

La Obra en cifras:

- 1,2 millones m² de pantallas continuas.
- 0,5 millones de ml. de pilotes.
- 1,2 millones de m² de calzadas.
- 3 millones m³ de hormigón en estructuras.
- 0.5 millones de toneladas de acero estructural.
- Extracción de 12 millones de m³ de tierra.

Sólo en el Arco Oeste:

- 47 pantalladoras y 37 pilotadoras con 70.000 m² de producción mensual máxima.
- 430.000 m² de losas superiores e intermedias construidas con producciones mensuales máximas de 56.000 m².
- 350.000 m² de contrabóvedas con producciones máximas de 42.300 m² mensuales.
- Todo ello en un plazo inferior a 19 meses.

Metro o la línea 5 de Cercanías) en un alarde de soluciones técnicas imaginativas de primer orden; o la afección, mejora y ampliación de los principales emisarios de transporte de aguas residuales de la ciudad, que acompañan al río en su trazado y desaguan en las depuradoras de la capital.

Sr. Presa, profundizando en aspectos técnicos. ¿Qué soluciones constructivas se han usado para las actuaciones subterráneas y cuáles han sido las principales cifras del proyecto?

La red viaria de más de 50 kilómetros de túneles (entre troncos y ramales) que constituye la nueva M-30, ha sido construida con la utilización de técnicas clásicas de construcción de túneles someros (tramos subterráneos excavados entre pantallas), técnicas clásicas de construcción de túneles profundos (excavación convencional de túneles por el Método Madrid) así como técnicas sofisticadas de alto rendimiento para la construcción de túneles profundos (tuneladoras de presión de tierras).



Vista inferior de losas de rodadura colocadas.

En aquellos tramos que requerían una mejora de su capacidad y de su funcionalidad se utilizó el método de construcción "cut and cover" o **método de falso túnel**. Este sistema se inicia con la construcción de las contenciones laterales del túnel (pantallas continuas o de pilotes), la ejecución de la losa de cubierta (bien sea mediante la construcción de losas "in situ" hormigonadas contra el terreno o la disposición de vigas prefabricadas y losa de compresión) y la excavación posterior al abrigo de las estructuras anteriores por niveles, con o sin arriostramientos intermedios, con o sin construcción de losas intermedias, hasta alcanzar la losa de fondo de excavación (contrabóvedas que constituyen verdaderas losas de subpresión en todos los tramos próximos al río).

Este método es el utilizado en todos los tramos de soterramiento de la M-30, en los nudos del arco Este, en el soterramiento del arco Oeste y en el soterramiento de la avenida de Portugal. En estas zonas se debían mantener, mejorar y en muchos casos incrementar el número de movimientos de conexión con el viario de superficie. Esta conectividad obligaba a soterrar la infraestructura, por razones prácticas, a la menor profundidad posible, razón por la cual el método de construcción debía ser él comentado.

En los casos de *nuevos itinerarios subterráneos alternativos de longitud media*, como es el caso de los nuevos túneles de conexión de la Calle Embajadores con la M-40, se ha optado por utilizar métodos clásicos de excavación en mina, como el **método Madrid**.

Este método que consiste en la ejecución de la excavación por métodos convencionales, en avances de 2 metros aproximadamente, se inicia con la excavación y sostenimiento de una mina de avance y posterior excavación lateral de la bóveda, entibación progresiva y cuajada del frente y del perímetro exterior de la bóveda, encofrado y

hormigonado de la bóveda, excavación en destroza, excavación de hastiales y hormigonado alterno de los mismos por bataches, para finalizar con la excavación y hormigonado de la contrabóveda.

En el caso de nuevos itinerarios alternativos de gran longitud, como en el caso del By-Pass Sur de la M-30, era obligada la utilización de maquinaria de alto rendimiento que fuera capaz de construir los grandes túneles en el mínimo plazo posible y con la máxima seguridad tanto para los trabajadores como para los edificios e infraestructuras colindantes. Con este motivo se fabricaron, ex profeso, las dos tuneladoras de presión de tierras (EPB) más grandes del mundo (bautizadas con los nombres de Tizona (propiedad de la UTE Dragados-FCC) y Dulcinea (propiedad de la UTE Acciona-Ferrovial), con un diámetro de excavación de 15,16 metros.

Innovación en la ingeniería. Aplicaciones al proyecto.

Uno de los ejes del proyecto ha sido la clara apuesta por la innovación, no sólo a la hora de la ejecución de la obra sino a la hora de la gestión de la infraestructura en general y en particular la relativa a los aspectos medioambientales tal y como la génesis del Proyecto marcaba ¿Qué destacaría como hitos técnicos o de innovación en el Proyecto?

Para realizar la excavación y revestimiento de los túneles del By-Pass Sur de la M-30 se han utilizado dos escudos de presión de tierras (tuneladoras EPB) construidas especialmente para este proyecto con las especificaciones técnicas prescritas por los técnicos del Ayuntamiento de Madrid y por sus asesores.

Las tuneladoras tipo EPB basan su funcionamiento en la compensación de las presiones del terreno con las

generadas en su cámara frontal mediante la regulación de la velocidad de extracción del material, sin necesidad de utilizar aire comprimido o lodos bentoníticos para mantener la presión. Para ello cuentan con un escudo cerrado dotado con una rueda de corte con aberturas entre un 32 y un 42% encargada de excavar el terreno, mediante picas, rastreles y discos de acero al tungsteno, e introducirlo en la cámara de presión de tierras. El escudo avanza mediante una serie de gatos hidráulicos que apoyan en los anillos de dovelas previamente colocados por la máquina, anillos éstos que constituyen el revestimiento definitivo del túnel. De esta forma el túnel se construye como una secuencia de excavación-colocación de anillo, con ciclos que duran entorno a una hora. Para completar la excavación se procede al relleno del trasdós mediante inyección de mortero por cola de escudo.

Acompañando al escudo y arrastrado por él se dispone el *back-up* de la tuneladora constituidos por una serie de *remolques*, que ruedan por el interior del túnel construido, y sirven para transportar la logística necesaria para el funcionamiento del escudo.

Esta técnica de excavación es obligada cuando se pretende la realización de túneles largos y profundos en plazos de tiempo reducidos.

Para la introducción de las tuneladoras en el terreno se requieren *pozos de ataque* (en el caso del By-Pass Sur, de ataque y extracción combinados) construidos desde superficie mediante recintos de pantallas continuas o de pilotes, cuyas dimensiones aproximadas en planta son de 45 metros de ancho por 100 metros de longitud, con una profundidad de excavación de 35 metros.

Tuneladora Túnel Norte DULCINEA

Características principales:

- Diámetro excavación: 15,20 m.
- Superficie abierta: 32%.
- Longitud escudo: 11,50 m.
- Longitud total: 110 m (Escudo + 4 remolques).
- Peso escudo: 2.565 tn.
- Peso back-up: 1.800 tn.
- Empuje máximo: 315.880 Kn (habitual 10-20%).
- Par máximo de desbloqueo: 125 MN/m (habitual 30-40%).
- Velocidad máxima penetración: 65 mm/min.
- Velocidad máxima rotación: 2 r.p.m.
- Potencia en ruedas de corte: 14.000 kw.
- Nº motores hidráulicos: 50 en rueda exterior, 10 en rueda interior.
- Nº Gatos de empuje: 57 uds. (19 grupos).
- Elementos de corte: 372 picas, 32 rastreles, 66 cortadores de disco dobles de 17".
- Nº Tornillos de extracción: 3 uds. (2 inferiores de 1.250 mm de diámetro + 1 central de 600 mm).
- Capacidad de extracción de tornillos: 2.050 m³/h.
- Capacidad de extracción cinta: 2.884 tn.
- Capacidad de los equipos de inyección de espumas en frente y cámara: 417 m³/h.
- Inyección de mortero en gap: 12 orificios de inyección en escudo cola (1/30°) alimentados por 6 bombas de pistón.
- Cilindros de articulación pasiva entre escudo delantero y escudo de cola.
- Rendimiento medio alcanzado de 15 metros/día.
- Rendimientos máximos de 750 metros/mes.
- Plazo de realización de 3,6 km en 7,5 meses.

La Opinión del Experto

Página 20

Asimismo se disponen 4 pozos de ventilación donde se instalan los ventiladores de extracción de aire de los túneles, los ventiladores de impulsión de aire fresco a los túneles así como las *estaciones de filtrado de partículas en suspensión* (filtros electrostáticos) y las *estaciones de depuración de gases* de desarrollo y tecnología puntera a nivel mundial (filtros de carbón activo), capaces de retirar la practica totalidad de los contaminantes (sólidos y gaseosos) producidos por el tráfico de vehículos en los túneles.

Como obras complementarias, necesarias para mantener unos estándares de seguridad elevados en los túneles, se han construido siete salidas de emergencia con comunicación directa al exterior (cuatro de ellos quedan albergadas dentro de

los recintos de pozos de ventilación habiéndose construido las otras tres desde superficie mediante los correspondientes recintos de pantallas de pilotes).

Mejora medioambiental

La mejora medioambiental ligada a esta nueva infraestructura, no sólo se deriva de la captación y retirada de las partículas y gases contaminantes motivados por la circulación de vehículos sino de la mejora en la fluidez del tráfico del *nudo sur* de la M-30, lo que permite estimar un ahorro anual, gracias a esta infraestructura subterránea, de más de un millón de horas en tiempos de circulación. Este ahorro implica directamente una reducción anual en el consumo de carburantes de más de 2 millones de litros, eliminán-

dose en consecuencia más de 45 toneladas al año de CO₂ y 17,6 toneladas de NO_x.

Exigencias en las aplicaciones. Utilización de elementos prefabricados

La construcción del By-Pass Sur de la M-30 ha supuesto un reto en la adopción de soluciones imaginativas, ya que no existían antecedentes previos de túneles prefabricados para tráfico pesado, con tres niveles en su sección y con las dimensiones del By-Pass (13,45 metros de diámetro interior libre), capaz de albergar una autopista subterránea de tres carriles con gálibo libre de 4,50 metros.

El propio sistema constructivo de ejecución del revestimiento con tuneladora así como la velocidad de ejecución simultánea de la excavación y del citado revestimiento (con rendimientos máximos de hasta 46 metros/día en un solo túnel) exigían no solo la adopción de elementos prefabricados para la construcción de la estructura continente (anillos de dovelas prefabricadas) y para la construcción de la estructura contenida (losa de tráfico y losa de techo), sino que exigían la construcción de plantas de prefabricados de alto rendimiento y producción ininterrumpida.

a) Dovelas prefabricadas

El anillo del túnel fue diseñado, en fase de proyecto, para soportar tanto los esfuerzos mecánicos exteriores (empujes del terreno, presión de gatos de empuje sobre canto de dovelas de anillo montado, presión de agua, etc.) e interiores (cargas de losas de tráfico y losas de techo apoyadas en el anillo), como los esfuerzos térmicos a los que podría verse sometido en caso de incendio violento en el interior del túnel.

Como conclusión del proyecto del anillo se adoptó un anillo universal compuesto por 10 dovelas prefa-



Anclajes de ménsulas.

abricadas de 0,60 metros de canto y dos metros de longitud, con 19 posiciones posibles del anillo, al objeto de adaptar la construcción de los sucesivos anillos a la geometría prevista en el trazado en planta y alzado del túnel.

Aprovechando sus características de elemento prefabricado, se adicionaban fibras de polipropileno en planta para reducir el efecto de *spalling* en el hipotético caso de que tuviera que soportar un fuego violento (fuego tipo de la curva de hidrocarburos mayorada durante 120 minutos, HCM120).

Las dovelas, de hormigón armado HA40, quedaban conectadas en sentido transversal mediante un perno de alta resistencia, de 28 mm de diámetro y 45 cm de longitud, hasta componer el anillo. En el sentido longitudinal, cada dovelas se conectaba a las siguientes mediante cuatro pernos de alta resistencia de las mismas características que los anteriores.

Dos biconos de centrado en el canto de cada dovela y dos biconos en la cara interior, permitían la colocación precisa de la dovela en el

Tuneladora Túnel Sur TIZONA

Características principales:

- Diámetro excavación: 15,20 m.
- Superficie abierta: 43%.
- Longitud escudo: 13 m.
- Longitud total: 148 m (Escudo + 7 remolques).
- Peso escudo: 3.220 tn.
- Peso back-up: 1.800 tn.
- Empuje máximo: 317.000 Kn.
- Par máx. desbloqueo: 86 MN/m.
- Velocidad máxima penetración: 65 mm/min.
- Velocidad máxima rotación: 2,43 r.p./min.
- Potencia en rueda de corte: 10.024 Kw.
- Nº moto-reductores eléctricos: 28 uds. de 350 Kw (motor + reductor planetario).
- Agitador central: Diámetro 5 m. Actuado con 5 motores de 45 Kw cada uno.
- Elementos de corte: 472 picas, 226 cuchillas, 44 cortadores de disco triples de 17".
- Nº Tornillos de extracción: 1 ud. Con eje central y accionamiento hidráulico. Diámetro 1.500 mm.
- Capacidad de extracción del tornillo: 1.680 m³/h.
- Capacidad de extracción cinta: 2.884 tn.
- Capacidad de los equipos de inyección de espumas en frente y cámara: 417 m³/h.
- Inyección de mortero en gap: 12 orificios de inyección en escudo cola (1/30°) alimentados por 6 bombas de pistón.
- Nº cilindros de empuje: 57 Uds. (7 grupos de 7 uds. y 1 grupo de 8 uds.).
- Nº cilindros de articulación activa entre escudo delantero y escudo de cola: 56 cilindros.
- Rendimiento medio alcanzado de 18 metros/día.
- Rendimientos máximos de 930 metros/mes.
- Plazo de realización de 3,6 km en 6,5 meses.



Aprehensión con erector, volteo y colocación.



Detalle de ménsula y su protección contra el fuego.

anillo mediante el erector de dovelas de alto vacío alojado en el escudo. Un inserto en su cara interior permitía una ulterior inyección de lechada o espuma de poliuretano en caso de filtraciones.

La dovela se completaba con la correspondiente junta elastomérica de estanqueidad situada perimetralmente alrededor de todo su canto.

Se montaron dos plantas de prefabricados, una en Barajas de Melo y otra en Villarrubia de Santiago, con objeto de abastecer las necesidades de las dos tuneladoras trabajando simultáneamente. (Ver figura superior).

Los condicionantes limitativos de la producción de dovelas eran los de resistencia mínima de la dovela para su desmoldeo (10 MPa) y resistencia mínima de la dovela para su apilamiento (15 MPa) con la condición de que la máxima altura de almacenamiento fuera la correspondiente a un anillo (10 dovelas).

Las dovelas eran transportadas mediante camiones de tres ejes, a razón de dos dovelas por camión (el peso máximo de cada dovela era de

13 toneladas, aproximadamente). Colocadas junto al pozo de ataque eran izadas por los correspondientes pórticos de dovelas y depositadas en los trenes de dovelas para su transporte al frente de excavación (un anillo por viaje).

Mediante las correspondientes grúas polipastos se realizaba el trasiego de las mismas a las mesas de dovelas que eran las encargadas de situarlas en posición para su aprehensión por el erector de alto vacío. Este erector, cuyo brazo disponía de todos los movimientos posibles, era el encargado de voltearlos y colocarlas en posición hasta la colocación y apriete manual de pernos de conexión.

b) Losas de tráfico

Debía diseñarse un tipo de losa prefabricada (para reducir plazos), fácilmente construible, transportable (tanto a obra como dentro del propio túnel) y colocable. Debían construirse y colocarse con unos rendimientos en el entorno de los 200 metros/semana.

Para ello se proyectaron losas prefabricadas pretensadas y aligeradas

de 12 metros de vano (correspondientes al ancho de la plataforma de rodadura y aceras) y 1,20 metros de ancho, con un canto de 0,55 metros, en uno de cuyos lados mayores disponía de un rebaje para hormigonado de junta entre piezas sucesivas. Este hormigonado de juntas se realizaba una vez por semana. (Ver figura superior). Se añadieron fibras de polipropileno antes del amasado del hormigón, para evitar el efecto *spalling* en caso de incendio violento.

La colocación se realizaba en avances sucesivos, sobre la plataforma de rodadura construida anteriormente, de 1,20 m de avance, apoyando las piezas sobre cuatro neoprenos dispuestos dos a dos sobre las ménsulas previamente hormigonadas "in situ" con encofrados deslizantes. La conexión entre ménsulas y dovelas se realizaba mediante anclajes de barras con resina previa perforación de las dovelas para su colocación.

De esta forma quedaba constituida la losa de rodadura que a su vez sirve de cierre de la galería inferior, con funciones de galería de evacuación, de acceso de vehículos de

emergencia (gálibo 3,90 metros), de canal de inyección de aire fresco al túnel y de galería de servicios para las distintas instalaciones del túnel.

c) Losas de techo

Se diseñaron losas prefabricadas de placas alveolares pretensadas de 9,30 metros de vano, 1,20 metros de ancho y 0,25 metros de canto, apoyadas sobre ménsulas metálicas abatibles de 1,00 metros de longitud, cada una con dos piezas abatibles de 0,50 metros.

Estas ménsulas fueron ancladas mediante anclajes mecánicos expansivos. (Ver artículo Aplicaciones Técnicas 1 en la página 7 de este número).

Para conseguir un correcto apoyo de la losa alveolar sobre la ménsula metálica, se dispone en esta última una banda de neopreno de un centímetro de espesor.

Para proteger la ménsula metálica de la acción de un hipotético fuego, se disponía una protección interior de lana de roca de 8 cm de espesor recubierta con panel de fibrosilicato de 1,2 cm de espesor. ■

Equipo de Ensayo Hilti “Tester Mark V”

Seguridad y fiabilidad de nuestras aplicaciones en obra

Los valores de carga de todos los elementos de fijación de Hilti están basados en ensayos realizados en laboratorios que reproducen exactamente su colocación en condiciones reales. Intensos trabajos de investigación y de desarrollo permiten mejorar nuestros sistemas de fijación ofreciendo la máxima garantía en su comportamiento con el material base.

No obstante existe la posibilidad de que no se haya ensayado con algún material base en concreto, por ejemplo, una obra de mampostería antigua, una fábrica de ladrillo particular, o bien que la resistencia característica de cierto hormigón no haya sido verificada previamente. Por otra parte, existe también la posibilidad de que el autor del proyecto o dirección facultativa de la obra desee comprobar la capacidad de

carga de los anclajes previamente colocados.

Comprobación sencilla en obra.

Hilti ha proporcionado durante años equipos de este tipo, que con un manejo muy sencillo permite ensayos de carga en la propia obra. La última versión de estos equipos es el Tester Mark V, equipo de ensayo portátil y liviano que permite a los técnicos de obra realizar sus

propias comprobaciones de manera rápida y segura.

Este equipo de ensayos Hilti es un sistema completo y modular fabricado para ensayar anclajes, pernos y otros elementos de fijación que consiste en un gato de husillo mecánico montado a través de una célula de carga hidráulica que mide directamente la carga aplicada al elemento de fijación.

Un equipo versátil.

Una de las principales características del equipo Tester Mark V es su gran versatilidad de uso y lo manejable que resulta, ya que es lo suficientemente ligero para ser manipulado por una persona.

En obra nos encontramos muchas veces con la necesidad de determinar la idoneidad de una fijación y/o las cargas admisibles en determinados materiales base como en los siguientes casos:

- Condiciones no recogidas en los manuales que no sean debidas a una mala ejecución.
- Aquellos materiales base no recogidos en los manuales como mampostería, una fábrica de



Ensayo a cortante de anclaje químico Hilti HIT HY-70 sobre ladrillo hueco doble.

Ensayo a tracción sobre perfiles metálicos de aluminio con tornillo autoladrante Hilti S-MD03S6.3x25.



ladrillo de data antigua, en aceros de vigas en obras de rehabilitación, etc.

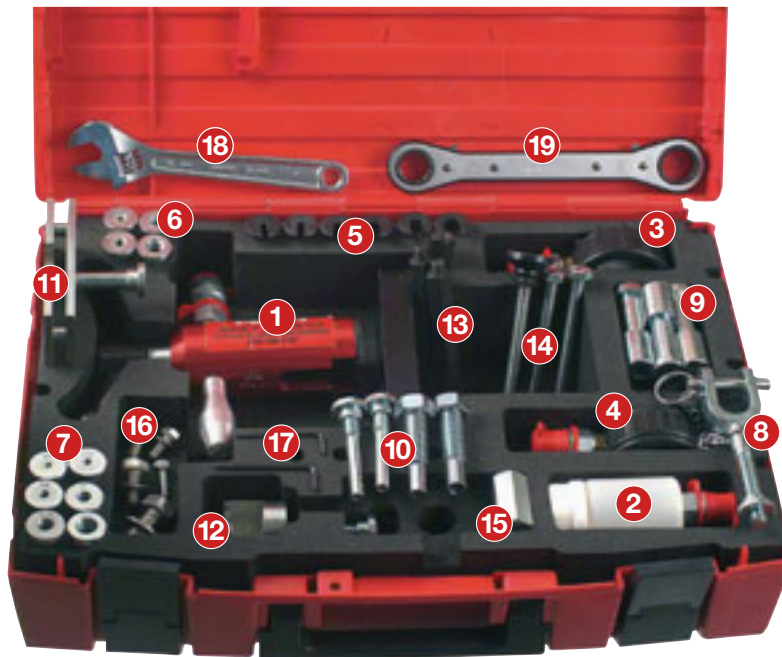
- Aplicaciones singulares.
- Otros casos.

En este contexto, gracias a este equipo de ensayo, es posible determinar la idoneidad de diferentes fijaciones en una extensa variedad de aplicaciones:

- Anclajes mecánicos, químicos, corrugados.
- Tecnología DX – Fijación con pólvora (clavos/pernos roscados). Ello incluye la posibilidad de verificar los conectores para estructura mixta Hilti X-HVB, ensayando sus clavos.
- Tornillos.
- Espigas y cáncamos.

Suministro y venta.

Hilti pone a disposición de sus clientes el equipo completo de ensayo **Hilti Mark V, herramienta ideal tanto para realizar ensayos en lugares de difícil acceso, gracias a su fácil transporte, como para ensayos a rotura en materiales base de baja resistencia.** Adicionalmente Hilti dispone de un servicio de mantenimiento y calibración para estos equipos.



Componentes del equipo.

El aparato de ensayo Mark V dispone de una amplia gama de accesorios que permiten aumentar el ámbito de las pruebas que puedan efectuarse.

1. Aparato de medida Tester Mark V.
2. Botella de aceite.
3. Manómetro con lectura de hasta 5 kN.
4. Manómetro con lectura de hasta 25 kN.

5. Set de adaptadores de botón ranurado para ensayos de clavos y tornillos para métricas M4, M5, M6, M8, M10 y M12.
6. Set de adaptadores 1/4", 5/16", 3/8", 1/2".
7. Set de adaptadores de botón roscado para ensayos de rosca externa para métricas M4, M5, M6, M8, M10 y M12.
8. Adaptador para abrazadera M12 con adaptador para cáncamo.
9. Adaptador para varilla roscada.
10. Adaptadores para espárragos.
11. Adaptador para ensayos de fijación en aislamiento X-IE.

12. Adaptador roscado.
13. Un puente de distribución de carga de 150 mm de longitud, en donde se fija el aparato de medida.
14. Apoyos regulables. Permiten ajustar la distancia entre el puente y el material base.
15. Tuerca de operación HEX M22.
16. Set de tornillos y arandelas para M6, M8, M10, M12 y M16.
17. Llave Allen 2.5.
18. Llave inglesa 0-29 mm.
19. Tuerca AF 22 mm.

Consideraciones previas para la realización de un ensayo.

Como en todas las fijaciones, se deben considerar y verificar las condiciones de colocación de éstas: separación entre anclajes, distancia al borde de la chapa y distancia al borde del material base. Además es imprescindible que los ensayos se realicen en las mismas condiciones en las que el anclaje estará trabajando para poder extrapolar de manera fiable los datos obtenidos.

La capacidad de un anclaje mediante ensayos en obra se puede evaluar de dos maneras: a través de una batería de ensayos a rotura para, a partir de ahí realizar un análisis estadístico de capacidad o, mediante la comprobación de la capacidad del anclaje para un nivel de carga definido siendo este calculado de modo que se garantice un mínimo coeficiente de seguridad sobre las acciones actuantes, a ser definido por los responsables técnicos de la obra.

Asesoramiento técnico.

Cuando las condiciones específicas de la obra lo requieran, el equipo especialista de Hilti podrá asesorarle en la definición de la capacidad de su fijación, pudiendo dar soporte en obra si fuera necesario.





Hilti. Superando expectativas.

Hilti Española, S.A. | Avda. Fuente de la Mora, 2 | Edificio 1 | 28050 Madrid | T 902 100 475 | F 900 200 417 | www.hilti.es