

Inspección del estado de los túneles en la R-68 entre Santiago de Chile y Valparaíso

José Miguel GALERA, Geocontrol, S.A.
Isidoro TARDÁGUILA, Geocontrol, S.A.

Palabras clave; AUSCULTACIÓN, CONVERGENCIA, ESCLEROMETRÍA, INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO, PATOLOGÍA, REVESTIMIENTO, TÚNEL

En este artículo se presentan los resultados de la inspección realizada en los túneles de Lo Prado I y II (2.800 m y 2.750 m) y Zapata I y II (1.225 m y 1.115 m), situados en la Ruta 68 entre Santiago y Valparaíso. Como resultado se dispone de un excelente conocimiento del estado actual de los túneles, que ha permitido establecer un programa de mantenimiento y auscultación futuro de los túneles.

La primera tarea realizada en cada uno de los túneles inspeccionados ha sido el balizamiento de los mismos, para lo que se han colocado referencias cada cinco metros. Las marcas de balizamiento han constituido un sistema de referencia para todos los trabajos realizados posteriormente en el interior de los túneles.

Zonificación de patologías

Para zonificar el estado de agrietamiento de los cuatro túneles, se ha realizado una inspección minuciosa recorriendo los cuatro tubos que constituyen los túneles de Lo Prado I, Lo Prado II, Zapata I y Zapata II.

En la inspección se ha realizado un levantamiento de todas las grietas y fisuras que se han encontrado en los túneles, especificando posición y geometría.

Así mismo, se han inventariado otras irregularidades como desconchados, oquedades, eflorescencias, etc. que constituyen posibles indicios de deficiencias estructurales en los túneles.

Se ha prestado especial atención a la presencia de agua; tanto a través de las grietas existentes, como a través de los taladros que se han realizado en la bóveda de los túneles.

En la *Foto 1* se muestra la actividad de inspección de patologías en los túneles. En

la *Fig. 1* se muestra un ejemplo de uno de los levantamientos a escala 1/500 realizado.

Determinación de espesores de hormigón proyectado

Para estimar el espesor del hormigón proyectado en la bóveda de los túneles, se han realizado dos tipos de perforaciones; una destructiva y, otra con recuperación de testigos, como se muestra en la *Foto 2*.

La disposición de las perforaciones se ha organizado por secciones, separadas entre sí por una distancia de 20 a 25 m. En cada una de estas secciones de inspección, se han efectuado cinco perforaciones de profundi-



Foto 1.- Levantamiento de patologías.



Foto 2.-Ejecución de un taladro destructivo.

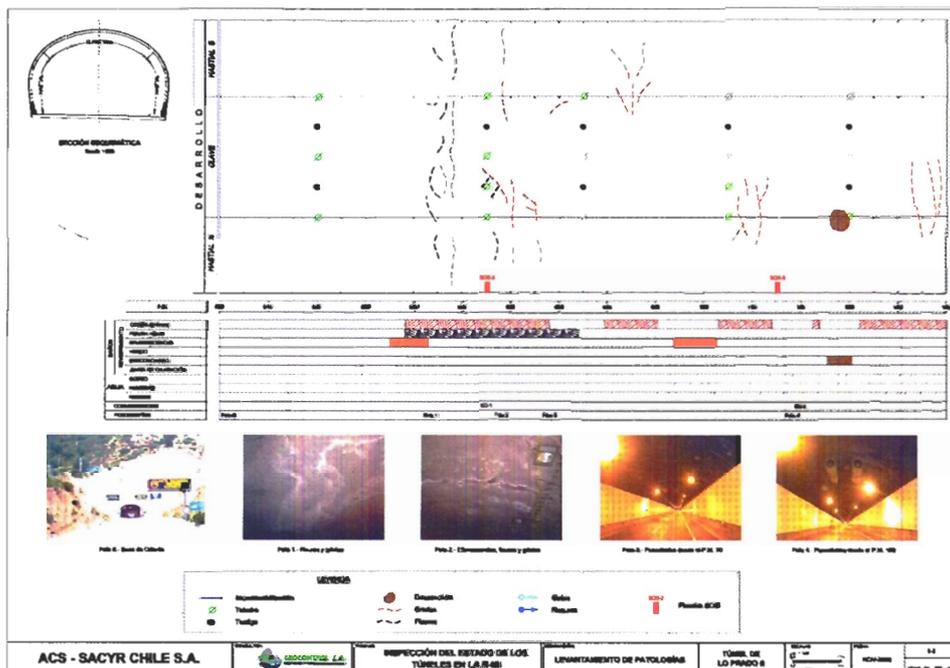


Fig. 1.- Ejemplo de levantamiento de patologías realizado.

dad variable hasta alcanzar el terreno natural; cuatro de ellas corresponden a taladros destructivos, y la quinta a una perforación con recuperación de testigo; dispuestos de la manera que se ilustra en la Fig. 2.

En la Foto 3 se aprecia la distribución de una de las secciones de control del espesor del hormigón proyectado.

Los testigos de 25 mm de diámetro se han perforado con varias máquinas rotativas del tipo Hilti DD-100 MEC, con brocas de diamante de diámetro exterior de 30 mm.

Los taladros se han realizado con martillos tipo Hilti TE-15 EC y Makita, con broca de widia de 18 y 20 mm de diámetro.

Como resultado, se presentan, para cada uno de los túneles anteriormente citados:

- Un cuadro con los datos de espesores de hormigón proyectado medidos en cada uno de los cinco taladros de todas las secciones de inspección.
- La representación gráfica de la distribución estadística de espesores, obtenida mediante la realización de una inter-

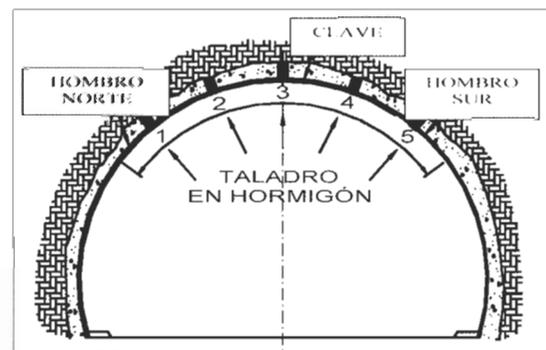


Fig. 2.- Disposición de los taladros en el desarrollo de la bóveda del túnel.

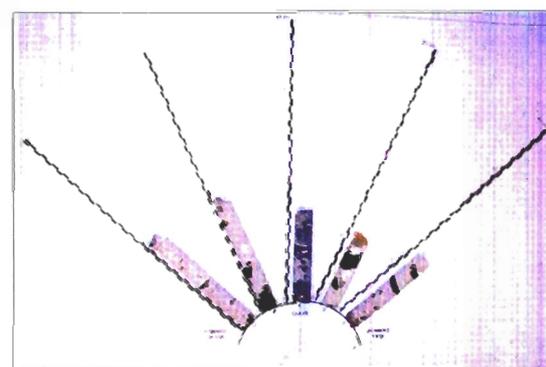


Foto 3.- Sección de control del espesor del hormigón proyectado.

polación con el programa informático Surfer 8.

En la Fig. 3 se muestra un ejemplo del resultado de estos trabajos.

Ensayos de esclerometría

Se han realizado ensayos de esclerometría mediante registro de rebote con el Martillo de Schmidt en diferentes puntos de control (conjuntamente con la de zonificación de agrietamientos en el túnel).

Los ensayos de esclerometría se han realizado con el objeto de evaluar la resistencia a compresión del hormigón y detectar la posible presencia de huecos.

Éstos se han hecho en aquellas zonas donde se ha detectado algún tipo de anomalía relacionada con el hormigón proyectado, como por ejemplo, oquedades, separación del revestimiento y el terreno natural, humedades, rezumes, etc.

Colocación de estaciones de convergencia en los túneles

Se han colocado, en puntos estratégicos, varias estaciones para medidas de convergencia; con el objeto de comprobar la estabilidad del túnel. En cada una de las esta-

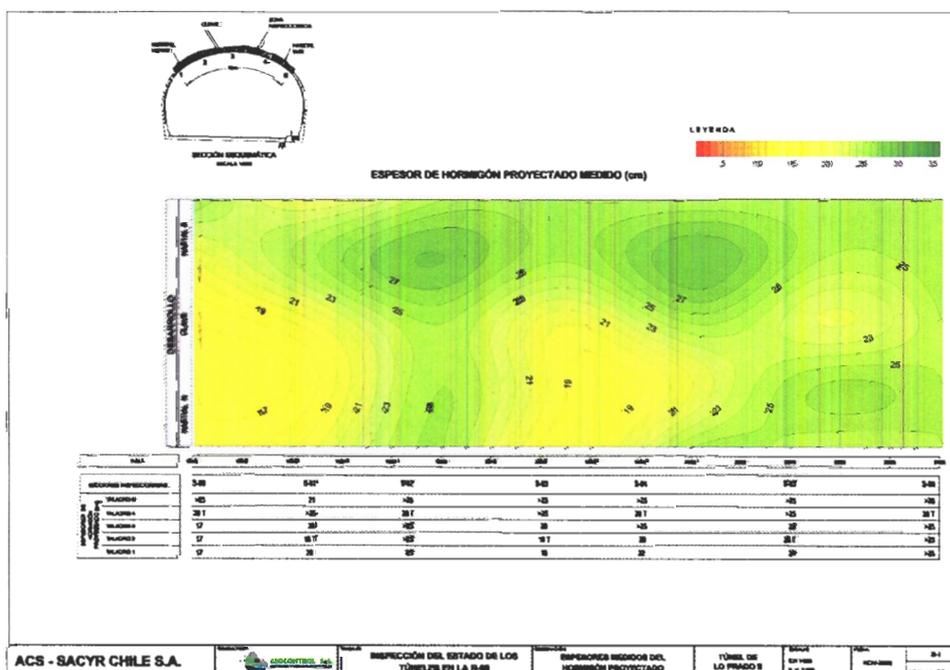


Fig. 3.- Ejemplo de la determinación del espesor del hormigón proyectado.

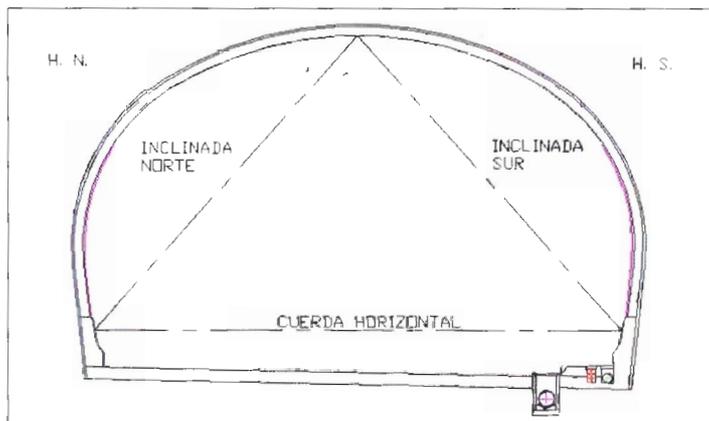


Fig. 4.- Disposición de las estaciones para la medida de convergencias.



Foto 4.- Realización de una medida de la cuerda inclinada en el túnel.

ciones colocadas, se miden tres cuerdas, una horizontal aproximadamente a una altura de un metro de la calzada y, otras dos cuerdas inclinadas desde la bóveda al hastial; disposición que se muestra en la **Fig. 4**.

Estos puntos de referencia están constituidos por un anclaje mecánico, los cuales van anclados al hormigón por uno de sus extremos y, por el otro extremo, van provistos de una anilla. Esta anilla se utiliza para fijar, entre dos de ellas, la cinta extensiométrica que se utiliza para medir las convergencias.

Al igual, que se han colocado puntos para la medida de convergencias en la bóveda del túnel, también se ha realizado este trabajo en la base de los hastiales, con el fin de medir convergencias horizontales.

Las medidas de convergencias se han realizado con un equipo de *Soils Instrument Ltd* (UK) modelo *Tape Extensometer MK II* que permite una precisión de $\pm 0,05$ mm.

En la **Foto 4** se aprecia la realización de medidas de convergencia inclinada.

Tunnel Scanner

El sistema *Túnel Scanner 360* desarrollado por la compañía alemana *Spacetec*, permite reconocer el estado del revestimiento

de los túneles y su geometría de un modo rápido y preciso.

Este sistema dispone de los tres canales siguientes:

- *Visual*: registra la imagen real del perímetro interior del túnel.
- *Profile*: proporciona un perfil geométrico continuo del túnel.
- *Thermography*: mediante la medida de la variación de las temperaturas en la superficie externa del revestimiento del túnel es capaz de determinar su estado y las zonas donde existen anomalías en su trasdós.

Los dos primeros canales, *Visual* y *Profile* emplean la técnica del láser, mientras que el denominado *Thermography* aplica la técnica de los infrarrojos.

Este equipo posee un espejo giratorio que dirige el haz hacia el perímetro de la excavación. El haz reflejado se recoge y se envía al procesador interno donde es registrado y digitalizado.

En la **Fig. 5** se presenta el principio de funcionamiento del método y en las **Fotos 5 y 6** se muestran dos ejemplos de su instalación.

Las principales características técnicas del equipo son:

- Ángulo de registro: 360°.
- Velocidad de rotación: 200 c/s.
- Puntos registrados: 2.500-5.000-10.000 puntos /revolución.
- Distancia de medida (radio del túnel): de 0,5 m a 10 m.
- Reflectividad de la superficie: 5 a 100%.
- Resolución: es función de la resolución escogida (2.000/5.000/10.000 pixel), del radio del túnel y la velocidad de circulación del equipo, tal como se muestra en el **Cuadro 1**.

Por ejemplo, si se registra con una resolución de 5.000 pixel y el radio medio del tramo de túnel en estudio es de 5 m, la velocidad adecuada para obtener una resolución similar en sentido tangencial y radial es de unos 4,5 km/h.

Un elemento básico de este equipo es el sistema de posicionamiento instalado en la rueda del vehículo motriz, el cual una vez calibrado permite conocer el punto exacto al que corresponde cada medida registrada.

En los apartados siguientes se describen los tres canales de los que dispone este equipo.

Canal Visual

Su funcionamiento se basa en la radia-

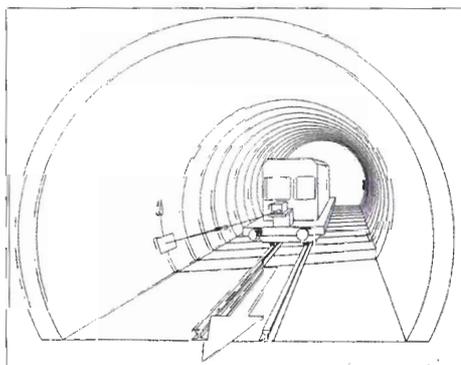


Fig. 5.- Principio de funcionamiento del Tunnel Scanner.



Foto 5.- Detalle del Tunnel Scanner.

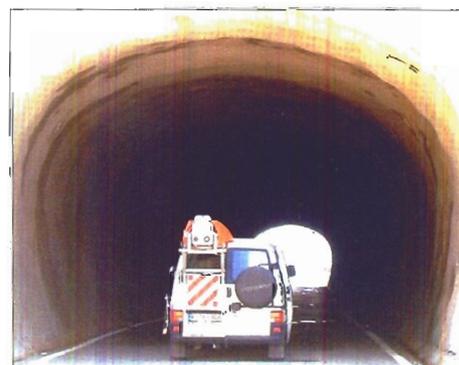


Foto 6.- Tunnel Scanner obteniendo la imagen digital de un túnel.

RADIO DEL TÚNEL (m)	RESOLUC. (Pixel)	VELOCIDAD (km/h)	RESOLUCIÓN (cm)	
			TANGENCIAL	RADIAL
2	2.500	3,6	0,5	0,5
	5.000	1,8	0,25	0,25
4	2.500	7,2	1,0	1,0
	5.000	3,6	0,5	0,5
6	2.500	10,8	1,5	1,5
	5.000	5,4	0,75	0,75

CUADRO I.- Resolución del TS 360 BP para distintos tamaños de túnel, velocidades de circulación y las dos resoluciones más habituales.

ción de un rayo láser, enviado al exterior a través de un espejo giratorio. Este haz ilumina secuencialmente todo el perímetro del túnel, captando el mismo espejo por fotogrametría la imagen visual del contorno. La señal recogida se envía al procesador interno que la digitaliza, consiguiendo un contraste óptimo entre puntos, fundamental para su posterior interpretación.

La recolección simultánea de los datos de imagen visual y de los geométricos, proporciona una perfecta ubicación de cada punto, necesaria para la correcta interpretación de la información.

En la **Fig. 6** se presentan dos imágenes captadas por el canal *Visual* durante los trabajos efectuados. Ambas corresponden al túnel de Zapata II. Pueden apreciarse, en blanco, los paneles reflectantes en hastiales, así como dos jets de ventilación. Estas imágenes constituyen un registro objetivo con resolución centimétrica del estado actual del túnel y pueden superponerse al levantamiento de patologías realizado

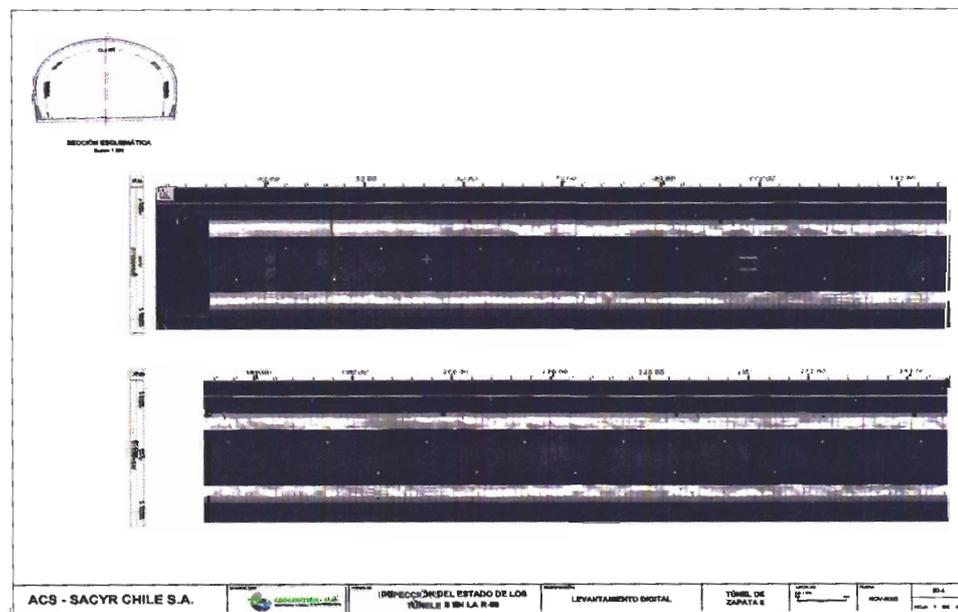
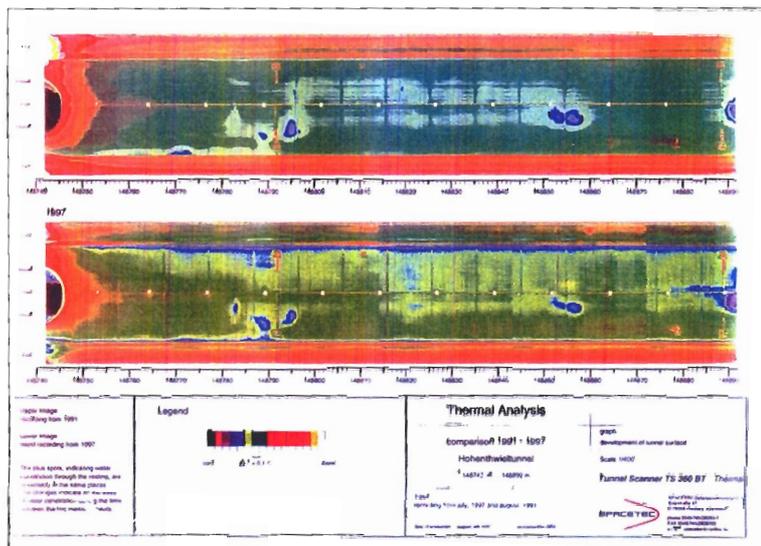


Fig. 6.- Imágenes en 2D de un tramo del túnel.

Fig. 7.- Levantamiento térmico de un tramo del túnel Lo Prado I.



Canal Profile

Este canal dispone de un modulador en alta frecuencia del haz, que permite a partir del desfase entre las señales transmitida y recibida, determinar con precisión la distancia a cada uno de los puntos registrados.

Esta información, combinada con la proporcionada por el sistema de posicionamiento del vehículo motriz, consigue una perfecta representación tridimensional del túnel gracias a:

- Los 2.500/5.000 puntos tomados en cada revolución.
- Al espaciado entre dos perfiles sucesivos, inferior a 1 cm.

Como es fácil comprobar, si el espejo gira a 200 r/s y en cada vuelta se registran 2.500 puntos, se están tomando 500.000

puntos durante cada segundo de reconocimiento, lo que da una idea de la magnitud de los archivos informáticos generados.

En el caso de los túneles de la R-68 no se ha empleado este canal, al no considerarse necesario.

Canal Termográfico

Las imágenes térmicas muestran los cambios en la temperatura de la superficie externa del revestimiento mediante imágenes de colores, graduados en función de la temperatura.

Estos cambios de color proporcionan información vital como es la presencia de agua tras el revestimiento, huecos y otros daños que pasarían desapercibidos con una inspección visual.

En la **Fig. 7** se presentan dos registros del mismo tramo de túnel, obtenidos con 6 años de diferencia, donde se aprecia la degradación producida en el revestimiento del túnel, bien marcada por las zonas de baja temperatura en azul.

En la **Fig. 8** se muestra un ejemplo del túnel de Lo Prado I donde se aprecian claramente las zonas con agua, en azul, en el trasdós del hormigón revestido.

Conclusiones

Se han realizado una serie de trabajos que han permitido conocer el estado actual de los túneles. Estos trabajos han quedado sintetizados en los cuatro planos siguientes:

- Levantamiento de patologías a escala 1/500.
- Isolíneas de espesor de *shotcrete* a escala 1/500.
- Imagen visual en tres dimensiones de los túneles.

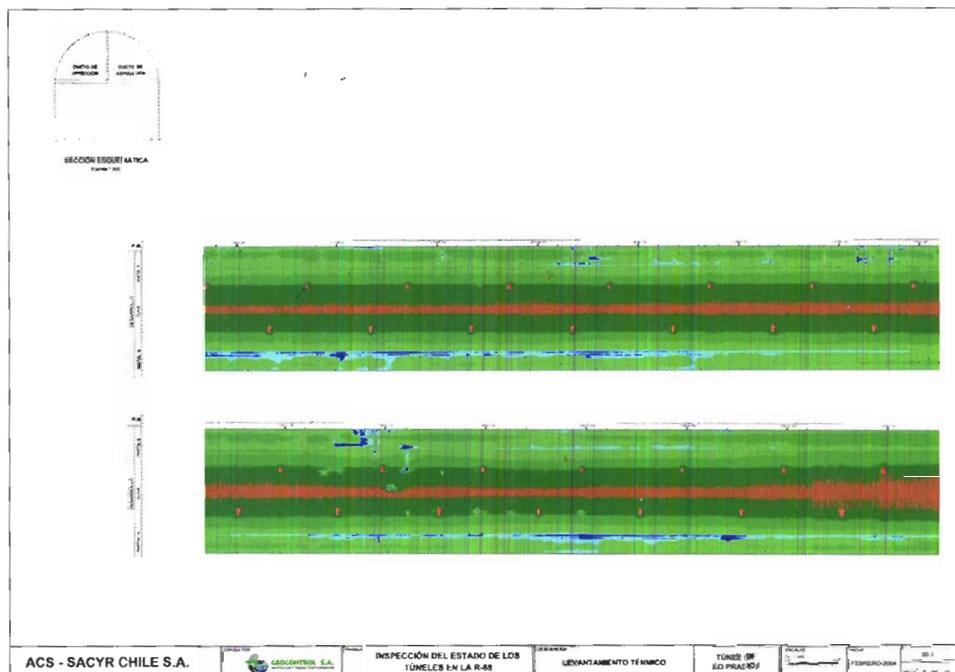


Fig. 8.- Registros termográficos de un tramo del túnel de Lo Prado I obtenidos con 6 años de diferencia.

- Imagen térmica en tres dimensiones de los túneles.

En general, se puede afirmar que el estado de los túneles es satisfactorio. No obstante, se han detectado una serie de patologías que han sido clasificadas en función de la urgencia de su reparación; pasando el resto a formar parte de las zonas que deben ser objeto de seguimiento.

Se ha definido un programa de mantenimiento y auscultación, que debe seguirse con objeto de asegurar la plena funcionalidad de los túneles.

La inspección realizada, con objeto de levantar los daños existentes en los túneles, pone de manifiesto que no existe ninguna patología asociada a la falta de espesor de hormigón proyectado, siendo razonables los espesores detectados en todos los túneles.



Laboratorio de geotecnia con los más innovadores equipos y personal cualificado para ejecución de diferentes ensayos y mecánicas para el sector público y privado.



Áreas de actividad:

- Mecánica de Suelos.
- Mecánica de Rocas (ornamentales e industriales).
- Análisis de aguas.
- Ensayos de suelo-cemento.
- Ensayos in situ.
- Hormigón proyectado.

Equipos principales:

- Triaxiales de suelos • DPSH • Placa de carga
- Software de cálculos y gráficos...

Recursos:

- Almacén de material de ensayo • Salas de ensayo mecánico y químico de suelos • Sala de preparación de muestras • Sala de preparación de rocas.

Acreditada por la Comunidad de Madrid (RD-1230/1989) del 12-04-96 Área SE. Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelo (Publicado en el B.O.C.A.M. del 31 - 07 - 96) para realizar trabajos de cara al sector público.

CEPASA Ensayos Geotécnicos, S.A.

Nicolás Copérnico, 12 - Pol. Ind. CODEIN • 28940 FUENLABRADA (Madrid)

Tel.: 91 606 88 54 • Fax: 91 609 88 55 • E-mail: cepasa@mx3.redestb.es • Web: www.cepasaensayos.com

