

Mediante el sistema e-CONV (Electronic Convergences)

Control de la estabilidad durante la construcción del Túnel de Bouzas

El Túnel de Bouzas forma parte del Subtramo Miamán – Ponte Ambía, en el Tramo Lubián – Ourense, perteneciente a la Línea de Alta Velocidad Madrid – Galicia, cuya construcción está gestionada por ADIF. Las obras del Subtramo Miamán – Ponte Ambía fueron adjudicadas a la UTE formada por las empresas *Constructora San José* y *Obras Subterráneas*. La UTE por su parte, contrató con la empresa *Geocontrol* la asesoría a la construcción del túnel y el control de la estabilidad del Túnel de Bouzas; mediante el sistema e-CONV. En este artículo se presenta una descripción del túnel y del control de la estabilidad llevado a cabo durante su construcción.

El Túnel de Bouzas es un túnel monotubo, para vía doble, de 852 metros de longitud; de los cuales 676 metros se excavan en mina, con un recubrimiento máximo de 37 metros sobre la clave del túnel.

En ambas bocas del túnel se han previsto estructuras en túnel artificial, que cuentan con una longitud de 75,5 metros en la Boca de Entrada (Este), y 100,5 metros en la Boca de Salida (Oeste).

El trazado en alzado del túnel se desarrolla con una pendiente longitudinal del 2,5 %. La sección útil del túnel es de 95 m² y tiene un radio de excavación de 6,76 metros.

Terrenos excavados

El trazado del Túnel de Bouzas discurre dentro del *Macizo Granítico de Allariz*; constituido por una serie de granitos de dos micas, con diferentes grados de alteración y con dos sistemas de juntas, N-S y NE-SO, y sus conjugadas, que dan lugar a zonas de intensa fracturación.

En ambos emboquilles, el trazado atraviesa suelos residuales graníticos (jabre); productos de la degradación y alteración del sustrato granítico.


En el túnel, mayoritariamente excavado en materiales graníticos, el valor del *RMR* varía entre 45 y 60; exceptuando las zonas de falla con mayor densidad de fracturas y en los emboquilles en donde el *RMR* desciende a valores de 25-40 puntos.

Método constructivo

El método constructivo elegido para la excavación del túnel es el *NATM (Nuevo Método Austriaco)* en fases de *Avance*, *Destroza* y *Contrabóveda*; actualmente se está finalizando la fase de *Destroza*.

En el Proyecto se definen cinco secciones tipo de Sostenimiento; cuyas características se muestran en el *Cuadro I*. Los elementos básicos del sostenimiento son hormigón proyectado reforzado con fibras, paraguas de micropilotes, bulones y cerchas. Sobre el sostenimien-

Palabras clave: AVANCE, CONTROL, CONVERGENCIA, DESTROZA, ESTABILIDAD, ESTACIÓN, EXCAVACIÓN, MEDIDA, PAD, SISTEMA E-CONV, TÚNEL.

 CUADRADO, Juan. Jefe de Control de la Construcción e inspección de Túneles (*). TARDÁGUILA, Isidoro. Supervisor de Geotecnia y Obras Subterráneas (*). BENITO CÉSAR. Control de la Constr. de Obras Subterráneas (*). (*) GEOCONTROL, S.A.

to se coloca un revestimiento de hormigón encofrado, de 30 cm de espesor.

En el *Cuadro II* se muestra la longitud de aplicación de los sostenimientos tipo en el túnel.

La excavación se ha realizado mediante perforación y voladura en los tramos con *RMR* altos y mediante excavación mecánica para *RMR* bajos, tal y como se muestra en el *Cuadro III*. Las secciones de excavación de Avance y Destroza son 74,5 m² y 58,27 m² respectivamente.

Control de la estabilidad mediante el sistema e-CONV

La experiencia de *Geocontrol* en el control de la construcción de túneles muestra que la medida de la convergencia es el método más efectivo para el control de la estabilidad de un túnel y, por ello, *Geocontrol* desarrolló el *sistema Electronic Convergences (e-CONV)*; que es una herramienta que asegura una rápida y eficaz gestión de las medidas de convergencia, eliminando los errores humanos.



■ [Foto 1].- Frente excavado en granito con grado de alteración III-IV.



■ [Foto 2].- Frente excavado en zona de falla con granito milonitizado.

SOSTENIMIENTO TIPO	TERRENO	RMR	RECUBRIMIENTO (m)	PARAGUAS	ELEMENTOS SOSTENIMIENTO			LONGITUD DE PASE (m)	
					SELLADO (HP30 con fibra)	BULONES (SWLLEX Mn24, L=4m)	CERCHAS		
ST-V	Granito alterado (GM IV-) y fallas	<30	15	Paraguas de Micropilotes	5 cm	-	TH-29 a 0,75 m con pata de elefante	25 cm	0,75
ST-IV	Granito (GM=III) muy fracturado, o en proximidades de fallas Granito alterado (GM IV)	30-40	<30	-	5 cm	e=1m e=1m	TH-29 a 1 m	20 cm	1
ST-III	Granito (GM=II) fracturado	40-50	<30	-	5 cm	e=1,5m e=1m	-	15 cm	2
ST-II	Granito (GM II-III)	50-65	<30	-	5 cm	e=1,5m e=1,5m	-	10 cm	3
ST-I	Granito sano (GM I-II)	≥65	-	-	-	e=2m e=2m	-	5 cm	4

[CUADRO I].- Características de los sostenimientos tipo.

SOSTENIMIENTO TIPO	MÉTODO DE EXCAVACIÓN (m)		
	MECÁNICA	MIXTA	VOLADURA
ST-V	46,55	8,17	-
ST-IV	6,5	124,87	11,12
ST-III	-	44,65	160,61
ST-II	-	-	273,53
ST-I	-	-	-
Total	53,05	177,69	445,26

[CUADRO III].- Método de excavación según sostenimiento tipo.

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA E-CONV

Los datos de las lecturas de las mediciones de convergencia se introducen en un dispositivo móvil PDA, tal y como se observa en la Foto 3, en el que se dispone de los datos de las últimas medidas realizadas, de forma que se pueden consultar y repetir la medida que se está tomando en el momento si se observa alguna anomalía.

En el caso de que exista Internet en el túnel, en el momento en que se introducen las medidas en la PDA éstas serán transferidas al sistema y se iniciará su procesamiento.

En el caso del Túnel de Bouzas, la sincronización de la PDA con el software e-CONV se realiza a través de un equipo informático en obra, permitiendo de forma automática representar, gestionar y analizar las medidas de convergencia.

Una vez analizadas las medidas de convergencia se procede a la sincronización con el servidor externo eCOC, mediante el cual se puede:

- Generar mensajes de alerta cuando una estación alcanza el estado de alerta a usuarios autorizados.
- Crear consultas por usuarios asociados autorizados para ello.

En la Fig. 1 se esquematiza el funcionamiento del e-CONV.

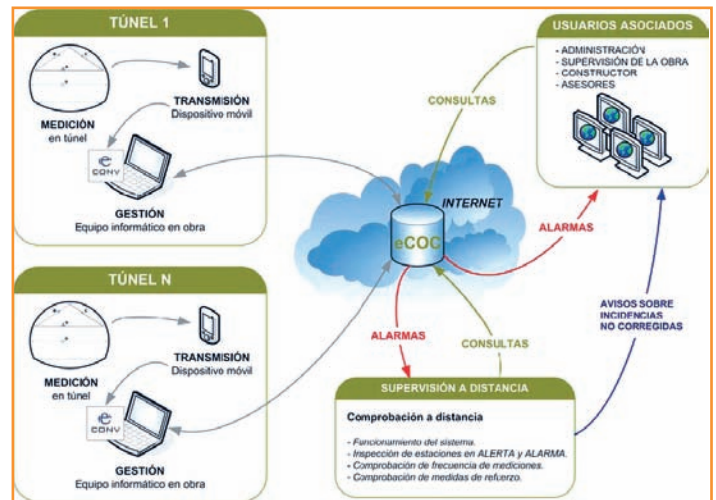
SOSTENIMIENTO TIPO	Longitud de aplicación (m)	% Total
ST-V	54,72	7,5%
ST-IV	142,49	21,2%
ST-III	205,26	30,6%
ST-II	273,53	40,7%
ST-I	0	0,0%
TOTAL	676	100%

[CUADRO II].- Longitudes de aplicación de los sostenimientos tipo en el túnel.

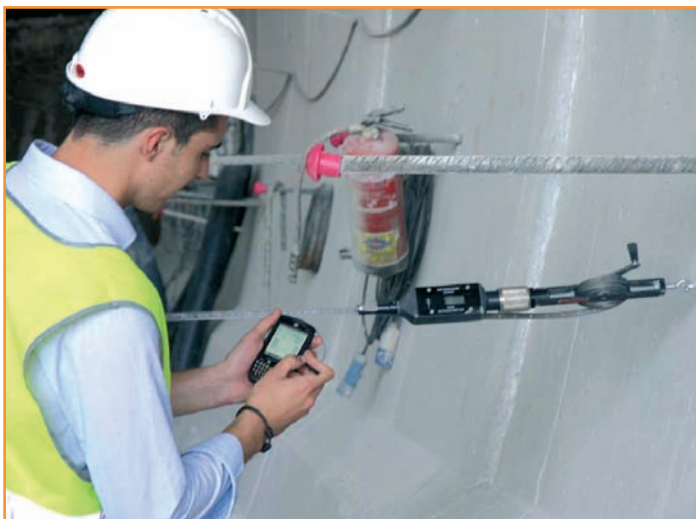
REPRESENTACIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONVERGENCIA

El programa e-Conv además de almacenar y gestionar las medidas de convergencia ofrece las salidas gráficas:

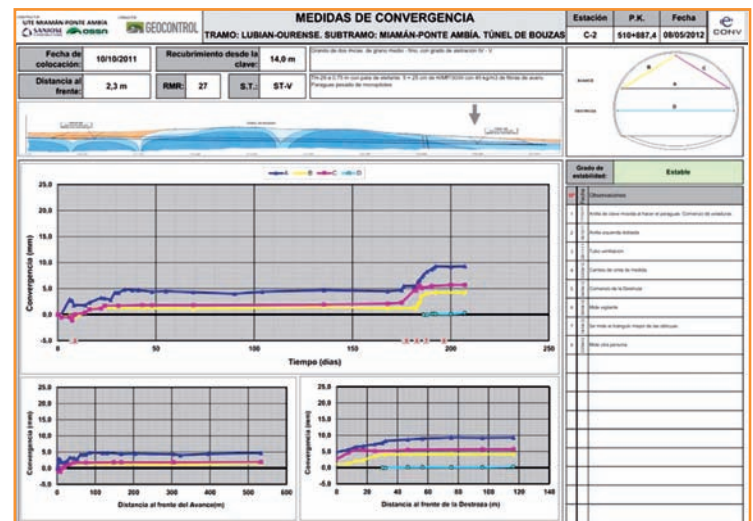
- Representación de la convergencia en cada estación en función de la distancia al frente y del tiempo.
- Registro de medidas.
- Representación de evolución de la convergencia de varias estaciones, tal y como se muestra en la Fig. 2.



[Figura 1].- Funcionamiento del sistema e-CONV.



[Foto 3].- Introducción de medidas de convergencias en una PDA.



[Fig. 2].- Ejemplo de representación multigráfica del control de una estación.

Instrumentación

ZONA	ESTADO	ACELERACIÓN (A) (mm/días ²)	VELOCIDAD INSTANTANEA (U) (mm/día)
Distancia al frente < 3 Diámetros	ALERTA	A > 0	-
	PREVENCIÓN	A < 0	U > 10
	EVOLUCIÓN NORMAL	A < 0	U < 10
Distancia al frente > 3 Diámetros	ALERTA	A > 0	U > 1
	PREVENCIÓN	A < 0	U > 1
	EVOLUCIÓN NORMAL	A < 0	U < 1
	ESTABLE	U < 0,1 mm/d durante un tiempo mínimo de 15 días	

[CUADRO IV].- Definición del estado de las estaciones en función de velocidad y aceleración de convergencia.

ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS

En el caso de que en el diseño del túnel se haya calculado la magnitud de las convergencias medibles durante la construcción, los valores de convergencia alcanzados en obra se comparan con los predeterminados para cada tramo de túnel en el Proyecto, clasificándose en tres niveles: Verde, Amarillo y Rojo; tal y como se ha realizado en el control de la estabilidad del Túnel de Bouzas.

Si los valores esperables de las convergencias no están calculados mediante los valores de la velocidad y la aceleración de la convergencia, se definen los estados siguientes: Alerta, Prevención, Evolución Normal y Estable, de acuerdo a los criterios recogidos en el Cuadro IV de la parte superior.

SUPERVISIÓN DIARIA POR PARTE DE UN EQUIPO ESPECIALIZADO

El funcionamiento del e-CONV se complementa con una Supervisión Diaria, que se realiza desde las oficinas centrales de Geocontrol, en Madrid; que tiene por objeto comprobar la frecuencia de las medidas, que el sistema funciona perfectamente y que se adoptan las acciones necesarias cuando se superan los umbrales establecidos.

Como fruto de esta supervisión; diariamente se envía, a las personas autorizadas, un correo electrónico en el que se resume el estado de las estaciones de convergencia, colocadas en el túnel, los avisos automáticos generados por el sistema e-CONV y las acciones tomadas. En la Fig. 3 se muestra un ejemplo de correo electrónico diario enviado.

En el correo electrónico se adjunta un archivo, como el que se muestra en la Fig. 4, donde se resumen las características de las estaciones de convergencias que todavía no se han estabilizado.

Resultados obtenidos

En el Túnel de Bouzas se han colocado 46 estaciones de convergencia, una cada 15 m de promedio.

[Figura 3].- Ejemplo de correo electrónico de supervisión diaria.

I.- Distribución del estado de las estaciones de convergencia controladas en el Túnel de Bouzas el día 2/03/2012.

- Estaciones estabilizadas.....29
- Estaciones en evolución normal.....8
- Estaciones en PREVENCIÓN.....0
- Estaciones en ALERTA.....0

Total estaciones de convergencia.....37

II.- Datos de las estaciones de convergencia que TODAVIA NO SE HAN ESTABILIZADO

ESTACIÓN	PK	RMR (UTE)	ICE	SOSTENIMIENTO TIPO COLOCADO	CONVERGENCIA TOTAL REGISTRADA (mm)	ESTADO
					CUERDA A	
C-36	510+321	34	101	ST-IV	0,00	Evolución normal
C-35	510+338	43	154	ST-III	0,00	Evolución normal
C-34	510+359	38	92	ST-III	-0,40	Evolución normal
C-33	510+367	35	78	ST-IV	-0,20	Evolución normal
C-32	510+376	35	78	ST-IV	-0,30	Evolución normal
C-31	510+386	30	32	ST-IV	1,50	Evolución normal
C-30(Bis)	510+390	38	89	ST-IV	-0,20	Evolución normal
C-30	510+396	37	85	ST-III	5,70	Evolución normal

III.- Avisos emitidos por el e-Conv el día 2/03/2012

III.1.- Avisos de PREVENCIÓN

Ninguno.

III.2.- Avisos de ALERTA

Ninguno.

IV.- Acciones tomadas en los avisos emitidos

No procede.

TÚNEL DE BOUZAS - BOCA DE SALIDA												FECHA: 02/03/2012		
ESTADO DE LAS ESTACIONES DE CONVERGENCIA EN LA FASE DE DESTROZA														
ESTACIÓN	PK	FECHA COLOCACIÓN	RMR	ICE	SOSTENIMIENTO TIPO COLOCADO	CONVERGENCIA GLOBAL ESPERADA (mm) PROMEDIO	FECHA ÚLTIMA MEDIDA	CONVERGENCIA GLOBAL ÚLTIMA MEDIDA (mm)	INCREMENTO DE CONVERGENCIA POR ÚLTIMA MEDIDA (mm)	CONVERGENCIA SOCIAL REGISTRADA (mm) CUERDA A	VELOCIDAD DE CONVERGENCIA (mm/d)	ACELERACIÓN DE CONVERGENCIA (mm/d ²)	ESTADO	RECOMENDACIONES
C-36	510+321	23/02/12	34	101	ST-IV	0,00	02/03/12	0,00	-0,00	0,00	0,00	0,00	Estable	Multifuncional
C-35	510+338	23/02/12	43	154	ST-III	0,00	02/03/12	0,00	-0,00	0,00	0,00	0,00	Estable	Multifuncional
C-34	510+359	23/02/12	38	92	ST-III	0,00	02/03/12	0,00	-0,40	0,00	0,00	0,00	Estable	Multifuncional
C-33	510+367	23/02/12	35	78	ST-IV	0,00	02/03/12	0,00	-0,20	0,00	0,00	0,00	Estable	Multifuncional
C-32	510+376	23/02/12	35	78	ST-IV	0,00	02/03/12	0,00	-0,30	0,00	0,00	0,00	Estable	Multifuncional
C-31	510+386	23/02/12	30	32	ST-IV	0,00	02/03/12	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	Estable	Multifuncional
C-30(Bis)	510+390	23/02/12	38	89	ST-IV	0,00	02/03/12	0,00	-0,20	0,00	0,00	0,00	Estable	Multifuncional
C-30	510+396	23/02/12	37	85	ST-III	0,00	02/03/12	0,00	5,70	0,00	0,00	0,00	Estable	Multifuncional

[Figura 4].- Tabla resumen de las medidas y estado de las últimas estaciones medidas.

En la Fig. 5 se muestran las convergencias medidas en las estaciones en Avance, que presentan un máximo en la estación C-30 de 5,8 mm; aunque, normalmente, la convergencia media no ha superado los 2 mm.

En esa misma figura se muestra la evolución del Índice de Comportamiento Elástico (ICE); que al ser, en la mayor parte del túnel, superior a 100 puntos significa que la excavación se comporta elásticamente y, en consecuencia, la convergencia medida debe ser milimétrica.

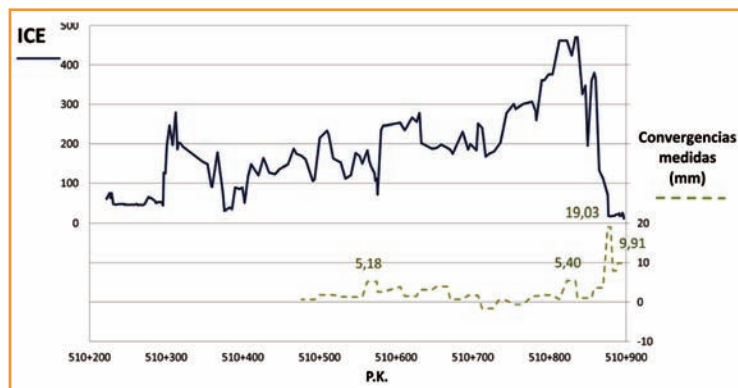
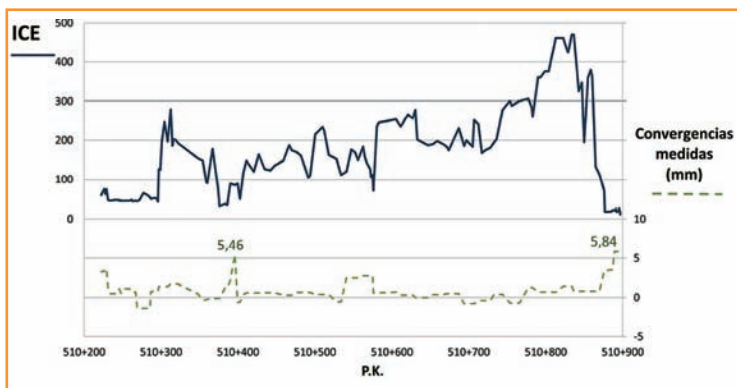
En la Fig.6 se muestra la evolución de las

convergencias medidas en la Destroza; que, lógicamente, presenta una distribución similar a las del Avance.

En la construcción del Túnel de Bouzas no ha habido incidentes reseñables; aunque, durante la Destroza, en algunas estaciones se ha superado las convergencias previstas en el Proyecto. En estos casos se ha aumentado la frecuencia de las medidas hasta la estabilización de las estaciones.

Como resumen de la aplicación del sistema e-CONV en el Túnel de Bouzas, cabe resaltar lo siguiente:

Instrumentación



■ [Fig. 5] .- Convergencias medidas en el AVANCE y valores del ICE.

■ [Fig. 6] .- Convergencias medidas en la DESTROZA y valores del ICE.

1. Diariamente mediante el programa **e-Conv**, personal externo a la obra, por lo tanto no influenciada por los condicionantes del día a día de la obra, ha controlado las convergencias del *túnel de Bouzas*, ha comprobado que las medidas se realizaban con la frecuencia establecida y ha enviado el parte, generado por el programa **e-Conv**, indicando el estado de todas las convergencias instaladas.
2. Diariamente el personal Técnico respon-

sable de la obra estaba informado del estado de las convergencias.

3. La Dirección de Obra y los responsables de la Asistencia Técnica y de la empresa Constructora podían acceder, a través de *Internet*, a los datos y a las representaciones de todas las convergencias.

Por todo ello, se considera que la aplicación del **Sistema e-Conv** al *Túnel de Bouzas*, ha sido un éxito; no solo por la información diaria a los Técnicos responsables de la esta-

bilidad del túnel, que les hubiera hecho adelantarse si hubieran existido problemas, sino también porque el sistema de control ha colaborado al éxito de la construcción de este túnel.

GEOCONTROL, S.A.



Cristobal Bordiú, 19-21, 5º
28003 Madrid

☎: 91 553 17 63 • Fax: 91 554 93 96.

E-mail: geocontrol@geocontrol.es

Web: www.geocontrol.es