

AUTOVÍA "RÍAS BAIXAS" TRAMO: LA CAÑIZA - BATALLANES

Túneles del Folgoso

POR ANDRÉS CORRAL GONZÁLEZ
INGENIERO DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

ÁNGEL MILLÁN REGUERA
INGENIERO DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

PABLO DE LUIS GONZÁLEZ
INGENIERO DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



Embocadura del lado de Orense.

Descripción general de la obra

Los túneles del Folgoso forman parte de la autovía "Rías Baixas" en el tramo comprendido entre las poblaciones de La Cañiza y Batallanes. Dicha autovía se encuentra actualmente en construcción, y junto con la denominada "del Noroeste", constituirá en el futuro los principales accesos a Galicia desde el interior de la Península. (Fig. 1. Plano de situación general)

El citado tramo, situado en el límite de las provincias de Orense y Pontevedra, fue adjudicado por

el Ministerio de Fomento en diciembre de 1993 a la U.T.E. La Cañiza, formada por las empresas OCP Construcciones, S.A. y Ginés Navarro, S.A.

Los túneles del Folgoso se construyen para atravesar el macizo de La Paradanta, cuya altura máxima se sitúa a la cota 950 m.

Se trata de dos túneles gemelos de 2,5 km de longitud cada uno, con una separación de 18 m entre hastiales adyacentes, comunicados con unas galerías de servicio y emergencia cada 300 m. Su traza discurre entre las cotas 535 m y 565 m con recubrimiento máximo del orden de 300

m (Fig. 2. Planta general y perfil longitudinal de los túneles).

La sección útil es de 10,5 m de anchura por 8,09 m de altura en clave, prevista para dos camiles de 3,5 m, arcén interior de 0,5 m y exterior de 1,5 m, bajo los cuales se alojan sendos colectores de 40 cm de diámetro para el drenaje de agua de filtración y escorrentía. Se completa la sección con dos zonas elevadas 10 cm, de 0,5 m y 1,5 m de ancho, respectivamente, destinadas a aceras y al paso de conductos para servicios diversos. La sección total excavada tiene una superficie de

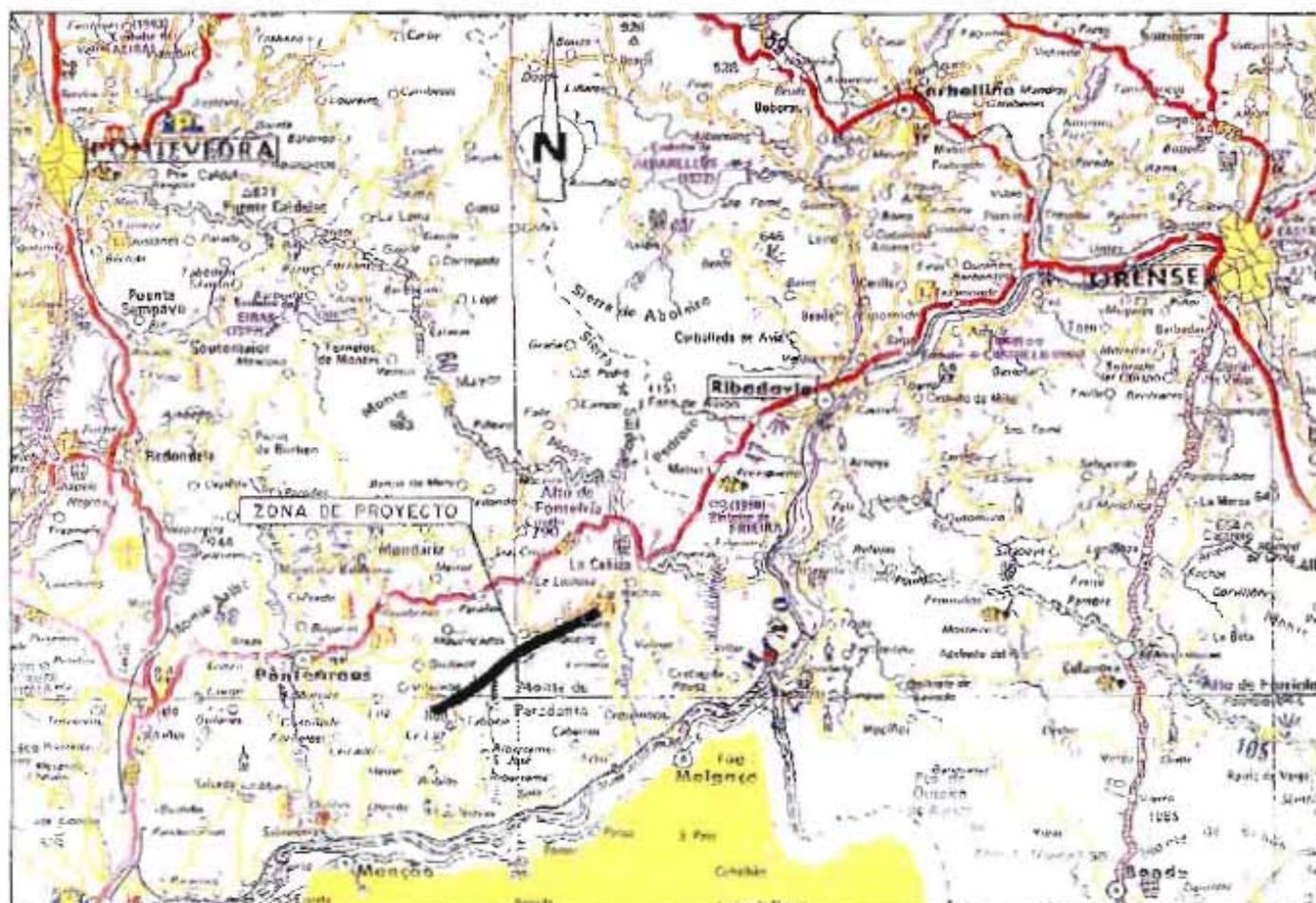


Figura 1. Plano de situación general.

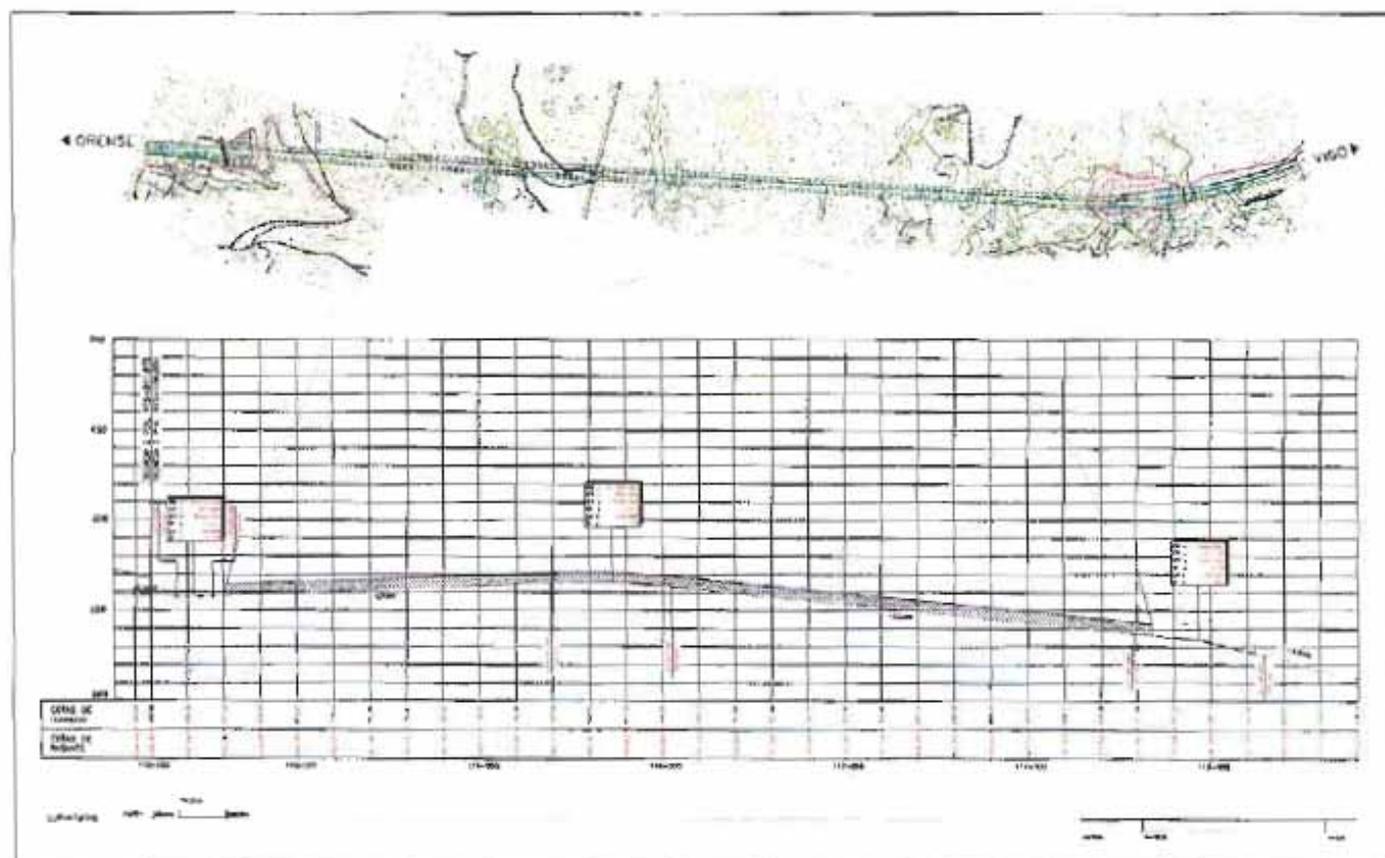


Figura 2. Planta general y perfil longitudinal de los túneles

Los túneles del Folgoso se construyen para atravesar el macizo de La Paradanta, cuya altura máxima se sitúa a la cota 950 m

96,5 m². (Fig. 3. Sección tipo del túnel).

Está previsto dotar a los túneles de un conjunto completo de instalaciones para su servicio.

2. Características geológicas y geotécnicas

El macizo rocoso en el que se sitúan los túneles del Folgoso está compuesto por varias facies graníticas (granitos migmatíticos, equigranulares o heterogranulares) con abundantes enclaves tanto metamórficos como ígneos (cuarzodioritas).

Estructuralmente, en el macizo granítico se observan unas estructuras dúctiles, de la etapa de flujo magmático, y estructuras frágiles, que responden a la etapa tectónica tardeherciniana. Las primeras presentan en principio menos importancia desde el punto de vista del comportamiento del macizo. Las estructuras frágiles son esenciales, sin embargo, desde el punto de vista geomecánico, ya que determinan la red de discontinuidades y puntos débiles del macizo (fallas, diaclasas, etc.).

A efectos del proyecto y basándose en el reconocimiento geológico-geotécnico efectuado, se ha caracterizado el terreno según los criterios de clasificación de Bieniawski (índice RMR), definiéndose cinco tipos de terreno (tipos I a V).

Desde el punto de vista hidrológico, el proyecto ya preveía, y después se han confirmado, unos importantes flujos de agua en las zonas de falla al ser interceptadas por la galería de excavación, debido a la presencia de acuíferos en cotas superiores a las del túnel.

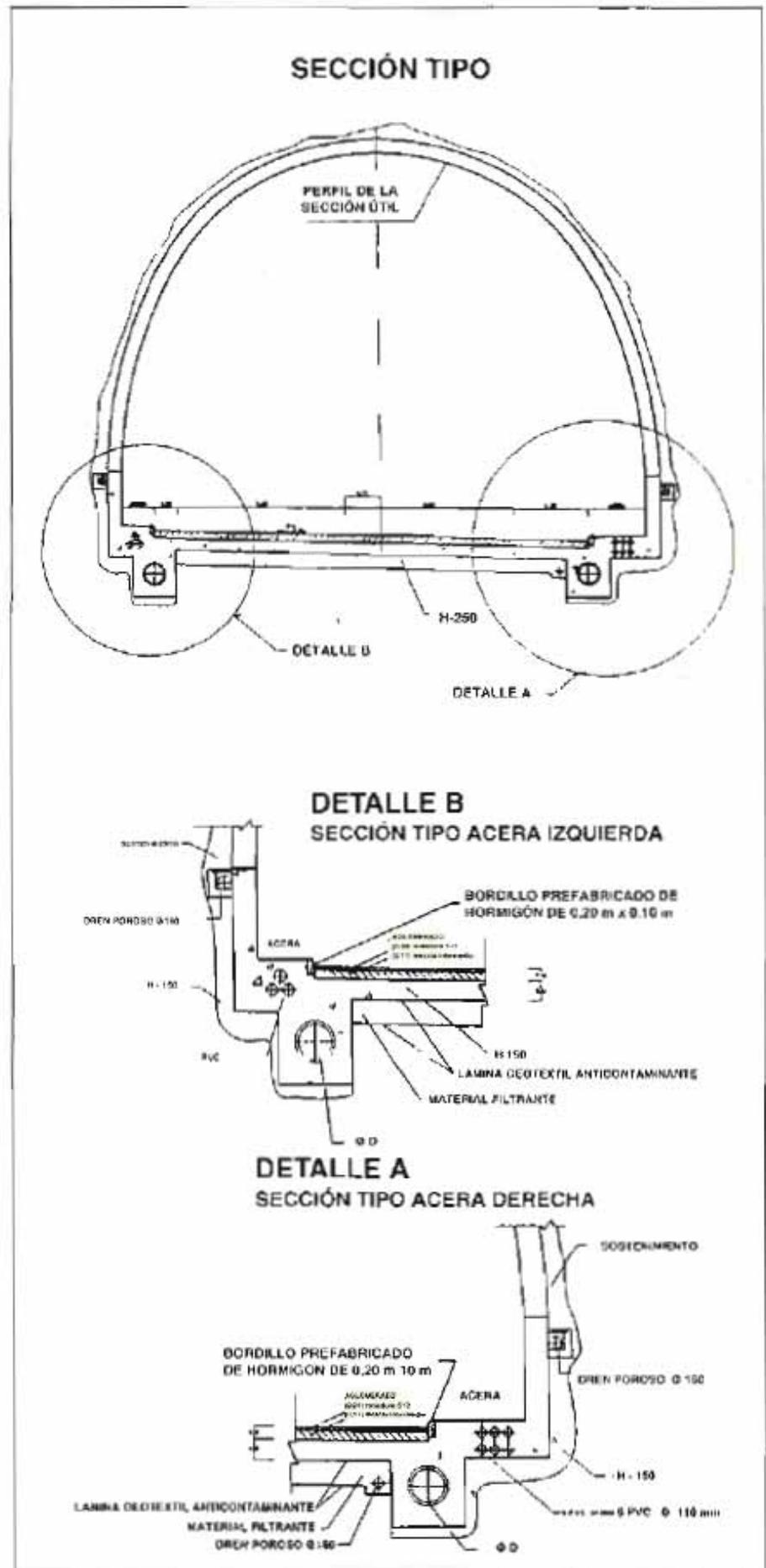


Figura 3. Sección tipo del túnel.

En cuanto a su macroestructura, el túnel se puede subdividir a grandes rasgos en dos zonas (según el registro de los materiales rocosos y accidentes tectónicos obtenido a lo largo de los túneles).

- Una zona oriental desde la Boca Orense (P.K. 115 + 306) hasta la falla 2 y 3 del Proyecto (P.K. 116 + 500). En sus primeros 200-250 m los granitos están bastante sanos en general, con una familia de fracturas predominante (N 120° E/60-80° SW) que ocasionalmente contienen rellenos arcillosos y agua, incidiendo en el proceso de la excavación. En esta última zona los túneles se han ejecutado los sostenimientos más ligeros, es decir, los tipos II y III.
- Una zona occidental, desde la falla 2-3 (P.K. 116 + 500) hasta la Boca Vigo, en la que el granito está más tectonizado y fracturado, con predominio de 2-3 sistemas de fractura principal (N 120°E, N30-60°E y N-S), que ya sea individualmente o relacionados entre si, ocasionan la formación de cuñas y bloques potencialmente inestables; así como también abundan las fallas con fuertes indicios de caolinización, afectando a espesores a veces superiores a los 2-3 m en los que la roca se encuentra totalmente descompuesta, con presencia de agua. En esta zona es donde abundan los sostenimientos más rígidos, tipo IV con cerchas, y en algunas zonas se colocan paraguas de micropilotes para la protección del avance.

3. Proceso constructivo

La excavación se ha dividido en dos fases, avance y destroza, con una distribución de 50 m² y 46 m² de sección, respectivamente.

El sistema de ejecución es el Nuevo Método Austriaco (RABCEWICZ, 1964), estando los elementos del sostenimiento consti-



Ejecución del paraguas de micropilotes en las boquillas.



Inicio de excavación de la calzada izquierda en la boca del lado de Vigo.



Aspecto de la geología granítica en el momento de la perforación.

tuidos por hormigón proyectado, mallazo, bulones anclados con resina, cerchas TH-21, TH-29 y ocasionalmente HEB-140. La excavación se ha realizado de manera mecánica (martillo picador) en las zonas de jabre o roca muy tectonizada y en las zonas de falla; mediante perforación y voladura en las zonas de roca en general más o menos sana; y mixta

- Recubrimiento túnel O-V: 10 m.

Los volúmenes son importantes y las alturas considerables, sobre todo en el lado de Vigo, debido al compromiso (buscado en el proyecto) de situar el inicio de la excavación en unos terrenos con suficiente cobertura y de la máxima competencia posible.

En la actualidad el túnel Oren-



Robot para hormigón proyectado por vía húmeda.

(mecánica más taqueos ocasionales) en las zonas de transición, con mezcla de roca dura y blanda o alterada.

Los túneles se iniciaron en enero de 1995 desde el lado de Orense con la excavación a cielo abierto del desmonte de embocillado. La embocadura del lado de Vigo se inició en abril de 1995. Sus características principales son las siguientes:

Embocadura Orense:

- Volumen de excavación (desmonte): 42 000 m³.
- Altura máxima respecto rasante (talud frontal): 38 m.
- Recubrimiento túnel V-O: 21 m.
- Recubrimiento túnel O-V: 18 m.

Embocadura Vigo:

- Volumen de excavación (desmonte): 180 000 m³.
- Altura máxima respecto rasante (talud frontal): 55 m.
- Recubrimiento túnel V-O: 36 m.

se-Vigo está excavado en la totalidad, y el túnel Vigo-Orense está excavado en avance y 700 m de destroza.

En el apartado 5 se describen los problemas ocasionados por un

hundimiento producido en uno de los túneles y su tratamiento.

3.1. Construcción de las boquillas

Las boquillas se sitúan en unos jabres con terrenos de calidad mala a muy mala, de características peores que las previsiones iniciales del proyecto.

La excavación de los desmontes necesarios se efectuó, fundamentalmente, por medios mecánicos, y ocasionalmente voladuras, procediéndose a un tratamiento sistemático de los taludes frontal y laterales a base de:

- a) Ejecución de taladros de drenaje.
- b) Sostenimiento mediante bulones de 6 m de longitud, mallazo y hormigón proyectado.

Antes de iniciarse la excavación del túnel se realizó una corona de micropilotes alrededor de la sección. Las características del paraguas son las siguientes:

- Doble corona de micropilotes al tresbolillo.
- Longitud: 15 m.
- Diámetro micropilote: 150 mm.
- Espaciamiento: 300 mm.
- Distancia de la corona al perfil de excavación: 300 mm.

También se ejecutó un corto tramo de falso túnel como elemento de protección.

En las boquillas se ha completado la sección de avance del túnel con la destroza y la construc-



Excavación en la sección de destroza.

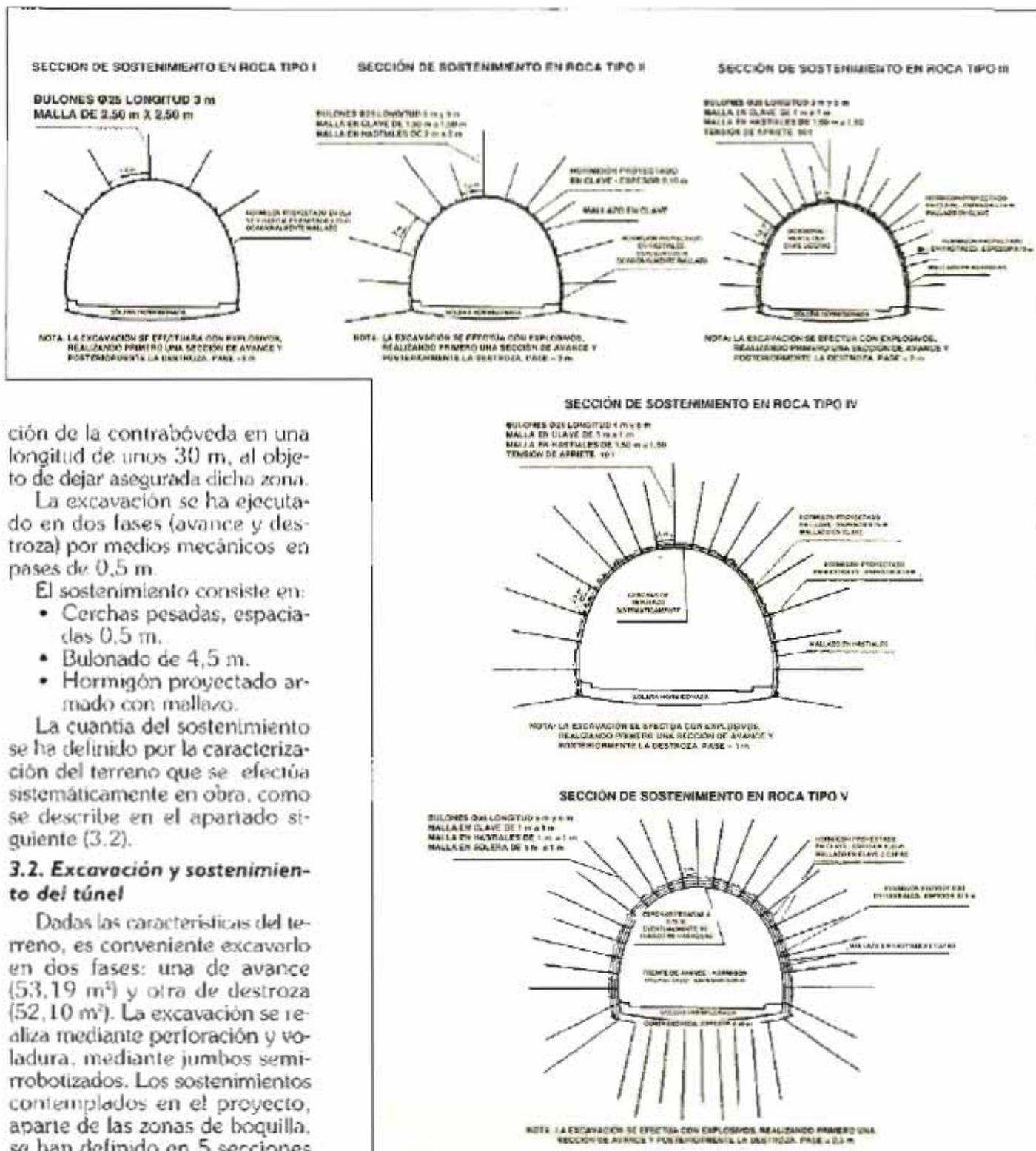


Figura 4. Secciones de sostenimiento

ción de la contrabóveda en una longitud de unos 30 m, al objeto de dejar asegurada dicha zona.

La excavación se ha ejecutado en dos fases (avance y destroza) por medios mecánicos en pases de 0,5 m.

El sostenimiento consiste en:

- Cerchas pesadas, espaciadas 0,5 m.
- Bulonado de 4,5 m.
- Hormigón proyectado armado con mallazo.

La cuantía del sostenimiento se ha definido por la caracterización del terreno que se efectúa sistemáticamente en obra, como se describe en el apartado siguiente (3.2).

3.2. Excavación y sostenimiento del túnel

Dadas las características del terreno, es conveniente excavarlo en dos fases: una de avance (53,19 m³) y otra de destroza (52,10 m³). La excavación se realiza mediante perforación y voladura, mediante jumbos semi-robotizados. Los sostenimientos contemplados en el proyecto, aparte de las zonas de boquilla, se han definido en 5 secciones basadas en la calidad de la roca. Estos sostenimientos se han diseñado con los criterios de Bieniowski (1974, 1979 y 1987) y Barton (1987), entre otros (ver fig. 4).

Sostenimiento tipo I

De buena o muy buena calidad, para rocas con un RMR superior a 65:

- Bulones en clave, diámetro 25 mm, de 3 m de longitud, con una cuadrícula de 2,5 m, inyectados con mortero o con resina.
- Mallazo electrosoldado ocasional, en zonas sueltas o con pequeños bloques de 100x100x4.2 mm o similar.

- Hormigón proyectado (5 cm) en la clave y los hastiales, para proporcionar una protección a largo plazo.

Sostenimiento tipo II

De calidad media a media-buena, para rocas con un RMR entre 50 y 65:



Cala del túnel 1 en galería de 3x3 m. el 21 de enero de 1997.

- Bulones de 3 y 5 m, en la clave, con una cuadrícula de 1,5 m y de 2,0 m en los hastiales.
- Mallazo continuo en la clave.
- Hormigón proyectado (10 cm en la clave y 5 cm en los hastiales).

Sostenimiento tipo III

De calidad media, para rocas con un RMR entre 35 y 50:

- Bulones de 3 y 5 m, de longitud, con una cuadrícula de 1,0 m en la clave y 1,5 m en los hastiales (tensionados a 10t).
- Mallazo continuo en la clave y los hastiales.
- Hormigón proyectado (15 cm en la clave y 10 cm en los hastiales).
- Cerchas ligeras ocasionalmente.

Sostenimiento tipo IV

Para rocas de mala calidad con un RMR entre 20 y 35:

- Bulones tensionados a 10 t, con una cuadrícula de 1,0 m en la clave y 1,5 m en

los hastiales. La longitud de los bulones alterna entre 4 y 5 m.

- Mallazo continuo en la clave y los hastiales.
- Hormigón proyectado (15 cm en la clave y 10 cm en los hastiales).
- Se prevé la instalación de cerchas medias tipo TH, entre 20 y 25 kg/m o similares, de forma sistemática, espaciadas 1 m.

Sostenimiento tipo V

De calidad muy mala, para rocas con un RMR inferior a 20:

- Bulonado sistemático tensionado para toda la sección (incluida la solera) con una cuadrícula de 1,0 m. La longitud de los bulones alterna entre 5 y 6 m.
- Mallazo continuo en la clave y los hastiales (2 capas).
- 20 cm de hormigón proyectado en la clave, 15 cm en los hastiales y 5 cm en el frente.
- Cerchas pesadas espaciadas 0,75 m, de 25 kg/m o similares.

- En el caso de que el frente sea muy inestable, se protege con un paraguas consistente en unas barras de acero perforadas en él.
- La solera se cierra en su totalidad, creando una contrabanda.

Los sostenimientos más rígidos colocados en los túneles han sido del tipo boquilla y del tipo IV, con algunas variaciones, y colocando paraguas de micropilotes para la protección del avance en las zonas de falla y en las boquillas, con fenómenos de inestabilidad en la clave o el frente. Los sostenimientos más ligeros colocados han sido de los tipos II y III.

La longitud del pase oscila entre 0,5 m, en los terrenos del tipo V, hasta 3,0 m en los terrenos del tipo I.

El desescombro se ha realizado mediante palas y camiones.

La metodología adoptada en obra se basa en lo siguiente:

- a). Reconocimiento previo de los terrenos, mediante sondeos horizontales por delante del frente.



Vista del sostenimiento del talud frontal en la boquilla del lado de Vigo.

- determinación de la resistencia al avance.
- ocasionalmente, sondeo con testigo continuo.
- b). Reconocimiento sistemático (geológico-geotécnico) de cada frente para decidir el tipo de sostenimiento.
- c). Toma de datos de producción, para su contraste con los geológico-geotécnicos.
- d). Toma de datos topográficos:
 - perfil de la excavación (antes de la aplicación del sostenimiento)
 - perfil del túnel con el sostenimiento.
- e). Medida de las convergencias, y seguimiento de su evolución, para verificar la

idoneidad de los sostenimientos aplicados.

Esta metodología se ajusta a las exigencias de ejecución de las obras sometidas a un Plan de Aseguramiento de la Calidad (PAC) que la Dirección General de Carreteras aplica en sus contrataciones.

El tratamiento de toda la información de que se dispone permite a la organización de la obra tomar unas decisiones adecuadas sobre la ejecución y las necesidades de sostenimiento.

Desde el punto de vista de la construcción, el sistema descrito permite, además, mediante el adecuado contraste de los datos disponibles (geológico-geotécnicos, auscultación y producción), comprobar que los rendimientos son acordes con la calidad del terreno, optimizar el proceso constructivo y disponer de un completo banco de datos para la toma de decisiones.

4. Equipos de ejecución

En cuanto a los equipos de ejecución, se considera interesante



Perforando poraguas de bulones en el emboquillado de la galería de comunicación, p.k. 115+ 620 desde el túnel 2.

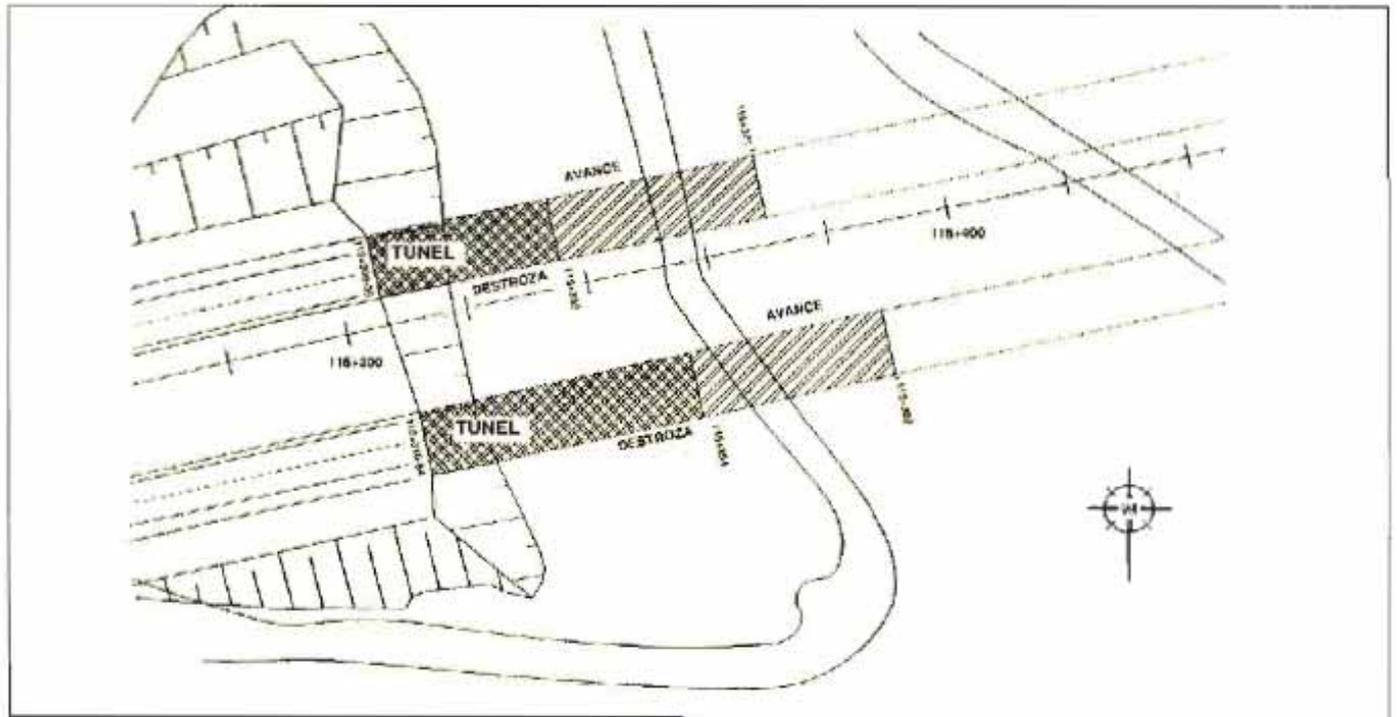


Figura 5 Planta de los túneles. Boca de Orense (17 abril 1995).

destacar por sus especiales características los siguientes:

4.1. Equipos de perforación y desescombro

Se dispone de dos "jumbos" dotados de un sistema de instrumentación con pantalla de ordenador.

Informáticamente, y mediante el almacenamiento previo del esquema de tiro, se controlan de forma automática el posicionamiento de los brazos y el avance de las deslizaderas, mejorándose notablemente los ciclos de perforación respecto a los conseguidos con medios convencionales.

También se dispone de dos "jumbos" auxiliares convencionales.

Para el desescombro se utilizaron 2 palas de ruedas y 2 palas mixtas, además de 6 camiones en cada lado.

4.2. Hormigón proyectado

Para su fabricación se dispone de una central dosificadora en cada boca.

La aplicación del hormigón proyectado se efectúa por vía húmeda mediante un robot gunitador de gran capacidad de producción (20 m³/h), disponiéndose de tres unidades en obra.

Su utilización reporta también notables ventajas sobre los mé-

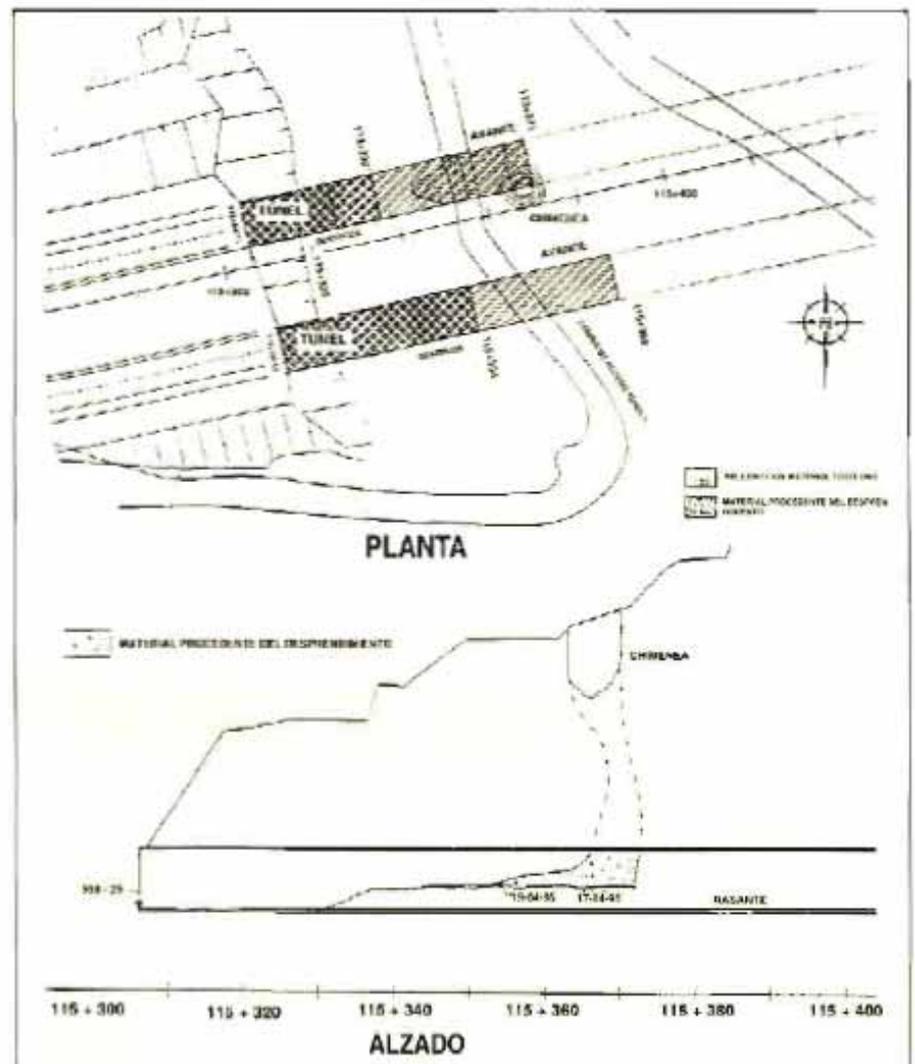


Figura 6 Hundimiento (planta y perfil).



Calca de la galería (p.k. 116+560) desde el túnel 1 (finales de junio de 1997).



Levantamiento geológico estructural en la galería de comunicación, p.k. 116+255.

todos convencionales (vía seca): rendimientos, condiciones de ejecución.

4.3. Equipos auxiliares

También se han necesitado en obra 2 bombas de inyección, 2 compresores de 23 m³/min. y 4 ventiladores de 55 kW. Además de las instalaciones eléctricas y de agua necesarias.

5. Problemas constructivos

HUNDIMIENTO DEL TÚNEL VIGO-ORENSE P.K. 115 + 365

Desde el inicio de la excavación de los túneles por el lado de Orense, y debido a la mala calidad del macizo (jabres) y a una importante afluencia de agua (alforos superiores a 500 l/s), hubo que tomar unas medidas especiales (drenaje del frente, refuerzo de los sostenimientos, etc.).

El 17 de abril de 1995 la situación de los túneles en el frente de Orense era la indicada en la figura 5.

El túnel Vigo-Orense tenía una longitud de 60 m y un recubrimiento de 30 m sobre la clave en el frente.

El terreno atravesado era un granito descompuesto (jabres), con apariencia de arena y un importante flujo de agua.

Se avanzaba en pases de 1 m con el sostenimiento pegado al frente (longitud libre < 1 m). Éste se drenaba con varios taladros horizontales, y se sellaba sistemáticamente con hormigón proyectado.

A pesar de todo, en esa fecha se produjo una rotura del frente con un gran aumento de los caudales de agua y un importante corrimiento de escombros (jabres), que llegaron a cegar totalmente la media sección de avance. El hundimiento provocó una chi-

menea en la vertical sobre la clave del túnel, que llegó a la superficie, creándose un socavón de unos 7 m de diámetro (figura 6).

El hundimiento provocó la paralización inmediata de los trabajos en ambos túneles, emprendiéndose las acciones que se resumen a continuación, para llegar a la correcta resolución del problema y la normalización de los trabajos en los túneles.

1°. Protección del frente y relleno de la chimenea.

Se procedió a proteger el frente con escollera y hormigón proyectado, con el fin de constituir un tapón que permitiera, cuanto antes, proceder al relleno desde la superficie con material "todo uno" de la chimenea (figura 7).

2°. Auscultación sistemática de la zona.

Se procedió a instalar unos hitos en puntos estratégicos de la superficie, efectuando un se-

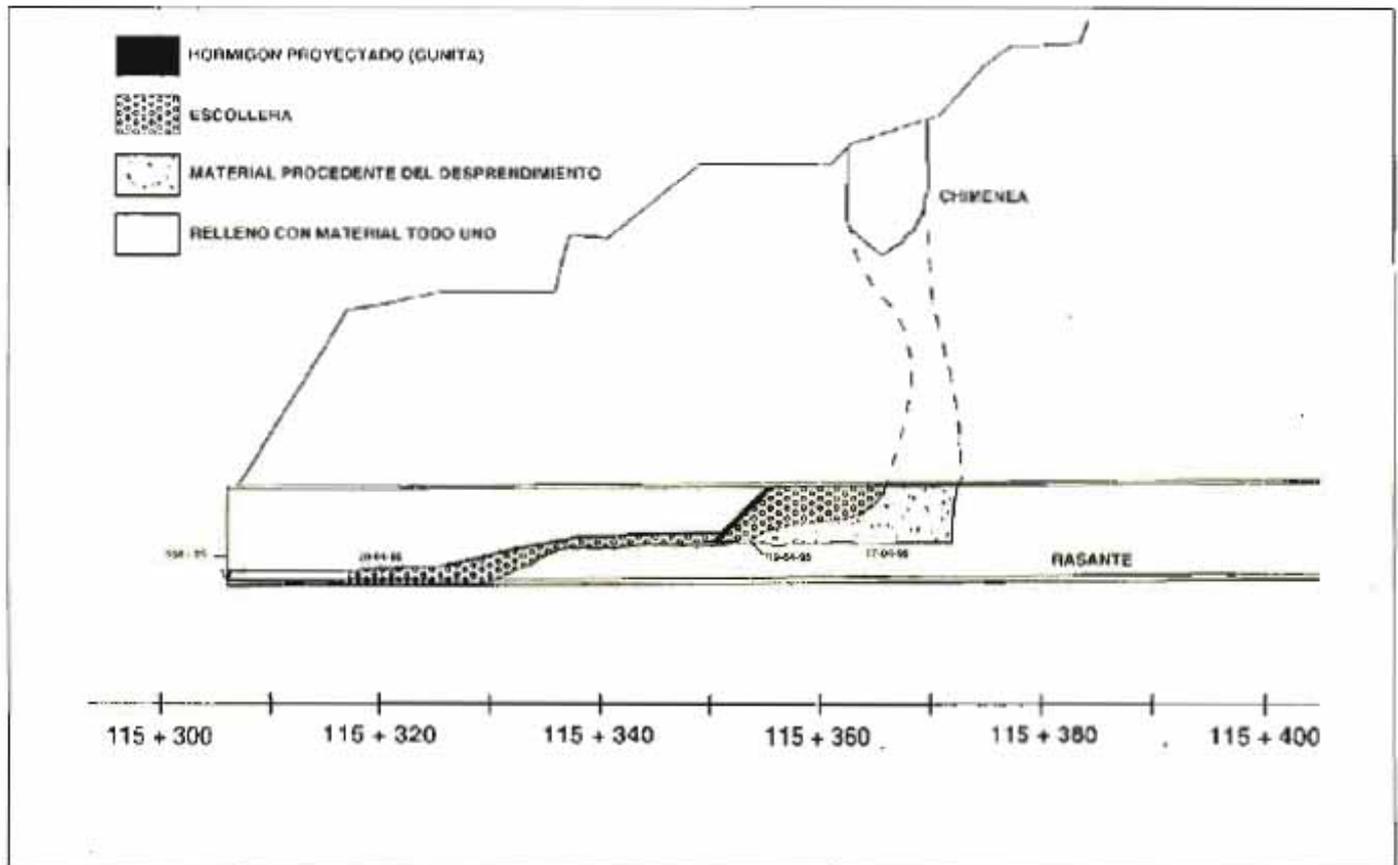


Figura 7. Protección del frente . Relleno de chimenea.

guimiento sistemático, por medios topográficos, de los movimientos.

Los movimientos horizontales fueron imperceptibles (< 1 cm) y los verticales en ningún caso superaron los 3 cm.

3°. Inicio de una campaña de sondeos de reconocimiento desde la superficie y desde el túnel lateral (Orense - Vigo), con varias finalidades:

3.1. Caracterizar el volumen de la rotura, intentando definir su geometría (control de velocidades de avance).

3.2. Caracterizar el tipo y características del terreno intacto (en torno a la chimenea), roto y de relleno.

3.3. Controlar los niveles piezométricos.

4°. Decisión, basada en el resultado de los sondeos, del tratamiento más adecuado para la resolución del problema.

La naturaleza de los terrenos (niveles arenosos) y la presencia

de agua con caudales considerables, hacía que la zona requiriese unos tratamientos específicos que permitieran conseguir un máximo de garantías para poder continuar la excavación.

Se optó por un tratamiento de inyección del terreno mediante morteros de cemento y arena y lechadas de cemento, para conseguir la consolidación del terreno.



Accesos a los túneles en la boca de Orense

El tratamiento efectuado se fundamenta en el empleo de altas presiones de inyección, para intentar compactar los niveles de arena de la zona tratada

El tratamiento efectuado se fundamenta en el empleo de altas presiones de inyección, para intentar compactar los niveles de arena de la zona tratada.

En la ejecución de los trabajos de inyección se pueden distinguir dos fases:

- a) Trabajos desde el exterior.
- b) Trabajos desde el interior.

La zona del tratamiento se define en los planos que se acompañan (figura 8).

5°. Continuación de los trabajos.

Finalizado el tratamiento de inyección, se procedió a realizar dos sondeos de reconocimiento en el frente, con recuperación de testigo continuo para comprobar el estado del terreno.

Los trabajos en el túnel lateral Orense - Vigo se continuaron an-

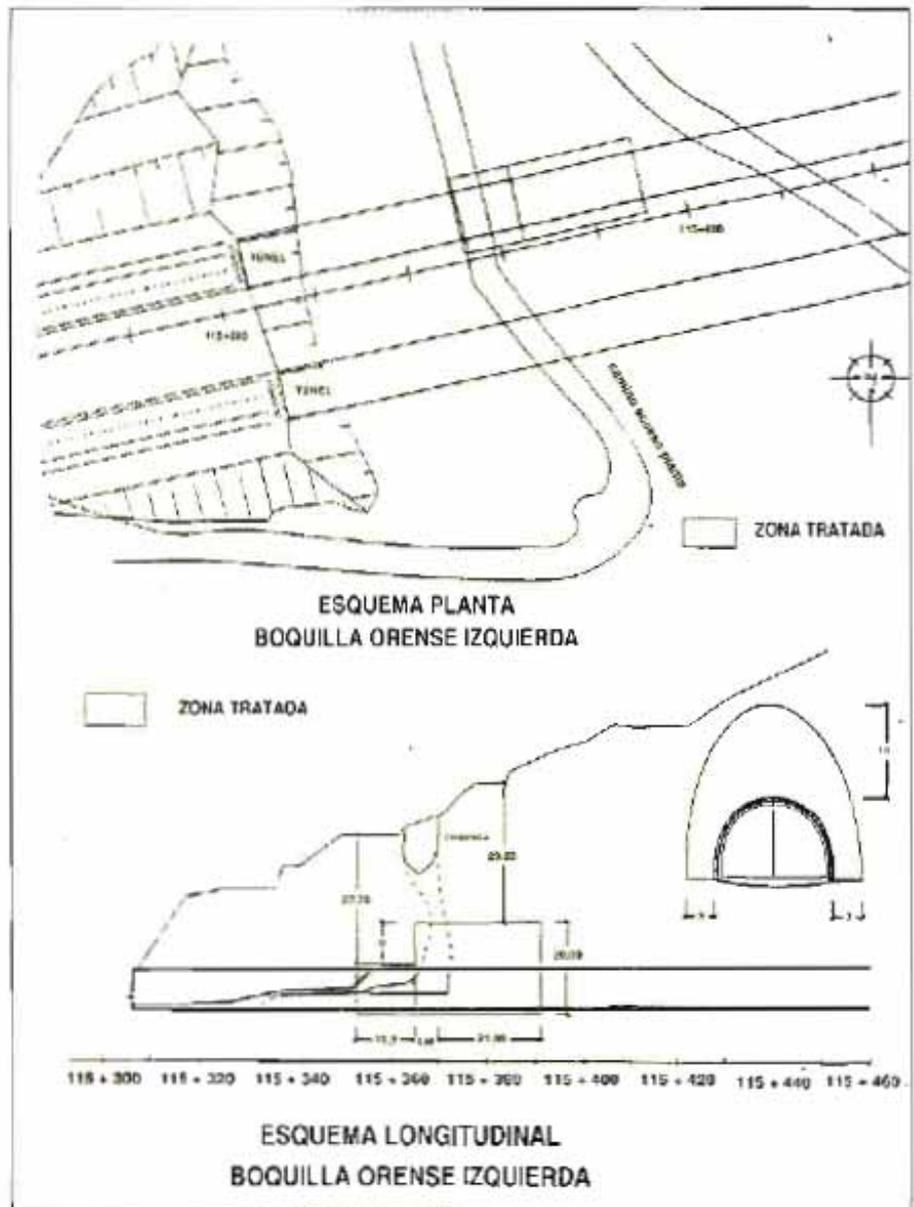


Figura 8. Hundimiento del 17 de abril 1997. Tratamiento de inyección (planta y sección).



Accesos a los túneles, por la boca de Vigo.

tes de finalizar el tratamiento completo, con grandes precauciones iniciales (auscultación, protección del frente con paraguas ligeros).

Posteriormente se atravesaron unas zonas de falla con gran afluencia de agua, en las que hubo que utilizar nuevamente paraguas de micropilotes. ■

Por Andrés Corral González, Demarcación de Carreteras del Estado en Galicia; Angel Millán Reguera, Asistencia Técnica Ep-tisa; y Pablo de Luis González, OCP-Ginés Navarro UTE.