Ejemplos de estabilización en emboquille de túneles ferroviarios

José POLO NARRO

INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS SITE

1. Introducción

En las obras ferroviarias de alta velocidad, dada la rigidez de su trazado y la abrupta orografía española, se hace necesaria la sucesión de túneles y viaductos que obligan, a su vez, a realizar grandes excavaciones que generan grandes taludes, a veces condicionados por la existencia de otras infraestructuras y/o edificaciones existentes. Esto hace que el tratamiento necesario de dichos taludes difiera mucho de unos casos a otros.

2. Tratamientos más habituales

Generalmente, a la hora de emboquillar un túnel ferroviario de alta velocidad se debe excavar una trinchera de mayor o menor entidad hasta llegar primero a la cota de avance del túnel a ejecutar y después a la de la rasante definitiva, generando unos desmontes que deben ser estables en el tiempo, a veces de forma provisional para permitir la implantación de instalaciones y el trasiego de equipos de personal y maquinaria para la ejecución de la obra con seguridad, y otras de forma permanente durante la vida útil de la línea ferroviaria.



FIGURA 1

Lo mismo se puede decir de taludes a lo largo de la traza sin ser específicamente los que afectan a un emboquille de túnel, o de los que se originan en las uniones túnel-viaducto-túnel para asegurar la cimentación de los estribos y zapatas del viaducto.



FIGURA 2



FIGURA 3



FIGURA 4



FIGURA 5

Para ello, los tratamientos más habituales suelen ser:

· Taludes sin tratamiento o sólo gunitados.



FIGURA 6

· Mallas de guiado: enrejados de triple torsión...



FIGURA 7

· Redes de cables, barreras dinámicas...



FIGURA 8

· Claveteado (soil-nailing): bulones pasivos, mallas electrosoldadas, hormigón proyectado y drenes californanos.



FIGURA 9

· Muros descendentes o estructuras con anclajes activos de barra o de cables.

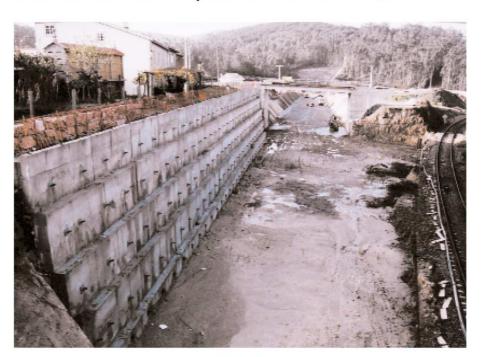


FIGURA 10

· Pantallas de pilotes y/o micropilotes ancladas.



FIGURA 11

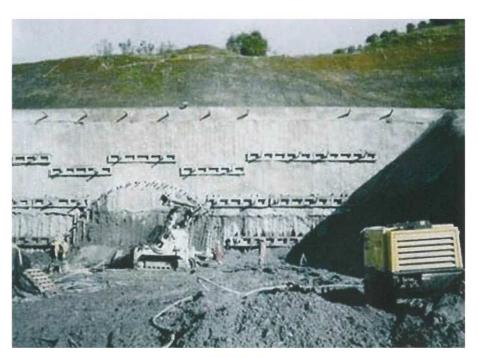


FIGURA 12

A veces es necesario, además, el refuerzo de la cimentación de edificaciones susceptibles de ser afectadas y la combinación de algunos de los tratamientos anteriores.

A continuación se relatan algunos tratamientos con cierto grado de singularidad en algunas obras ferroviarias.

3. Eje Atlántico de Alta Velocidad. Tramos Osebe-Santiago de Compostela y Padrón-Osebe

El rasgo diferenciador de estos tramos es que, de forma íntegra el primero y parcialmente el segundo, tenían que ejecutarse a modo de desdoblamiento de la línea existente, que discurría por numerosos núcleos urbanos, con edificaciones en bordes de talud y multitud de servicios afectados, confluyendo el primero de los tramos en la entrada a la estación de Santiago de Compostela con la línea ferroviaria Orense-Santiago, además de tenerse que mantener ambas líneas en servicio durante las obras.

Junto a los tratamientos de claveteado o **soil-nailing** en los taludes de emboquille de los túneles, la estructura de contención más empleada ha sido la pantalla de micropilotes con uno o varios niveles de anclajes de barra, en distintas zonas del tramo Osebe-Santiago.

3.1. AMPLIACION DE TRINCHERAS CON EDIFICACIONES Y/O INFRAESTRUCTURAS PROXIMAS

La solución de proyecto contemplaba la ejecución de muros anclados a realizar por bataches.

Este procedimiento planteaba grandes inconvenientes por el hecho de tener que ejecutarse en periodo nocturno y con horario restringido durante el que no circulasen trenes, ya que se invadía el gálibo mínimo ferroviario. Este horario útil era de 5 a 6 horas e incluso inferior los días en que hubiera labores de conservación, bateo, etc.

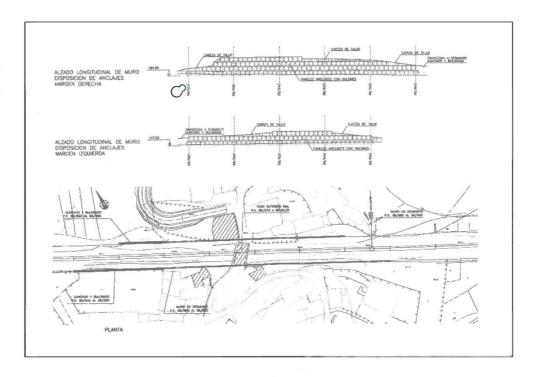


FIGURA 13

Además, conllevaba un gran número de ciclos de trabajo de distintas unidades (excavación, armado-encofrado-hormigonado, bulonado...) sin continudidad entre ellas y con paralización de maquinaria. Todo ello hacía inviable tanto económicamente como en plazo la ejecución de la secuencia prevista.

Por ello se pensó en otro tipo de estructura de contención que evitara el condicionante de los bataches y permitiera en la medida de lo posible el trabajo en horario diurno sin afectar a la circulación ferroviaria, completando menos fases de trabajo hasta llegar al fondo de excavación.

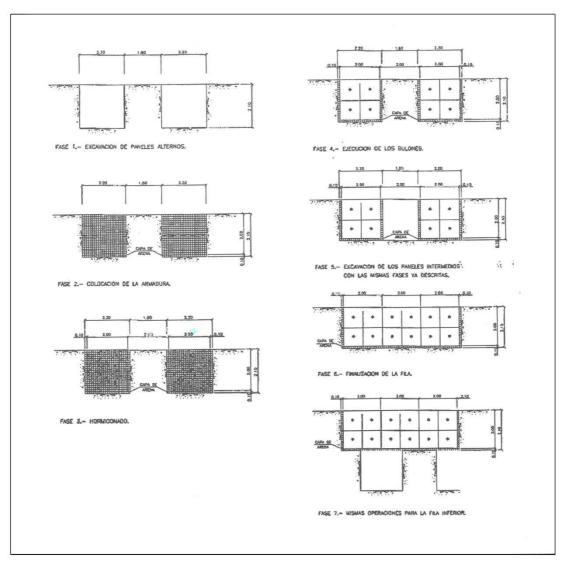


FIGURA 14

La solución adoptada fue una pantalla de micropilotes, con anclajes de barra en distintos niveles en función de las alturas de talud y la presencia o ausencia de edificaciones en coronación.

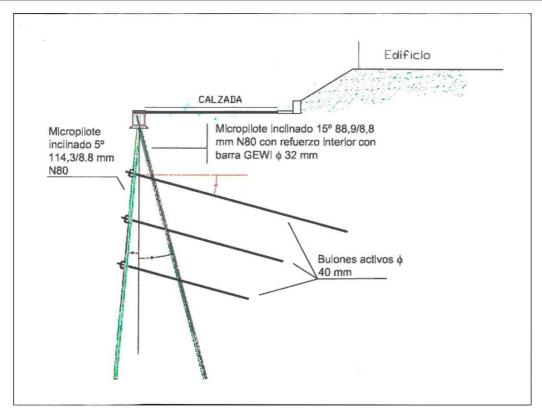


FIGURA 15

Las fases de ejecución, de forma continuada y sin interferencia entre ellas, fueron las siguientes:

- · Micropilotes.
- · Viga de atado.
- · Anclajes en cabeza, en su caso.
- · Excavación hasta el siguiente nivel de anclajes.
- · Anclajes.
- · Viga de reparto de anclajes.
- · Excavación.
- · Repetición de las tres fases anteriores.



FIGURA 16



FIGURA 17



FIGURA 18



FIGURA 19



FIGURA 20



FIGURA 21

CONTENCIÓN DE TALUDES EJE ATLÁNTICO. TRAMO OSEBE-SANTIAGO

DISTRIBUCIÓN DE MICROPILOTES Y ANCLAJES

H _{ox:are,} hasta (m.)	Longitud tramo (m.)	MICROPILOTES			ANCLAJES					
		Espaciamiento (m.)		Empotramiento	Espaciamie	Cota de	Inclinación	Longitudes (mL)		
		Compresión (0-5º)	Tracción (15º)	(m.)	nto (m.) anclajes	anclajes (m.)	(*)	L _{libra} (m.)	L _{bulbo} (m.)	L _{total} (m.)
1,5	15	-			-	-				
		-	-		-	-				
		-			-	-				
4	167	1,80	1,80	4,00	-	-	20			0
					-	-	20			0
					-		20			0
6	182	1,60	1,60	4,00	-	-	20			0
					3	-3,5	20			11,5
					-	-	20			0
8	77	1,40	1,40	4,00	-	-	20			0
					3	-3	20			11,5
					3	-6	20			9
10	5	1,20	1,20	4,00	2,5	0	20			14,5
					2,5	-3,5	20			11,5
					2,5	-7	20			9

FIGURA 22

3.2. AMPLIACION DE PASOS INFERIORES/SUPERIORES

Pasos superiores que no cumplían con los gálibos necesarios para la doble vía. Se debían ampliar o demoler y reconstruir respetando los viales y edificaciones próximas.

En un caso se afianzaron los estribos mediante muros anclados ejecutados por bataches.

En otra ocasión, los estribos del puente existente quedaban dentro del gálibo de vías, por lo que se demolió éste, cimentándose los estribos del nuevo puente con micropilotes.

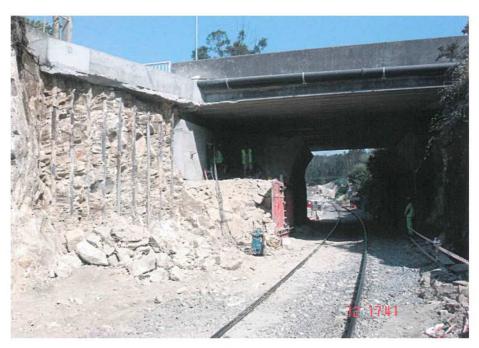


FIGURA 23

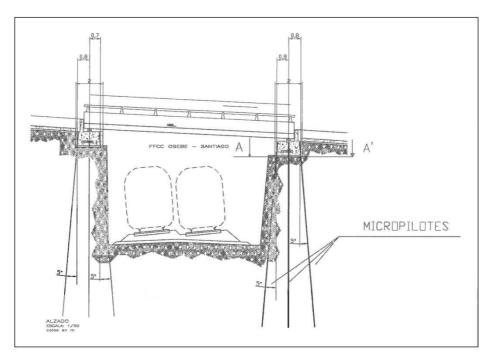


FIGURA 24



FIGURA 25

3.3. CONFINAMIENTO DE INFRAESTUCTURAS EN TERRAPLEN

La entrada a la estación de Santiago confluía en terraplén con la vía Santiago- Orense (también vía única) y obligaba a colocar una tercera vía donde había dos; además, con el espacio limitado estrictamente por las pilas de un viaducto carretero con el que se cruzan con ángulo mínimo en una gran longitud. El espacio existente era estricto en planta; pero ambas líneas confluían con diferencias de cota significativas, lo que obligaba a excavación vertical con nuevas pantallas de micropilotes por el exterior y entre las vías.

• Pantalla lado vía de Orense: Micropilotes armados con tubería 114-9 mm de acero N80, inclinados 15º cada 2 m.



FIGURA 26



FIGURA 27

 Pantalla lado vía de Redondela: Micropilotes verticales armados con tubería 114-9 mm de acero N80, 4 uds/ml, con bulones de 25 mm en cabeza, inclinados 45°, 1 ud/ml.

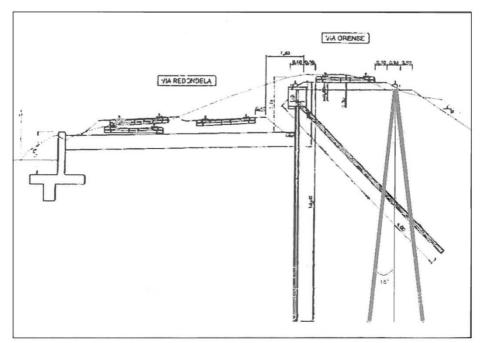


FIGURA 28

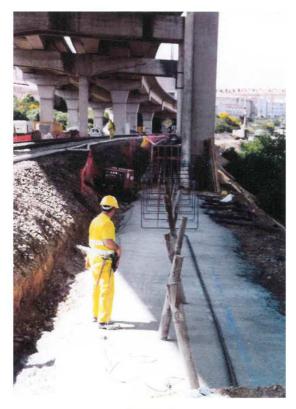


FIGURA 29



FIGURA 30



FIGURA 31

· Mediciones aproximadas:

- Micropilote armado con φ_{ext}/e 114/9 mm y φ_{ext}/e 88,9/9, con barra interior φ 32 mm, 14.500 m.

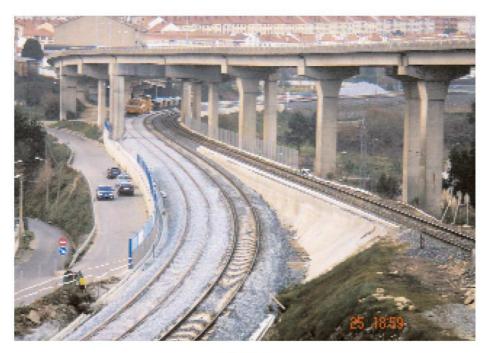


FIGURA 32

4. Ramal ferroviario Pontevedra-Marín

Se trata de una infraestructura de conexión de Pontevedra con el puerto de Marín.

Cabe mencionar como antecedente que a principios del siglo XX se comenzó la ejecución de este túnel, siendo abandonado tras un colapso. La boca del lado Pontevedra quedó accesible, pero no la del lado Marín, cuyo acceso quedó enterrado, quedando ejecutada una parte de túnel-galería, sin conocerse su localización y trazado exactos.

La obra quedó olvidada. Posteriormente, en los años noventa, se construye un centro comercial sobre la traza teórica que unía las dos bocas del túnel, y parcialmente sobre la galería abandonada.

En otoño del año 2000 se comienza la obra promovida por S.P.I. Galicia, S.A. (Xunta de Galicia), iniciándose los trabajos de excavación de la trinchera para la ejecución del túnel por el lado Marín, junto a la carretera de Pontevedra a Figueirido, que limita con el centro comercial.

Se producen varias inestabilidades en los taludes de emboquille; la más importante, en el talud frontal, quedando la carretera al borde del deslizamiento.

La situación, en resumen, era la siguiente:

- Emboquille lado Marín junto a carretera de Pontevedra a Figueirido, con unos 6,5 m de cobertura.
- Tras cruzar bajo la carretera, el túnel continuaría bajo el centro comercial, a lo largo de unos 125 m.
- · Túnel antiguo existente: traza, dimensiones y longitud exactas desconocidas.

• Tipo de terreno: granitos y gneises GM IV-V, jabres fácilmente disgregables.



FIGURA 33

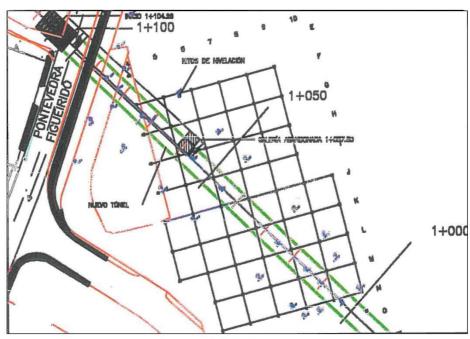


FIGURA 34



FIGURA 35

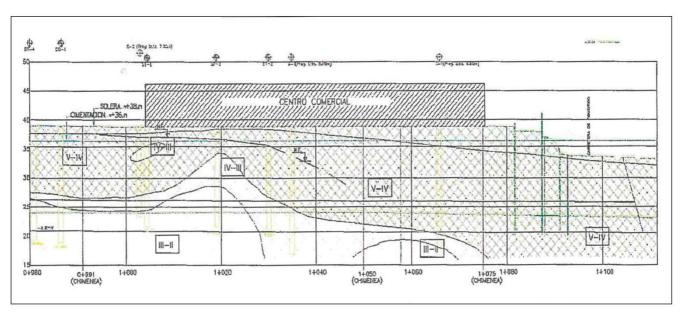


FIGURA 36

· Tratamientos realizados:

- Talud frontal: pantalla de micropilotes con anclajes de barra; paraguas pesado de micropilotes.

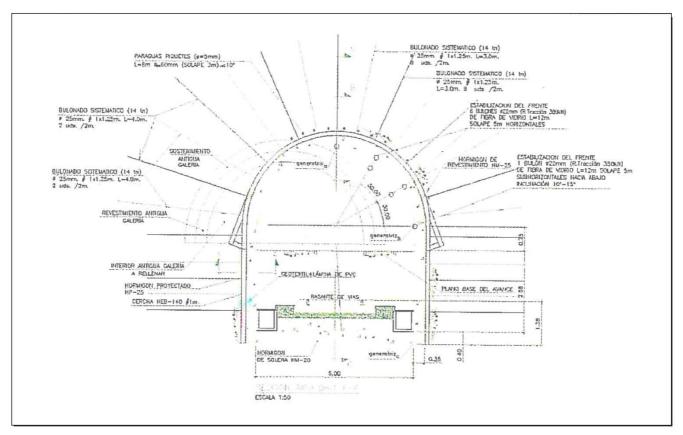


FIGURA 37

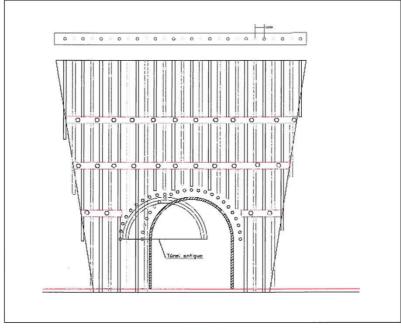


FIGURA 38

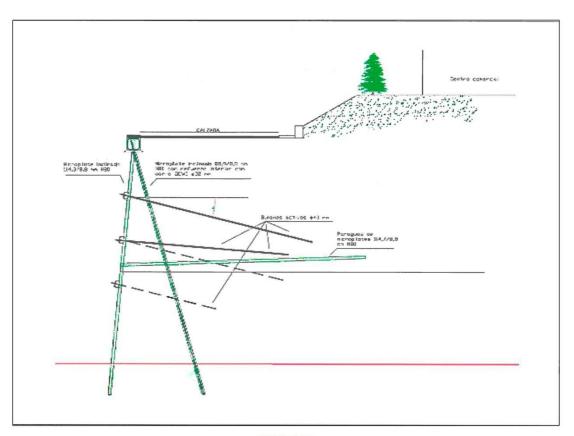


FIGURA 39



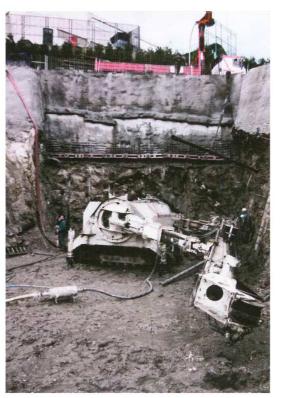


FIGURA 40 FIGURA 41

• Taludes laterales: soil-nailing.



FIGURA 42

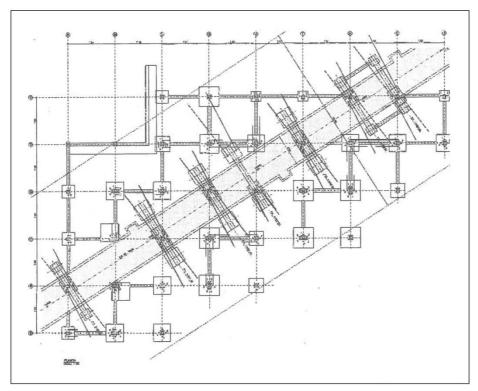


FIGURA 43

- Refuerzo de la cimentación del centro comercial: proyecto llevado a cabo por Typsa.

· Tratamiento inicialmente previsto:

- Recalce con micropilotes, transfiriendo las cargas por debajo de la solera del túnel.

Tras comenzar a ejecutarse esta solución, se comprobó la excentricidad de la galería existente respecto al túnel a ejecutar, pues los micropilotes calaron en la misma. Se decidió entonces rellenarla con hormigón pobre y abandonar esta solución.

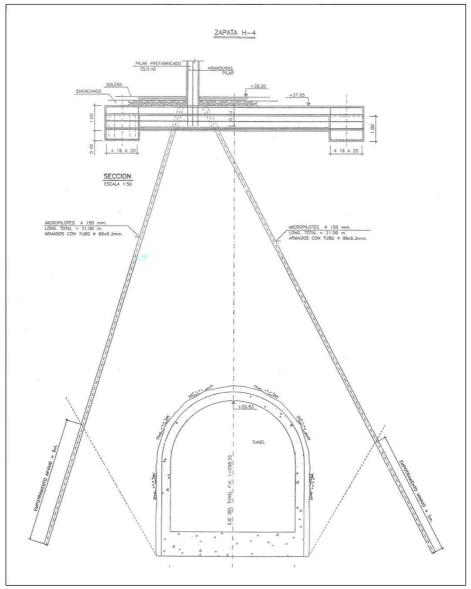


FIGURA 44

· Tratamiento finalmente realizado:

Refuerzo de la cimentación del centro comercial sobre la traza mediante inyecciones armadas y relleno sistemático de grandes huecos mediante inyección de morteros y lechadas sin presión.

· Objeto:

- Mejora del terreno mediante relleno de fisuras y huecos o por compactación en zonas arenosas, a baja presión, minimizando el riesgo de hidrofracturación y con ella posibles levantamientos.
- Inyección mediante la técnica de tubos-manguito alrededor de las zapatas para mejora y consolidación del terreno con presión y admisión controlados.

- Perforaciones sin equipar para relleno de cavidades sin presión.
- Perforaciones de φ 125 mm. equipadas con tubería metálica de φ 73 mm y 5,5 mm de espesor, con manguitos de inyección cada 0,5 m.
- Volumen estimado a inyectar del 15 % del volumen a tratar, en tres pasadas (5 %) en cada taladro: manguitos primarios, secundarios y terciarios.
- Secuencia de inyección ascendente hasta 2 m bajo la superficie.
- Presión máxima de inyección: 5 bar.

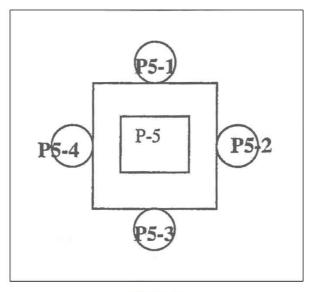


FIGURA 45

· Resumen del tratamiento:

- El 80 % de la inyección se realizó sin presión en relleno de cavidades o fisuras lavadas por filtraciones de agua freática hacia el túnel.
- El 20 % restante se realizó a través de los tubos-manguito a baja presión.

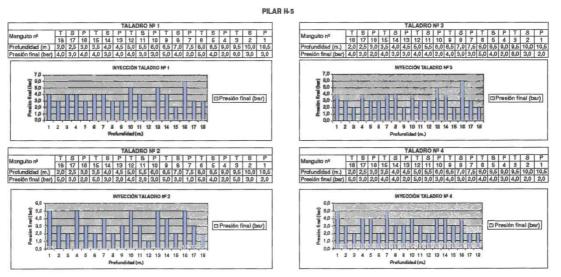


FIGURA 46

5. Bibliografía

Micropiles for earth retention and slope stabilization. Tom A. Armour. President and CEO. DBM Contractors, Inc., Federal Way, Washington.

Micropile design and construction guidelines implementation manual. Tom Armour, P.E.; Paul Groneck, P.E.; James Keeley, P.E.; Sunil Sharma, P.E., PhD. US Department of Transportation. Federal Highway Administration. Priority Technologies Program. Publication No. FHWA-SA-97-070.

Geotechnical Engineering Circular. No. 4: «Ground Anchors And Anchorage Systems». P.J. Sabatini; D.G. Pass, R.C.; Bachus. US Department of Transportation. Federal Highway Administration. Priority Technologies Program. Publication No. FHWA-IF-99-015.

6. Referencias

http://www.site.biz/descargas/Fichas_pdf/A_V_santiago_padron.pdf

Jornadas sobre Obras de Interés Geotécnico Ejecutadas por los Constructores Españoles. 20ª Sesión. 7 de junio de 2000.

Marco Fontana, Alejandro Soler, Evaristo del Monte, Pedro Ramírez. «Excavación de un túnel con escasa cobertura bajo un centro comercial». *Ingeopress.* Núm. 115. Mayo de 2003. Typsa. Departamento de Geotecnia.