

GEOTECNIA FERROVIARIA - UNA EXPERIENCIA RECIENTE

António Campos e Matos, José Filinto Castro Trigo y Paulo Fernando Santos Pinho

*GEG - Gabinete de Estruturas e Geotecnia
Rua da Alegria, 1930 - Sala 4, 4000 Oporto. Portugal
Tfno: (02)5573240; Fax (02)5573249*

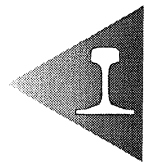
*COTECNO - Consulting Técnico del Noroeste, S.A.
Rafael Alberti, 10 Pal. - 15008 La Coruña
Tfno: 34 (9) 81 13 13 69; Fax: 34 (9) 81 13 07 49
e-mail: admon@cotecno.es; <http://www.cotecno.es>*

RESUMEN

Después de un largo periodo de descenso en la importancia del transporte ferroviario en Portugal, con la degradación de las vías y las respectivas estructuras e infraestructuras, se asiste actualmente a la rehabilitación y remodelación de un conjunto significativo de líneas, algunas de las cuales son objeto de una duplicación. Estas intervenciones son extremadamente ricas respecto a la diversidad y peculiaridad de los problemas de índole geotécnica que ofrecen: refuerzo de la base de los terraplenes, unión de un terraplén antiguo a uno nuevo, modelado y refuerzo de taludes, contención para la realización de pasos inferiores, etc. El **Gabinete de Estructuras e Geotecnia (GEG)** ha participado activamente en distintas obras en el Norte de Portugal, algunas de las cuales se encuentran actualmente en ejecución. En este trabajo se pretende describir un conjunto de casos y de problemas particulares, típicos de esta clase de obras, indicando las soluciones que se definieron, algunas de ellas pioneras en Portugal.

ABSTRACT

After a long period of decreasing importance of the railway transport in Portugal, and due to the degradation of the railway lines and their respective structures and infrastructures, a rehabilitation and remodelling of a significant part of the lines,



some of which will be doubled, is taking place. These actions are extremely varied in terms of the diversity and peculiarity of geotechnical problems: reinforcement of embankments foundation, connection between an old embankment and a new one, stabilisation and reinforcement of slopes, support of excavations during the building of underground crossings, etc. The **Gabinete de Estruturas e Geotecnia (GEG)** has taken active part in various works in the north of Portugal, some of which are presently being carried out. In this paper we intend to describe some cases and particular problems, typical in this kind of works, presenting the solutions found, some of which have proved to be pioneering in Portugal.

1. OBRAS FERROVIARIAS EN PORTUGAL

Portugal es atravesado por un conjunto de líneas férreas, algunas centenarias, cuyo protagonismo fue variando a lo largo del siglo, con la evolución de los intereses económicos y sociales. En las últimas décadas, se verificó un gran incremento en el transporte por carretera, en detrimento del ferroviario, hecho que junto con el éxodo de las poblaciones a las zonas urbanas y con la propia emigración, constituyeron, asociados a otros factores de menor importancia, las causas de la decadencia del transporte ferroviario. El desmantelamiento de varias líneas es la prueba evidente de este hecho.

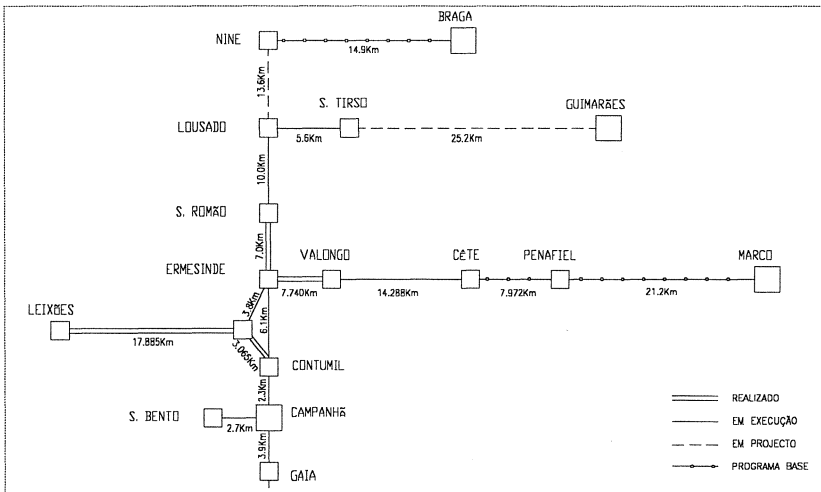


Figura 1 - Área de Intervención del Proyecto de Modernización Ferroviaria de la Región de Oporto



El relanzamiento económico, que se verifica en Portugal desde hace algunos años, es el responsable de la intervención masiva a que se asiste actualmente, con la rehabilitación y la remodelación de un conjunto significativo de líneas, algunas de las cuales son además objeto de una duplicación.

La región Norte no constituye una excepción. En la Figura 1 se indican las líneas ferroviarias existentes en el área de intervención del Proyecto de Modernización Ferroviaria de la Región de Oporto. Se señalan las que ya fueron objeto de rehabilitación, aquellas cuyas obras se encuentran en ejecución, las que se encuentran en fase de proyecto y las que poseen solamente el Programa Base. La importancia de este plan de modernización se hace evidente al considerar la extensión implicada - 165 Km.

2. ESPECIFICIDAD DE LOS PROYECTOS Y OBRAS GEOTÉCNICAS FERROVIARIAS

Aunque no exista específicamente una geotecnia ferroviaria, sino más bien un conjunto de intervenciones geotécnicas características de las obras de vías férreas, es interesante comprobar que, recientemente, han aparecido referencias al término "Geotecnia Ferroviaria" en varias publicaciones.

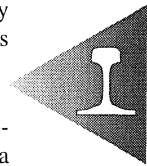
El **Gabinete de Estructuras e Geotecnia (GEG)** ha participado, desde hace algunos años, en proyectos de obras geotécnicas en trayectos ferroviarios. De esa experiencia resulta la identificación de un conjunto de características de este tipo de intervenciones que las distinguen de otras áreas de la geotecnia, principalmente de la geotecnia de carreteras. Estas características resultan de un conjunto de factores, específicos de estas obras, que de forma resumida se presentan a continuación:

2.1. EXIGENCIAS DEL TRAZADO DEL FERROCARRIL

El trazado del ferrocarril es considerablemente más exigente que el de las carreteras (menores inclinaciones, mayores radios de curvatura, etc.) lo que determina menores grados de libertad y la necesidad de asumir obstáculos, naturales o construidos, resultando en mayores volúmenes de excavación, en la realización de un mayor número de túneles y en la definición de terraplenes y taludes mas elevados. También con frecuencia se atraviesan zonas de aluvión, con los problemas inherentes de drenaje y de refuerzo del cimiento de los terraplenes.

2.2. EXTENSIÓN DE LAS OBRAS

La extensión de las obras dificulta la evaluación rigurosa de todos los parámetros que condicionan la ejecución de un proyecto perfectamente adaptado a la realidad, principalmente la determinación de las características geotécnicas de los materiales atravesados.



2.3. DIVERSIDAD DE COMPOSICIONES GEOLÓGICAS

Directamente relacionadas con la extensión de las obras, la diversidad y la heterogeneidad frecuentes de los materiales asociados dificultan la realización de un proyecto definitivo, obligando a la constante intervención en obra, readaptando las soluciones siempre que la caracterización geológico-geotécnica más localizada lo aconseje.

2.4. TERRAPLENES NO IMPERMEABLES

La elevada permeabilidad vertical del balasto determina un comportamiento hidráulico particular, con incidencias en la durabilidad de los terraplenes e implicaciones en el dimensionamiento de los sistemas de drenaje.

2.5. ACCIONES DE ELEVADA INTENSIDAD Y DE CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS

Los trenes introducen acciones bastante severas en el material de soporte de cargas. De hecho, además de su elevada intensidad, las cargas asumen características aun más gravosas por el hecho de que se transmiten de forma dinámica.

2.6. SISTEMA COMPLEJO DE TRANSMISIÓN DE CARGAS

Para realizar el reparto de las cargas, son interpuestos, entre la rueda del tren y el terraplén, un conjunto de elementos de características diferentes. La asociación de carril, traviesa, balasto, suelo y eventualmente alguna geomalla de refuerzo, da como resultado un sistema de soporte con características de interacción suelo-estructura bastante complejo.

Las líneas férreas fueron construidas uniendo centros urbanos de importancia significativa. Con el paso del tiempo se verificó el desarrollo a lo largo de las líneas, con el crecimiento de los centros existentes y con la creación de nuevas poblaciones. El envejecimiento de algunas de las vías y la saturación de otras lleva a la necesidad de definir alternativas al sistema de circulación actual. Con las exigentes reglas de trazado sería difícil, actualmente, construir nuevas vías en las zonas urbanizadas. Ya lo que es la recuperación de las vías existentes, y de vez en cuando su duplicación, constituyen escenarios más adaptados a la realidad. De hecho, los puntos a unir se mantienen los mismos. Por otro lado, los parámetros de proyecto no son muy diferentes de los subyacentes a la definición del trazado antiguo. El ancho de la plataforma es relativamente reducido, permitiendo la inserción de una segunda vía, a lo largo de los recorridos urbanos, aunque a veces con el recurso a obras geotécnicas importantes.



Este panorama es muy diferente del correspondiente a las vías rodadas. Históricamente, la aparición de vehículos automóviles es más reciente. Estos vehículos utilizaron durante mucho tiempo las vías existentes, construidas para otros fines y con otras exigencias. Los propios vehículos fueron dimensionados y desarrollados exactamente para circular en esas carreteras y no en carreteras específicas. Con el tiempo, y al contrario de lo que pasó con la vía férrea, los parámetros de cálculo se volvieron más exigentes. El aumento de la capacidad de transporte se realiza muchas veces por el aumento del ancho de las vías de circulación, al contrario de lo que pasa en la vía férrea, en que se puede conseguir mediante el aumento de la longitud de los trenes. Se verifica que, por eso, en la región de Oporto actualmente las obras ferroviarias que han sido promovidas son esencialmente rehabilitaciones, duplicaciones, alteraciones del ancho de vía, correcciones del trazado y eliminación de pasos a nivel. Si las obras ferroviarias en general poseen ya características muy peculiares, las de rehabilitación acumulan otras de significativa relevancia que se añaden a continuación:

2.7. REALIZACIÓN DE LAS OBRAS SIN INTERRUPCIÓN DEL TRÁFICO

Al contrario de lo que se verifica en obras de carreteras, estas son ejecutadas sin la definición de desviaciones alternativas o con limitaciones de carga o de tráfico. Solo en casos de extrema necesidad se imponen reducciones de velocidad y algunas veces interrupciones del tránsito que siempre tiene lugar por la noche.

2.8. ESTABILIDAD DE CONSTRUCCIONES EXISTENTES

En zonas urbanas la rehabilitación, y con mayor probabilidad la duplicación de vías, interfiere con la estabilidad de construcciones existentes, obligando a veces a la definición de soluciones de refuerzo estructural.

2.9. TALUDES Y TERRAPLENES ENVEJECIDOS

La duplicación de vías implica la realización de terraplenes nuevos adyacentes a los terraplenes antiguos. Los terraplenes existentes, construidos con gran dificultad técnica, han sufrido, generalmente, una erosión interna provocada por la filtración de agua que fue arrastrando las partículas finas y provocando su envejecimiento. Sus taludes han sido también erosionados a lo largo de los años, encontrándose frecuentemente en situación de equilibrio límite, mantenidos casi siempre por el aporte positivo de la vegetación que se ha ido desarrollando a lo largo del tiempo. Este problema es también común a los taludes de excavación. La dificultad en transportar grandes volúmenes de material llevó a la búsqueda de un equilibrio entre excavación y relleno. Muchas veces resultó en sacrificio de la estabilidad y durabilidad de los terraplenes y excavaciones, ejecutados con pendientes exageradas.



Los aspectos citados, que encierran la peculiaridad de las obras ferroviarias, justifican el cuidado y atención especial que se asigna a la fase de proyecto. Es fundamental que este se desarrolle condicionado por criterios que aseguren la estabilidad estructural y que resulte en obras cuyos procesos constructivos sean también suficientemente seguros y ejecutables. Desgraciadamente, son frecuentes los casos de accidentes de índole geotécnica que suceden durante o posteriormente a la ejecución de estas obras (Figura 3). El carácter particular de las obras ferroviarias obliga a intervenciones localizadas en fase de ejecución, siempre que el escenario encontrado “in situ” se aleje del admitido en el proyecto, adaptando las soluciones definidas y previniendo los accidentes.

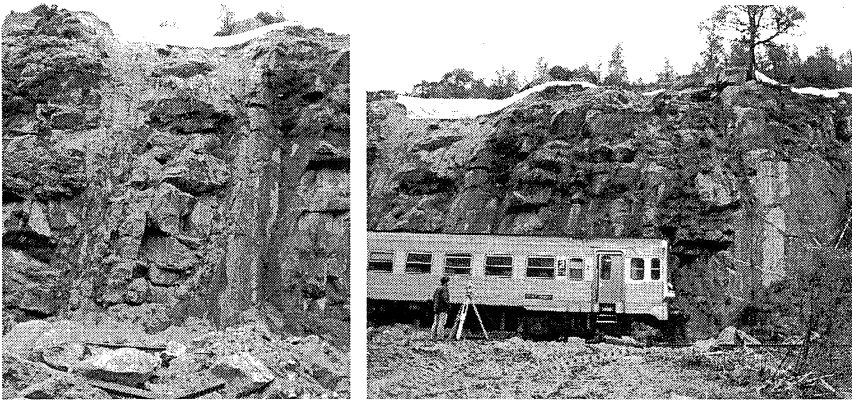


Figura 3 - Deslizamiento de talud en macizo granítico

3. CASOS DE OBRA

3.1. REFUERZO DE CIMIENTOS DE TERRAPLENES

Los terraplenes se localizan, a veces, en zonas cuyas características no son las adecuadas, zonas de aluvión, zonas agrícolas con grandes cubiertas de tierra vegetal y casi siempre con la presencia de una elevada cantidad de agua. El saneamiento de los materiales inadecuados y su sustitución es, generalmente, económicamente desaconsejable. Por otra parte, en las obras de rehabilitación el corte ejecutado en la base del talud existente podría provocar la rotura del terraplén que, como hemos visto, se encuentra frecuentemente en situación de equilibrio precario.

Ante este tipo de situaciones debe ser reunida toda la información posible, principalmente:



- la cantidad de agua existente;
- si la zona es o no es inundable por algun cauce próximo;
- las características geológicas y geotécnicas del lugar - a través de cartas geológicas, de algún estudio geológico localizado o de sondeos y ensayos normalizados;
- las características geométricas del terraplén;
- el comportamiento del terraplén existente, durante la vida de la obra.

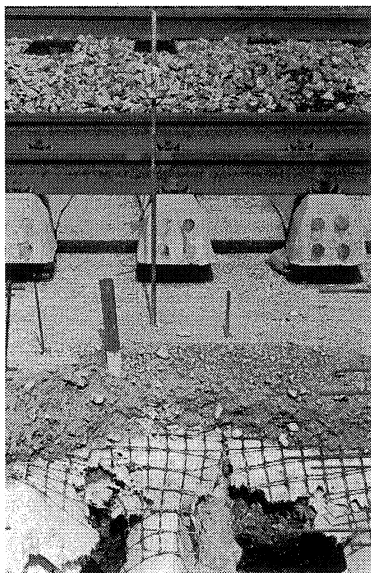
La experiencia del GEG ha llevado a aconsejar las siguientes medidas para la resolución de estos problemas, en obras de duplicación de vías:

- En terraplenes elevados, cimentados sobre una espesa capa aluvial o de tierra vegetal, no debe ser realizado ningún saneamiento para no desestabilizar el terraplén existente. Debe ser introducida una capa de fragmentación, sobre la cual se instala una capa de grava con aproximadamente 0,5 m de espesor, envuelta por geotextil. Esta última capa desempeña funciones de refuerzo y drenaje, en los casos de elevada presencia de agua.
- En terraplenes bajos, en que las condiciones de la cimentación sean también deficientes hasta una profundidad elevada, debe ser realizada la sustitución de cerca de 0,50 m del material de cimentación por suelo adecuado, instalado sobre un geotextil separador. Debajo del material en bruto todavía se debe colocar una geomalla. En situaciones de mayor dificultad, puede optarse por, después del saneamiento de un espesor de 0,50 m, instalar una geocélula sobre un geotextil separador y, eventualmente, si fuera preciso, aplicar además una geomalla. En los casos en que la presencia de agua sea considerable, también se puede asociar un colchón drenante con la constitución referida antes para los terraplenes elevados.
- Si el espesor del material de cimentación de características inadecuadas fuera reducido (menor de 0,5 m), se debe proceder solo a su saneamiento y a la respectiva sustitución por material adecuado.

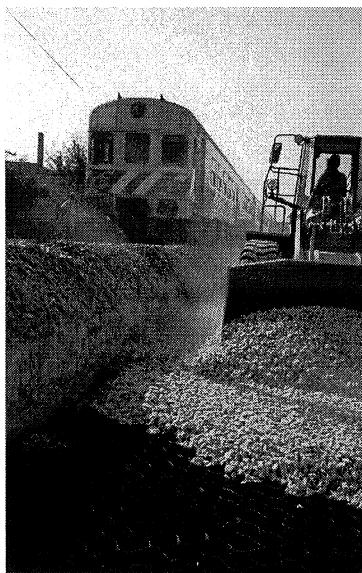
En la Figura 4-a) se presenta un ejemplo de refuerzo de la plataforma con un geomalla.

En la Figura 4-b) puede observarse la aplicación de un refuerzo del cimiento de un terraplén, constituido por geocélulas, recomendado para un tramo en terrenos pizarrosos con nivel freático elevado.





a)



b)

Figura 4 - Cimiento de terraplén - soluciones de refuerzo

3.2. UNIÓN ENTRE EL TERRAPLÉN NUEVO Y EL TERRAPLÉN EXISTENTE

En las obras en que se realizan duplicaciones de vía, la asociación de un nuevo terraplén a otro existente y ya envejecido plantea diversas cuestiones respecto a su comportamiento conjunto. En efecto, el terraplén existente, que se encuentra muchas veces, como se dijo más atrás, en situación de equilibrio límite, aun va a ser requerido parcialmente o por el peso propio del nuevo terraplén o por las cargas del tren que sobre éste pasarán a circular. En estos casos, es de primordial importancia la evaluación de las características de resistencia y deformabilidad de ambos terraplenes. Además es importante obtener una cuidadosa caracterización del cimiento del nuevo terraplén. La estabilidad del conjunto y la intensidad de las deformaciones asociadas a la carga más adversa pueden ser evaluadas con el recurso a programas comerciales con formulación por el Método de los Elementos Finitos. En la figura 5 se presentan los resultados en términos de niveles de tensión para una situación correspondiente a una obra de duplicación de vía. Las características mecánicas del terraplén antiguo fueron obtenidas mediante ensayos “in situ” y en laboratorio, mientras que para el nuevo terraplén se adoptaron las obtenidas, también a través de ensayos, para un terraplén realizado con el mismo material y con idénticas condiciones de compactación. Este tipo de análisis es, hoy en día, relativamente rápido, dados los medios de cálculo existentes en el mercado, mereciendo volverse frecuente, por consiguiente, su utilización en proyectos ferroviarios. Cabe aquí alertar



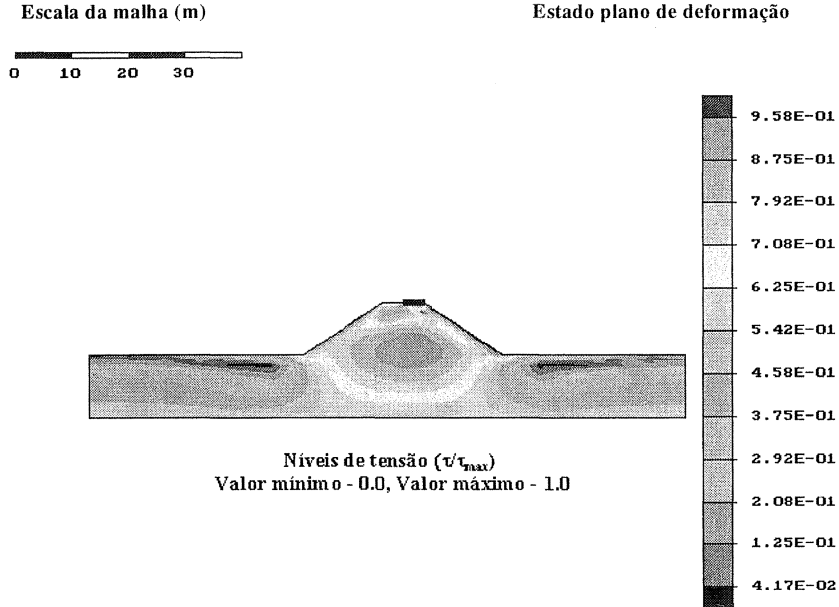


Figura 5 - Construcción de un terraplén nuevo junto a uno existente - Niveles de tensión

aun sobre una medida constructiva que el GEG ha adoptado con éxito en las obras en que ha participado. Consiste en substituir la técnica usualmente preconizada para la unión de los dos terraplenes - realización de cortes dentados en el terraplén existente, rellenos sucesivamente por las nuevas capas - por la ejecución de las capas, sin cortes en el terraplén existente, haciendo que el cilindro compactador penetre el material, comprimiendo el talud antiguo.

Para incrementar la unión entre los dos materiales además se puede interponer una capa de grava, conforme se representa en la Figura 6. Este método evita la definición de cortes en el talud existente, que pueden ser responsables de una situación de rotura.

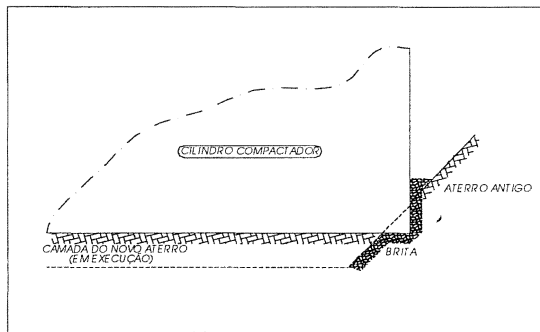


Figura 6 - Refuerzo de la unión entre el terraplén nuevo y el antiguo

3.3. ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD, MODELADO Y REFUERZO DE TALUDES

De cuando en cuando son detectadas en obras situaciones de roturas potenciales de taludes, que en fase de proyecto pasaron desapercibidas. Inversamente, en otros casos, y en la posesión de una caracterización más cuidada del macizo, son aligeradas las soluciones de refuerzo preconizadas en proyecto. La actuación en estos casos se inicia con la recogida de toda la información disponible: cartas geológicas de la zona, fotografías de satélite, sondeos y ensayos existentes, etc. En taludes rocosos se debe realizar un estudio geológico exhaustivo (orientación y buzamiento de las diaclasas, estado de fracturación y grado de alteración del macizo, relleno de las diaclasas, existencia de agua, etc.) de manera que, junto con la información ya existente, se definan las características de resistencia y deformabilidad del macizo y sus potenciales mecanismos de rotura. La estabilidad del talud puede ser analizada mediante un programa de cálculo comercial (SLOPE de la GEO-SLOPE INTERNATIONAL, en el caso de macizos terrosos y SWARS de la GEOCOMP CORPORATION, en el caso de macizos rocosos, por ejemplo). A veces la información existente es escasa y el plazo de actuación ajustado. Cuando existen síntomas de inestabilidad, se recurre con frecuencia a la definición de parámetros de cálculo por aplicación de métodos de retroanálisis. Como alternativa a la caracterización de los terrenos, a partir de la situación inicial se evalúan los valores de los parámetros de resistencia últimos. Este método se inicia simulando, mediante la ayuda de un programa de cálculo automático, la morfología, los sistemas de cargas, etc., variando los parámetros resistentes hasta obtenerse un nivel de seguridad unitario. Los parámetros resistentes correspondientes a una determinada zona geológica, designados parámetros globales, son extraídos como parámetros característicos del terreno, pudiendo entonces ser introducidos en todos los cálculos siguientes, en la misma zona geológica, para estudios de soluciones de estabilización - corrección de la geometría de los taludes, instalación de bulones o anclajes, asociados o no a muros de hormigón armado o a redes de protección en acero galvanizado

(en el caso de taludes rocosos). En obras ferroviarias el GEG ha admitido como seguras las soluciones que alcanzan un aumento del 40% en el respectivo coeficiente de seguridad. Este método es más rápido, más económico, ultrapasa heterogeneidades e irregularidades de difícil detección y genéricamente

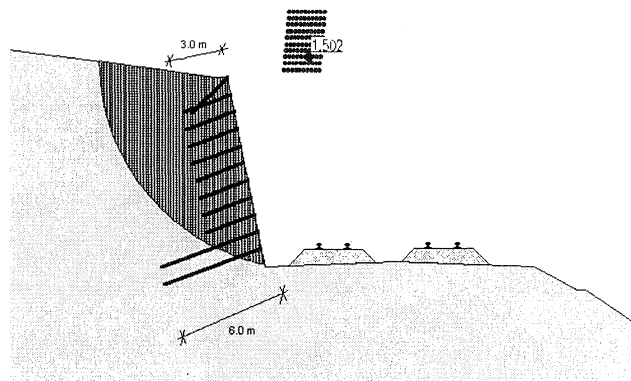


Figura 7 - Modelado y refuerzo de talud - estudio de estabilidad



puede ser considerado más fiable, destacándose la importancia del estudio geológico que acompaña al propio cálculo en la decisión. En la Figura 7 se presentan los resultados de los cálculos de estabilidad efectuados para un talud rocoso, objeto de modelado y refuerzo. En la Figura 8 puede visualizarse una fotografía del talud con la intervención definida parcialmente ejecutada. Además se representa un detalle de los anclajes instalados.

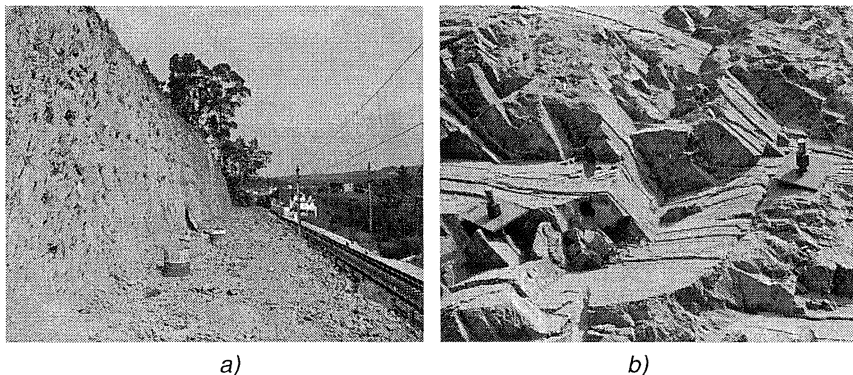


Figura 8 - Modelado y refuerzo de talud - aspectos constructivos

3.4. REALIZACIÓN DE PASOS INFERIORES - CONTENCIONES PROVISIONALES

La construcción de pasos inferiores al ferrocarril - peatonales, hidráulicos o para tráfico rodado- es un tipo de obra caracterizada más por la dificultad de su concepción constructiva que por sus exigencias estructurales. En efecto, el mantenimiento de la circulación ferroviaria durante las obras de rehabilitación condiciona significativamente, como ya fue dicho, su ejecución. Además de las informaciones relativas a las características geológico-geotécnicas del macizo subyacente a la línea férrea, comunes al resto de las intervenciones, hay en estos casos que determinar la periodización de las distintas fases de sustitución de la vía férrea. Si la obra constituye solo la remodelación de la línea, generalmente no es viable realizar una escarificación que permita la ejecución del paso inferior, habiendo así la necesidad de prever una suspensión de vía. Cuando la obra implica una duplicación hay que conocer la distancia entre la línea existente y la línea a instalar, comprobando la posibilidad de que el paso inferior sea ejecutado en dos fases - construcción de la primera mitad en la zona de la línea a instalar, colocación de la nueva línea sobre la estructura realizada, cambio de circulación a la nueva línea, construcción de la segunda mitad y activación de la segunda línea. Son muchos y conocidos los métodos constructivos que pueden ser adoptados para la realización de estas obras: contenciones provisionales con cortinas tipo Berlín, apuntaladas o ancladas; ejecución de estacas tangentes, hormigonado del tablero y excavación de la zona inferior al tablero; estructuras empujadas; etc.

El modelado del problema y el dimensionamiento de la estructura de contención pueden ser realizados acudiendo a programas comerciales de cálculo, como por ejemplo el PLAXIS. Los parámetros característicos del macizo pueden ser determinados o correlacionados con ensayos realizados ("in situ" o en laboratorio).

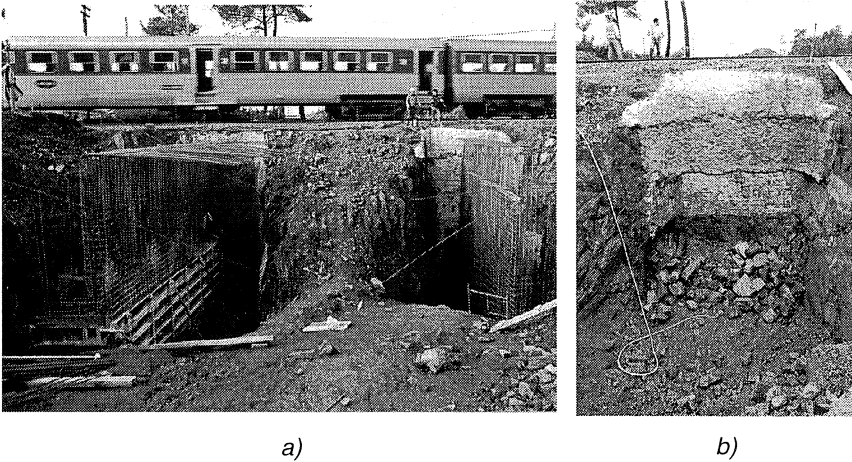


Figura 9 - Paso inferior - Aspecto Constructivo

En la Figura 9 se representan dos fases de la construcción de un paso inferior de carretera. Se demuestra, con este ejemplo, que este tipo de problemas puede resolverse aprovechando el propio macizo, natural o reforzado, como elemento estabilizador y de soporte. La obra se realiza en una zona en excavación, constituida por esquistos y gravacas de medianamente a muy alterados. Según representa la Figura 10, se realizó inicialmente una perforación en línea a lo largo de los contornos envolventes de ambas zapatas de los muros laterales de la estructura a construir. La excavación fue posteriormente ejecutada por escalones, simultáneamente en las dos zonas definidas por la perforación, con la colocación alternada de una malla de fijación y con la proyección de una película de hormigón con 7 cm de espesor. Alcanzando el fondo de la excavación, fueron

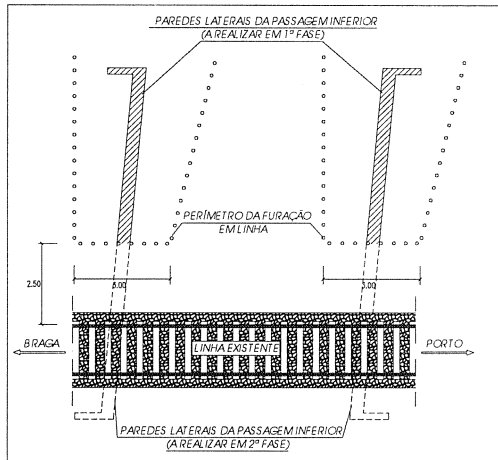
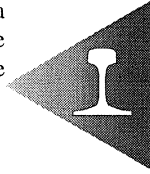


Figura 10 - Paso inferior - Esquema constructivo



construidas las dos paredes laterales a lo que siguió el hormigonado del tablero. Solo después se realizó la excavación del interior del pórtico. Se consiguió de esta forma realizar de manera segura y económica la contención de una excavación con 8 m de profundidad, realizada a cerca de 2,5 m de la vía en circulación, para la construcción de la primera fase de un paso inferior con 11 m de tramo.



3.5. SOLUCIONES ORIENTADAS POR CUESTIONES AMBIENTALES

3.5.1. MINIMIZACIÓN DEL VOLUMEN DE MATERIALES EXCAVADOS A DEPOSITAR EN VERTEDERO.

La gran extensión de las obras ferroviarias a que se asocia una gran diversidad de formaciones geológicas atravesadas, impone necesariamente que el producto resultante de las excavaciones no siempre sea, a la luz de las exigencias habituales, el adecuado para la aplicación en terraplenes. De acuerdo con los criterios de aceptación de esos productos, generalmente establecidos en Pliegos de Prescripciones, el volumen de material a ser transportado a vertedero sería, invariablemente, bastante elevado. Consecuentemente, habría la necesidad, por otra parte, de recurrir a material de préstamo en cantidades significativas. Estos hechos introducen serias cuestiones de orden económica, traducándose también en cuestiones ambientales. En las obras ferroviarias en las cuales el GEG ha intervenido aparecen frecuentemente grandes volúmenes de esquistos cuya aplicación en terraplenes, de acuerdo con las Condiciones Técnicas Especiales de los proyectos respectivos, sería rechazada. En estos casos ha sido aconsejada la realización de terraplenes experimentales con estos materiales, utilizando diferentes tipos de equipos de compactación (rodillos de pata de cabra, apisonadoras de rodillos lisos, vibratorios o no, etc.) y diferentes número de pasadas y espesores de tongadas. El equipo, el espesor de tongadas y el número de pasadas más adecuados son elegidos en función de los resultados de ensayos de control de la compactación, realizando en laboratorio el ensayo Proctor modificado y utilizando "in situ" el gammadensímetro y la botella de arena. El grado de compactación es además confirmado con la metodología propuesta por la norma Din 18134. Con este tipo de actuación se han logrado grandes ahorros, alcanzándose también elevados beneficios en términos ambientales.

3.5.2. REUTILIZACIÓN DEL BALASTO

La remodelación de las líneas ferroviarias incluye, en regla, el saneamiento del balasto existente. Este agregado de grava, aplicado desde hace varias décadas, fue contaminado a lo largo de los años, no siendo por eso reutilizado en las vías a rehabilitar. Resulta así generalmente un elevado volumen de balasto depositado en vertedero, con el consiguiente nefasto impacto ambiental. Es posible minimizar este problema, por ejemplo proponiendo la aplicación de este material en subbases de los diversos caminos paralelos y restauraciones de carreteras que cruzan la obra.

3.5.3. TRAZADO EN ZONAS SENSIBLES

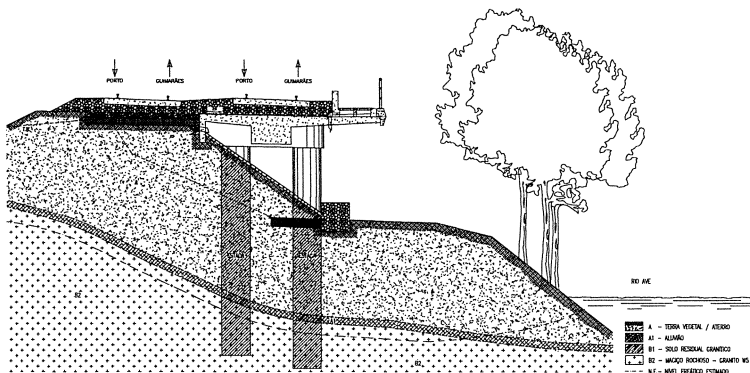


Figura 11 - Viaducto en zona inundable

Constituye obligación actual del proyecto ferroviario la máxima atención a los impactos ambientales constructivos; caminos paralelos, astilleros, áreas de depósito y muy particularmente la adopción de soluciones en fase de proyecto adecuadas a las sensibilidades de algunas zonas. Referimos el desarrollo de vías junto a las líneas de agua o ríos, con perjuicio de la estabilidad de orillas, árboles y zonas agrícolas. En el dominio de la geotecnia existen actualmente soluciones de bajo impacto constructivo, de preservación total de las orillas y adaptadas a los regímenes de las crecidas, como las que se muestran en las figuras 11 y 12.

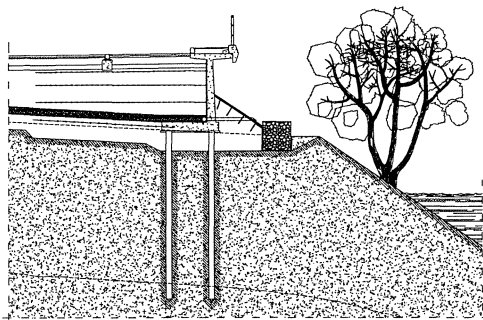


Figura 12 - Zona de estación -
Protección de la orilla

BIBLIOGRAFÍA

- Jewell, R.A. - "Soil reinforcement with geotextiles". Ciria, London, 1996.
- Jiménez Salas, J.A. - "Geotecnia y Cimientos". Rueda, Madrid, 1980.
- Selig, E.T. and Waters, J.M: - "Track Geotechnology and Substructure Management", Thomas Telford, London, 1994
- Xanthakos, P.P., Abramson, L.W. and Bruce, D.A. - "Ground Control and Improvement". John Wiley and Sons, Inc., New York, 1994

