

ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL TERRAPLÉN EN COMBUSTIÓN PP.KK. 414/850 al 415/130 LÍNEA MADRID- BARCELONA POR CASPE

ANTONIO MADRIGAL FERNÁNDEZ
JEFE DE CONTROL DE MATERIALES Y PROSPECCIONES
DIRECCIÓN DE CALIDAD, MEDIO AMBIENTE Y SS.II.
ADIF
amadrigal@adif.es
NAZARET SEVILLANO ARRIBAS
TÉCNICO DE CONTROL DE MATERIALES Y PROSPECCIONES.
INECO
miexuf3@adif.es



RESUMEN

En junio de 2006 recibimos el encargo por parte de la Jefatura de Explanaciones de la Dirección de Ingeniería Civil, de realizar el “ESTUDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO DEL TERRAPLÉN EN COMBUSTIÓN DEL PP.KK. 414/850 al 415/130, DE LA LÍNEA MADRID- BARCELONA POR CASPE”. Desde la Jefatura de Control de Materiales y Prospecciones, se encargo a TISER, S.L. la ejecución de dicho estudio.

Este tramo de vía presentaba un manifiesto proceso de inestabilidad, previsiblemente debido a la combustión del material constituyente del núcleo del terraplén, lo que ocasionaba asientos importantes de la plataforma, con los consecuentes problemas para la circulación.

Las sucesivas intervenciones de mantenimiento realizadas hasta la fecha tendían a mantener la rasante de la vía, compensando los asientos y desalineaciones mediante bateo y aporte de balasto, experimentando la banqueta un crecimiento paulatino.

El objetivo del estudio fue la realización de un reconocimiento de las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del terraplén y su entorno inmediato, para tratar de conocer las causas de las inestabilidades existentes y, en función de los parámetros obtenidos, aportar los datos requeridos por la Dirección de Ingeniería Civil, para determinar las soluciones constructivas o correctoras de proyecto mas adecuadas.

En concreto se investigaron los siguientes aspectos:

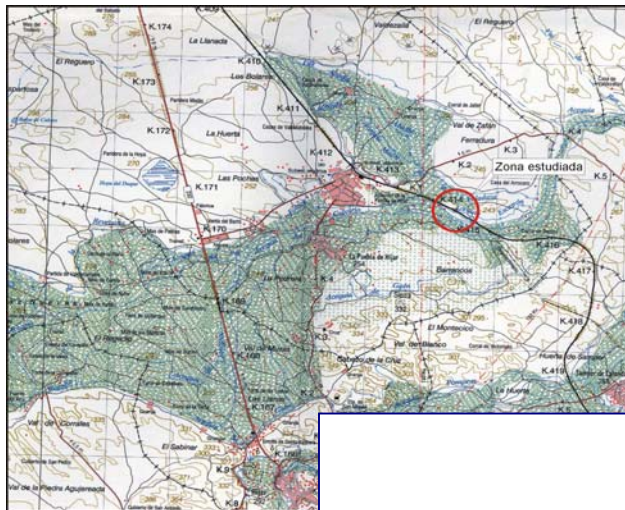
- Características geotécnicas del terraplén y su cimient: litología, estado natural, resistencia y espesores.
- Localización de los niveles freáticos.
- Localización de zonas inestables, con problemas de drenaje o de potencial erosivo.
- Composición del terraplén.

La metodología utilizada para analizar y caracterizar geotécnicamente la zona afectada, se basó en los siguientes aspectos:

- Revisión bibliográfica general y consulta de informes, estudios y acciones correctoras efectuadas por Renfe/Adif en la zona que nos ocupa.
- Levantamiento geotécnico mediante esquemas y croquis, tanto en planta como en alzado de la zona de estudio, comprendiendo un área de 2 Ha aproximadamente, 200 m de longitud de vía y 50 m a cada lado de la misma.
- Campaña de prospección geotécnica para la investigación e identificación de los parámetros que regían el comportamiento geotécnico del terraplén y su cimiento, englobando trabajos de ejecución de sondeos mecánicos a rotación, toma de muestras inalteradas, ensayos SPT, ejecución de calicatas con toma de muestras en bolsa, ensayos de laboratorio de las muestras de los sondeos y las calicatas realizadas y finalmente una inspección ocular y cartografía de riesgos.

Emplazamiento

El terraplén objeto de estudio estaba situado entre la estación de Puebla de Híjar y la estación abandonada de Samper de Calanda, justo en el punto donde se separaban los trazados de la vía desmantelada y la nueva variante (ver figura adjunta)



Descripción

El terraplén presentaba alineación recta y una pendiente moderada, ya que cruzaba la vega de un arroyo (denominado Acequia del Calvario) entre dos relieves aplanados. Sus taludes eran simétricos y de elevada pendiente.

La longitud total del terraplén era de unos 300 m, si bien únicamente se encontraba afectado por el proceso de inestabilidad un tramo de unos 75 m, situado al comienzo de su trazado, coincidiendo con el pontón del cruce con la citada acequia.

En este tramo afectado, el talud izquierdo ha deslizado, dejando descalzada la base de la banqueta de balasto, así como las cimentaciones de las torres de electrificación y descubriendo lo que, según se ha interpretado, debían ser los estribos de un antiguo puente desmantelado (y sustituido por el terraplén).

En el lado derecho, el terraplén se encontraba adosado a un antiguo trazado ferroviario, también en terraplén. La zona afectada por la combustión no se podía observar hasta 20 m mas adelante, cuando se separaban los cuerpos de ambos terraplenes.

El talud izquierdo presentaba una altura máxima de 8.00 metros y una inclinación de 35°. En coronación, el terraplén presentaba una anchura que oscilaba entre 4.50 y 6.00 metros por el lado derecho, ya que la plataforma era común a ambos terraplenes; en el lado izquierdo no existía paseo, ya que éste había deslizado.

Daños - Estado

Los daños o riesgos observados en esta explanación eran los siguientes:

- Combustión del material constituyente: los materiales que formaban parte del relleno o núcleo del terraplén se encontraban en combustión. Existían varios puntos de su superficie por los que manaban los gases de combustión, fácilmente visibles. También existían impregnaciones de azufre en estos puntos, coincidentes con grietas o discontinuidades en los mampuestos. El material de vía estaba caliente. El calor afectaba al balasto, las traviesas y los carriles. Además, en la zona deslizada del talud izquierdo podían observar capas de escorias y cenizas con huecos resultantes de la combustión.
- Deslizamientos: En el tramo comprendido entre los pp.kk. 414+855 y 414+900, lado izquierdo del terraplén se produjo un deslizamiento y continuaba en proceso de deslizamiento en el momento del trabajo. Se observaban grietas de tracción en los restos de la plataforma, cuya evolución era inminente. Esto fue provocando el descalce paulatino de la vía, si bien no pudo descartarse que a medio plazo se produjese un deslizamiento global de todo el talud.
- Inestabilidad en la plataforma: Aunque el proceso de deslizamiento antes descrito parecía ser el mecanismo mas probable de rotura, podría haber ocurrido que los huecos creados por la combustión del terraplén produjesen un colapso gravitacional. De hecho, la deformación de los carriles observada junto con el recrecimiento de la banqueta de balasto efectuado parecían indicar que se estaba produciendo un asiento importante del relleno.
- El terraplén tenía una obra de drenaje transversal coincidiendo con la zona en combustión. Esta obra consistía en un tubo de hormigón de encofrado de sección elíptica de 3,5 x 2,5 m por la que discurría un arroyo. Su construcción era reciente, por lo que se encontraba en buen estado de conservación.

Marco Geológico

La zona objeto de este estudio se encuentra situada en el sector central de la Cuenca del Ebro, concretamente en el sector aragonés.

La mayor parte de los materiales que configuran esta región, poseen una edad terciaria (Oligoceno superior-Mioceno inferior) y en menor proporción, existen materiales de edad cuaternaria, que recubren a los anteriores citados.

Los materiales de edad oligocena y miocena, consisten principalmente en sedimentos de origen fluvio-aluvial, procedentes del desmantelamiento de la Cordillera Ibérica, situada hacia el S de la zona cartografiada. En la sucesión estratigráfica, entre los sedimentos aluviales, se intercalan depósitos carbonáticos, margas y calizas de origen lacustre-palustre, que son de poca importancia, por lo que se refiere a su potencia, y evaporíticos, yesos y margas yesíferas.

Los sedimentos de edad cuaternaria, se configuran principalmente en varios niveles de terrazas, correspondientes al río Martín, que también engloban depósitos coluviales, de poca extensión.

Estratigrafía

TERCIARIO

En cuanto a la litología los materiales de edad terciaria encontrados en la zona pueden dividirse en dos dominios distintos. El sector oriental, constituida por alternancias de tramos detríticos, areniscas con paleocanales, arcillas y limos, y el sector occidental formado por una alternancia de yesos nodulares y tabulares, margas yesíferas y arcillas, y tablas de calizas y areniscas.

De esta forma, en los términos más inferiores de la serie existe una evolución gradual de facies que se realiza desde el sector oriental donde se localizan las facies detríticas más proximales hasta la zona occidental y noroccidental, donde se desarrollan los materiales margo-calcáreos y evaporíticos correspondientes a las facies distales de ambientes lacustre y lacustre-palustre.

- Calizas, calizas margosas y margas, con niveles de areniscas. Chattiense-Ageniense. (La potencia del conjunto se estima superior a 20 m).
- Arcillas marrón rojizas, con capas finas de calizas. Yesos y areniscas. Localmente canales de areniscas. Chattiense-Ageniense. (Su potencia oscila entre 40 y 60 m).
- Areniscas ocre y amarillentas y arcillas. Ageniense. (el conjunto tiene aproximadamente 60 m de potencia).
- Lutitas rojas con capas de areniscas yesíferas, calizas y yesos. Ageniense. Estos en numerosas ocasiones constituyen la base de la unidad.
- Alternancia de calizas y/o yesos, margas y arcillas.. Ageniense. Se presentan como bancos de yeso, de colores blanquecinos y rojizos, en capas tabulares y aspecto nodular, en ocasiones, con textura sacaroidea y alabastrinos.

CUATERNARIO

- Cantos y gravas redondeadas, polimícticas. terrazas. pleistoceno-holoceno. En relación con el río Martín, principal cauce fluvial de la zona, se han reconocido un total de 9 niveles de terraza. Los cuatro niveles superiores se atribuyen al Pleistoceno inferior, los tres niveles intermedios al Pleistoceno superior y los dos niveles inferiores se consideran Holocenos.
- Cantos y gravas angulosas en matriz arcillo-arenosa Glacis. pleistoceno. Aflora de forma extensa en los alrededores de la Estación de La Puebla de Híjar.
- Gravas y cantos en matriz arcillosa. conos de deyección. Cantos angulosos en matriz arcillosa Coluviones. Holoceno.
- Gravas, arenas y arcillas. Aluvial y fondos de vale. Holoceno

Geomorfología

Orográficamente la zona presenta relieves muy suaves, con extensas zonas planas, y leves pendientes generales hacia los ríos, siendo el Cabezo de la Cruz, con 349 m. el punto mas alto de la zona.

En este tramo del trayecto nos encontramos en la cuenca del río Martín. Esta es una cuenca menor, secundaria, con orientación N-S aproximadamente. Concretamente sobre la llanura aluvial del Escatrón, que desagua en el río Martín fuera del área cartografiada. Esta amplia llanura se encuentra surcada por numerosas acequias para usos agrícolas como la del Calvario.

La geomorfología de la región presenta varias unidades, entre las que destaca como unidad morfoestructural los **relieves residuales**, originados por la presencia de paleocanales de arenisca intercalados en la serie arcillosa terciaria, que permiten la generación de relieves positivos modelados sobre estos materiales más resistentes a la erosión.

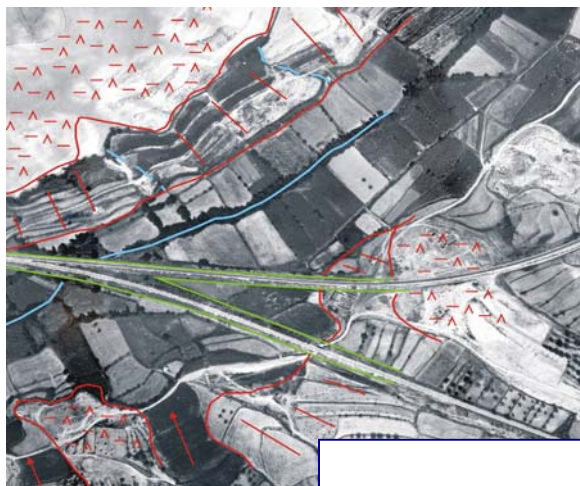
También es destacable en la zona un proceso generalizado de regulación de vertientes. Estas vertientes presentan perfiles cóncavos que se engrosan hacia las partes inferiores de las mismas, cartografiándose como **coluviones** cuando alcanzan cierta potencia y enmascaran las litologías terciarias subyacentes.

Mención aparte merecen los depósitos de ladera diferenciados como **coluviones de terraza**. Están ligados a las vertientes de enlace entre la sucesión de terrazas del río Martín, y su litología, por consiguiente, es idéntica a la de las mismas, lo que dificulta a menudo la diferenciación entre ambas.

En cuanto a las morfologías de génesis fluvial. Se han diferenciado 9 niveles de **terrazas** en el río Martín, entre los cuales, los 7 mas altos se encuentran **colgados**, mientras que los dos inferiores corresponden a **terrazas encajadas**.

Como depósitos de génesis fluvial, a demás de los niveles de terraza habría que añadir los **fondos aluviales**.

Respeto a las formas poligénicas, también tiene importancia en la región las **vales** o valles de fondo plano, que con morfologías en artesa son particularmente frecuentes en los terrenos margoyesíferos. En la génesis de los depósitos de fondo de vale interviene tanto aportes laterales de origen coluvial como longitudinales de origen fluvial.



Tectónica

La Cuenca del Ebro muestra una estructura geológica muy sencilla, con capas subhorizontales o con buzamientos muy suaves en la mayor parte de la cuenca, excepción hecha de aquellas áreas próximas a las cadenas colindantes. Las deformaciones más abundantes en la cuenca están ligadas a fenómenos halocinéticos. Sin embargo, la cartografía de detalle pone de manifiesto la existencia de estructuras que, si bien no suelen ser deformaciones de gran intensidad, sí presentan cierta continuidad lateral, reflejada por la presencia de direcciones paralelas a las estructuras ibéricas a lo largo de prácticamente la totalidad de la cuenca, así como otras de orientación NNE a NE, más difíciles de detectar. Estas direcciones preferentes también se

manifiestan en los lineamientos detectados con imágenes de satélite y parecen ser reflejo en superficie de estructuras mayores.

La zona objeto de este estudio está ubicada en la parte centro-meridional de la Cuenca del Ebro, ocupando una posición próxima al borde septentrional de la Cordillera Ibérica, cerca de la "zona de enlace" con Los Catalánides y aunque está constituida por depósitos sinorogénicos en el sentido de ser coetáneos con la deformación de las cadenas adyacentes, presenta una estructura geológica muy sencilla, ya que la deformación apenas se ha transmitido hasta este sector de la cuenca.

La disposición estructural de las capas en este sector es, a grandes rasgos, subhorizontal, con un buzamiento regional de 1-3° hacia el NNO.

En cuanto a fracturación, se observa un pequeño haz de lineamientos de dirección NO-SE, visibles en la fotografía aérea. Estos lineamientos, podrían interpretarse como líneas de fractura y vienen marcados en la mayoría de los casos por los valles rectilíneos que tributan al río Martín.

Climatología e hidrogeología

En este apartado se analizan los parámetros que intervienen en el comportamiento hidrológico de la zona de estudio, tanto desde el punto de vista hidrogeológico propiamente dicho, como desde el punto de vista de la hidrología superficial.

Para realizar este estudio se han tenido en cuenta los parámetros que tienen una influencia directa en el comportamiento hidrogeológico: precipitación, temperatura, vegetación, litología y permeabilidad del suelo. A partir de estos parámetros se obtienen los resultados necesarios para calcular, dimensionar e interpretar el problema que afecta al terraplén en estudio.

a) Aspectos hidrogeológicos

La hidrología de la zona está condicionada por la naturaleza de los materiales que conforman el subsuelo, de manera que en los materiales terciarios, fundamentalmente margo-yesíferos son prácticamente impermeables, constituyendo un acuitardo de pocas posibilidades de aprovechamiento.

Por otro lado en los sedimentos cuaternarios, la permeabilidad es prácticamente nula, por lo que no se constituyen acuíferos de gran importancia.

El terraplén objeto de estudio atraviesa la vega de un arroyo sobre el que discurren el denominado Acequia del Calvario, entre dos relieves aplanados..

El drenaje se realiza en esta zona por medio de una red de "vales" o valles de fondo plano de funcionamiento esporádico, dadas las características semiaridas de la región.

b) Precipitación y temperatura

El clima de la región es de tipo continental árido, o sea con escasas lluvias estacionales de carácter torrencial, con temperaturas de invierno y de verano extremas y, además, con un elevado contraste térmico entre las medias anuales más frías y las mas calurosas. La pluviosidad es muy baja, registrándose unos valores cercanos a los 350 mm. anuales. Por otro lado la inversión

térmica es importante durante el período invernal y, por lo tanto, las nieblas son frecuentes y persistentes.

Los datos de precipitación diaria máxima se han obtenido del “Mapa para el cálculo de máximas precipitaciones diarias en la España peninsular” del Ministerio de Fomento, resultando un valor medio de la precipitación diaria máxima algo inferior a 45 mm./día.

c) Superficie de la cuenca.

Como se ha comentado en apartados anteriores, la red hidrográfica en esta zona se articula por medio de “vales” que constituyen una red de barrancos de fondo plano de funcionamiento esporádico, dadas las características semiáridas de la región.

Por otra parte, al ser su litología favorable para el cultivo, presentan aterrazamientos antrópicos y numerosas modificaciones de los cauces, encontrándose surcados por multitud de acequias y canalizaciones comunicadas entre sí, lo que conlleva a la imposibilidad del establecimiento de la cuenca de drenaje

d) Cálculo del caudal de la cuenca

Considerando los siguientes valores, se ha determinado el caudal de avenida de la cuenca:

Área de la cuenca: 5 km².

Longitud del curso principal: 1 km.

Pendiente media: 3%

Vegetación: Cultivo.

Suelo: margas.

Tiempo de concentración: 0.75 horas, que es función de la longitud del cauce principal y de la pendiente media.

Período de retorno: 25 y 50 años

Coefficiente corrector del umbral de escorrentía: 2.75

	PERIODO DE RETORNO	
	25 AÑOS	50 AÑOS
Precipitación total diaria: Pd (mm)	59	74
Intensidad media diaria de precipitación: Id = Pd/24 (mm/h)	2.46	3.08
Umbral de escorrentía: P ₀ (mm)	6	6
P ₀ corregido = P ₀ x αmm	16.8	16.8
Intensidad media: It (mm/h)	22.32	26.92
Coefficiente de escorrentía: C	0.295	0.396
Caudal: Q (m³/s)	1.78	2.50

Las conclusiones obtenidas sobre la influencia de las precipitaciones en el tramo ferroviario estudiado son las que se exponen a continuación:

- La extensión de la cuenca que afecta a la zona es de 20 Km², la precipitación media anual es de 350 mm, y la temperatura media anual es de 14,26°C.
- La evapotranspiración potencial anual (EVTP) es de 934 mm.

- El balance hídrico general es negativo ya que los aportes medios anuales son inferiores a la evapotranspiración potencial.
- El caudal máximo esperado en una avenida para la cuenca de drenaje del terraplén es de 1,78 m³/s y 2.50 m³/s para periodos de retorno de 25 y 50 años respectivamente.
- La sección y funcionalidad de las obra de drenaje eran suficientes para drenar los caudales máximos esperados. La ubicación de la obra era correcta.

Caracterización geotécnica.

La campaña de investigación se ha planificó con el objetivo de cubrir toda el área de estudio. Los trabajos realizados se plantearon fundamentalmente para el reconocimiento del terreno mediante sondeos a rotación y calicatas con el fin de identificar las distintas unidades litológicas superficiales y en profundidad.

De las muestras tomadas en las perforaciones se realizaron ensayos de laboratorio para obtener los parámetros geotécnicos de cada material, necesarios para la caracterización completa del terraplén estudiado.

a) Sondeos mecánicos

La ejecución de los sondeos mecánicos se realizó fundamentalmente para el reconocimiento del núcleo del terraplén. La investigación de los distintos materiales que aparecen en el subsuelo ha permitió conocer la naturaleza y la composición de los distintos grupos litológicos y sus características geomecánicas. La caracterización geomecánica, a partir de ensayos de laboratorio de los materiales, se realizó sobre las muestras inalteradas tomadas en los sondeos.

Se realizaron 3 sondeos mecánicos a rotación con recuperación de testigo continua. Los sondeos S-1 y S-3 se realizaron inclinados 30° hacia el núcleo del terraplén con objeto de poder reconocer su espesor real. El sondeo S-2 se realizó vertical para poder tomar muestras representativas y realizar SPT. La longitud total perforada ha sido de 41,5 m. Se tomó una muestra inalterada y un testigo parafinado y se ha realizó 1 ensayo SPT.

SONDEO	LONGITUD	OBSERVACIONES
S-1	14.00 m	Inclinado 30°
S-2	14,5 m	Vertical
S-3	13.00 m	Inclinado 30°

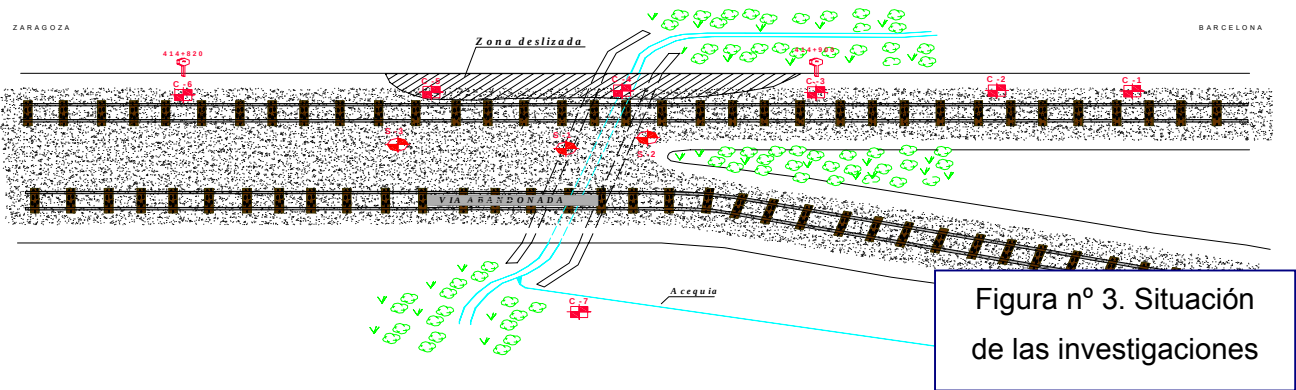
b) Calicatas

Se realizaron 8 calicatas con el objeto de conocer el material de relleno del terraplén y el material sobre el que se asentaba.

c) Ensayos de laboratorio

Los ensayos realizados fueron de dos tipos: un primer grupo de ensayos orientados a la caracterización química del relleno del terraplén: Poder calorífico bruto, PCS (Kcal/Kg),

Punto de Inflamación (°C), Azufre (%), Hidrocarburos totales (mg/Kg), Hierro (mg/Kg), Cobre (mg/Kg), Cromo (mg/Kg), Cobalto (mg/Kg), Arsénico (mg/Kg), Plomo (mg/Kg), Mercurio (mg/Kg), Zinc (mg/Kg) y Níquel (mg/Kg), y un segundo grupo de ensayos de caracterización geotécnica del sustrato soporte (geotécnicos): Límites de Atterberg (UNE 103103 y 103104) (4), Granulometría por tamizado (UNE 103101) (4), Humedad natural (4), Densidad aparente (4), Compresión simple (UNE 103400) (2), Ensayo Proctor Normal (2) y Ensayo CBR (2).



Definición de unidades geotécnicas

En base a la información que aportó el estudio geológico, las prospecciones de campo realizadas y los ensayos de laboratorio, se ha llevado a cabo una caracterización geotécnica de los materiales que aparecían en el tramo ferroviario objeto de estudio.

Se asignaron los materiales afectados a unidades geotécnicas que presentaban un comportamiento homogéneo en lo referente a su origen, naturaleza, características geomecánicas, etc...

Relleno del terraplén.

El tramo de vía estudiado correspondía a un relleno de aspecto carbonoso que se encontraba en combustión. De visu, se componía de pequeños fragmentos de roca tipo lutita negra, carbón y otros residuos como carbonilla, escorias y restos de chatarra. Presentaba una muy baja compacidad, como se ha puesto de manifiesto en el proceso de perforación, en el que la batería del equipo avanzaba sin rotación, únicamente con el empuje de avance. La recuperación, no obstante fué sido buena y permitió tomar testigos de forma continua.

Las calicatas realizadas en el lado izquierdo (deslizamiento) pusieron de manifiesto la existencia de una cierta “estratificación” de estos materiales. En superficie casi siempre se podía reconocer una capa de material arcilloso de recubrimiento que presentaba una mayor consistencia. Por debajo, alternaban las capas de carbonilla, mas granulares y las lutítico-carbonosas.

En cuanto a los ensayos de combustión, se observaba que ambas muestras analizadas tenían un punto de inflamación alto, lo que indicaba una baja facilidad para arder. Su poder calorífico era bajo a moderado

El contenido en hidrocarburos era relativamente bajo, aunque suficiente para comprobar que el origen del relleno correspondía con estériles de carbón.

Respecto al contenido en metales, destacaba la elevadísima proporción de mineral Hierro, probablemente debido a la presencia de Pirita en la paragéneis del carbón de donde procedía este relleno.

El resto de metales analizados mostraban concentraciones reducidas, destacando el Zinc, el Plomo y el Cobre.

Sustrato del terraplén

El sustrato soporte del terraplén lo constituía una formación superficial cuaternaria formada por material aluvial de poco espesor (<1 m), que se encontraba recubriendo el basamento terciario formado por lutitas rojas con capas de yesos, areniscas y calizas. Estos materiales han sido atravesados y muestreados por los sondeos realizados.

Para la caracterización de estos materiales se contó con los ensayos de laboratorio realizados (2 muestras de sondeo y dos muestras de calicatas). También se utilizaron algunas correlaciones que proponían diversos autores, en función de la naturaleza de los materiales, su plasticidad y su compacidad.

Características de identificación y clasificación

Para realizar la clasificación de los materiales de esta unidad geotécnica se utilizaron los resultados obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio de las muestras tomadas de los sondeos.

En cuanto a la granulometría, se clasificaron, a partir de la U.S.C.S., como suelos de grano muy fino, predominantemente limos arcillo-margosos de alta plasticidad (MH), junto con algunos suelos limosos y arcillas limosas margosas de alta plasticidad (MH-OH) en menor proporción.

Para la clasificación y determinación de las propiedades geotécnicas de esta unidad, se analizaron un testigo parafinado y una muestra inalterada. A partir del ensayo granulométrico se observó que el porcentaje que pasaba por el tamiz 200 estaba comprendido entre el 99,3 y 95,4.5 %, lo que indica que el porcentaje de finos era muy elevado.

A partir de los límites de Atterberg se determinó el límite líquido, que variaba entre 53,2 y 52,7%, y el índice de plasticidad, que lo hace entre el 27,1 y 27,2 % (materiales de alta plasticidad).

Características de estado

Dentro de este apartado se recogen los valores correspondientes a la humedad natural y densidad seca.

Los valores de humedad natural obtenidos de las muestras tomadas varían entre 21,3 y 25,4 %, valores considerados como altos, muy próximos al límite plástico. Los valores de densidad seca se sitúan entre 1,586 y 1,781 g/cm³.

Características de resistencia

Los parámetros de resistencia del terreno se han obtenido a partir de los ensayos de penetración estándar (SPT), realizados en el sondeo S-2 y a partir de los efectuados en laboratorio, de compresión simple.

En la siguiente tabla se representan los valores obtenidos a partir de los ensayos de resistencia a la compresión simple. Con estos valores se pudo evaluar la resistencia del material a corto plazo.

SONDEO	PROF. (m)	COMPRESIÓN SIMPLE		N (SPT)
		q _u (Kg/cm ²)	Def.(%)	
S-2	MI- 12,00-12,50	2,3	12	R
S-2	SPT- 12,50-			33
S-2	TP- 13,70-14,10	2,6	7	

Para las muestras analizadas se obtuvieron resistencias a la compresión simple de 2.45 Kg/cm² y deformaciones medias de 9,5 %. Según las propiedades típicas de los suelos compactados (NAVFAC, 1971) para un suelo tipo MH se obtuvieron valores de ángulo de rozamiento interno y de cohesión de 25º y 0.732 kg/cm² respectivamente.

El material de recubrimiento aluvial tenía un índice CBR de 1,81 a 4,36. y la densidad Proctor era también baja (de 1,46 a 1,60 g/cm³).

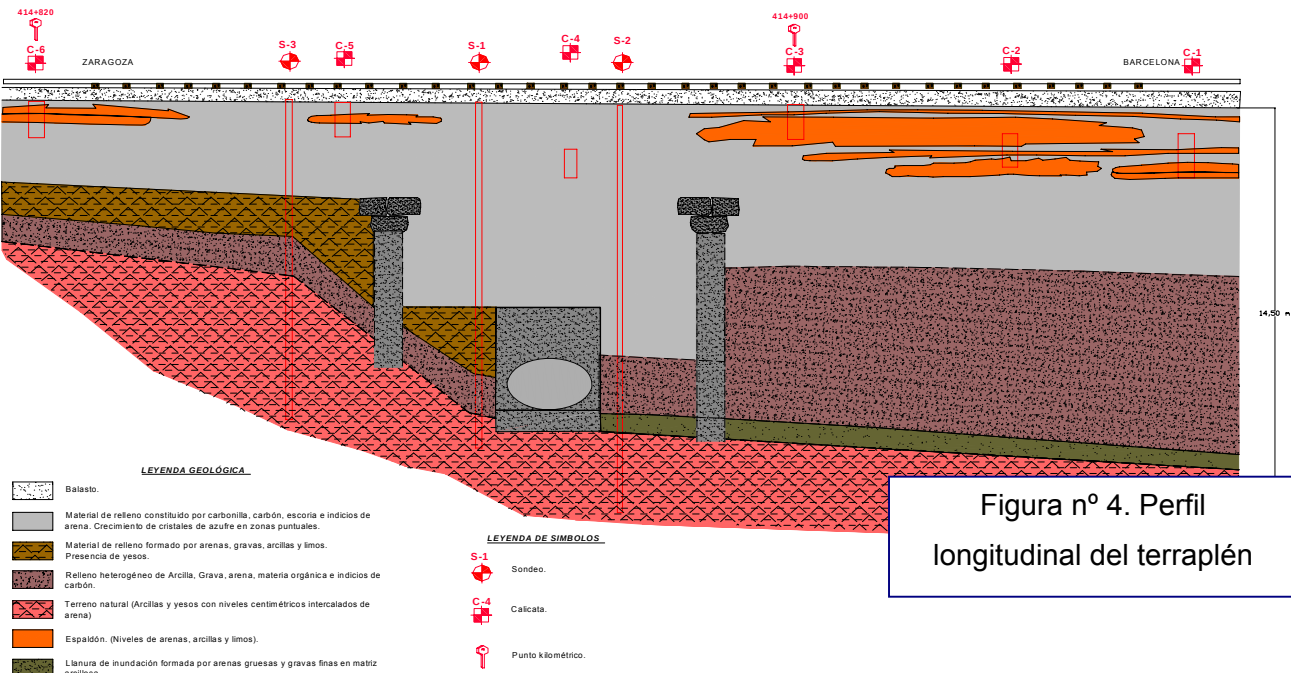


Figura nº 4. Perfil longitudinal del terraplén

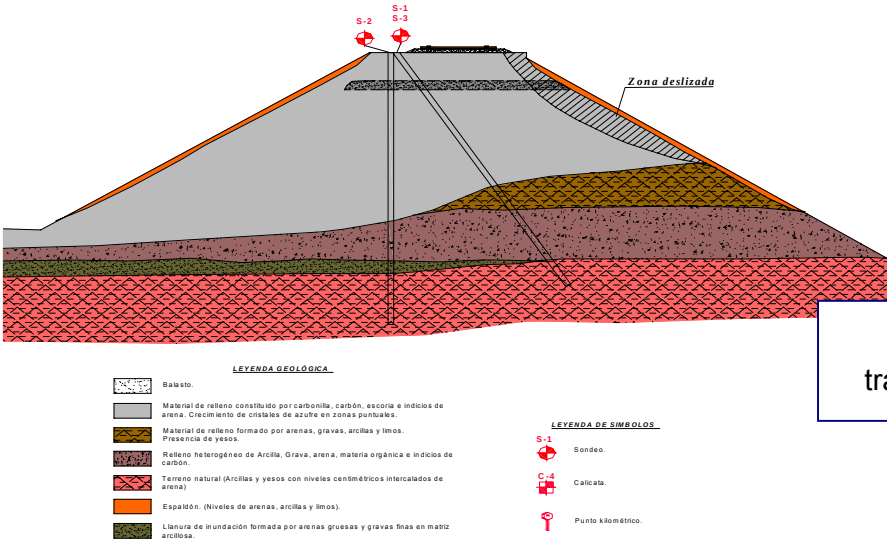


Figura nº 4. Perfil transversal del terraplén

Análisis del estado actual del tramo estudiado

Los sondeos y calicatas realizados nos muestran que el terraplén se componía de un relleno sin compactar de escombrera de carbón mezclada con otros residuos como carbonilla. Los resultados de los ensayos realizados mostraban un alto contenido de hierro, azufre y otros metales.

La interpretación que pudo realizarse sobre el proceso de combustión del terraplén nos acerca a un proceso que se produce muy frecuentemente en las escombreras de las minas de carbón: la reacción entre los restos de carbón y los metales que en forma de sulfuros suelen contener, que producen la combustión del conjunto. Así, se han descrito numerosos casos de escombreras en ignición, donde se ha demostrado como los metales pueden actuar de catalizadores en el proceso de combustión espontánea. El azufre libre, procedente de los sulfuros metálicos puede contribuir a aumentar la combustibilidad del conjunto.

Aunque se trata de materiales con un poder calorífico moderado, la combustión va avanzando por el núcleo del relleno y los huecos que se generan van colapsándose paulatinamente. Se han observado cavidades de varios decímetros cúbicos en el corte del deslizamiento.

Dado el espesor del relleno, es posible que se puedan haber acumulado bolsas de gas (metano) en las cavidades existentes, creadas por el proceso de combustión.

Se trata de un proceso que previsiblemente no iba a detenerse, sino que continuaría en el tiempo, hasta que se hubiese agotado el material comburente. Al estar formado todo el espesor del terraplén por este material, es seguro que este proceso podría haber destruido todo el terraplén hasta poder hacer colapsar la vía a medio plazo.

Por otra parte, se trataba de un **relleno localizado**, situado entre los estribos de un antiguo puente, con unas dimensiones de unos 45 m en sentido longitudinal de la vía. El resto del terraplén se encontraba en buen estado de conservación, sin que la inspección realizada haya detectado procesos de combustión ni inestabilidades.

El terreno en el que se apoyaba el terraplén, correspondía a una formación geológica lutítico-arcillosa, cuyas propiedades geotécnicas han sido investigadas mediante un sondeo y ensayos de laboratorio. Las principales conclusiones que se extrajeron son su carácter arcilloso firme, plástico y de alto contenido en sulfatos agresivos al hormigón.

En estas condiciones, cabe deducir que el terreno de cimentación del terraplén no habría sufrido deformaciones importantes en la vertical en el caso de que se decidiese realizar alguna obra de fábrica o sustitución del relleno.

Conclusiones. medidas correctoras propuestas

Analizados los puntos anteriores y reconocido el terraplén en campo, sus inestabilidades, características constructivas, situación, problemática, etc, se concluye que:

- El proceso de combustión afectaba a un tramo de 45 m de vía, con un espesor de relleno de hasta 8 m.
- Se trataba de un proceso espontáneo, producido por la composición del material utilizado para conformar el terraplén.
- Aunque lenta, se trataba de una combustión continua, que va consumiendo el material que forma el apoyo de la vía.
- La combustión del terraplén habría producido el hundimiento de la vía a medio plazo.
- La capacidad portante del sustrato soporte era media-baja, con contenidos en sulfatos agresivos al hormigón.

Las actuaciones o medidas correctoras que se realizaron desde la Dirección de Ingeniería Civil son las siguientes:

1. Realización de un desvío provisional.
2. Sustitución del terraplén, construyendo uno nuevo con materiales adecuados.

Se calcula que había en el terraplén 7.000 m³ de material potencialmente afectado por la combustión que obligatoriamente debía ser removido y sustituido por material adecuado.

Este material fue transportado a un vertedero adecuado para este tipo de material y fue depositado siguiendo un sistema que evitase que se reprodujera la combustión, en capas de reducido espesor, alternando con otras capas de arcillas impermeables compactadas.

Se desestimó la inyección de lechada de cemento, que aunque esta llenaría de forma efectiva los huecos existentes, evitando la propagación de la combustión y aumentando la capacidad portante del terraplén. El agua de inyección podría haber producido llamaradas al entrar en contacto con los gases calientes, por lo que habría que aumentar la viscosidad de la mezcla.

