

COMPORTAMIENTO DE TERRAPLENES SOBRE TERRENOS DE TURBAS EN LA LÍNEA FERROVIARIA SILLA – GANDÍA. ESTUDIO GEOTÉCNICO DE LA PLATAFORMA ENTRE LOS PP.KK. 45+200 A 47+200

Bermejo Martínez, M., Prospección y Geotecnia, S.L., Madrid, España, manolo@prospeccion.e.telefonica.net
Suárez Ordoñez, L. E. ADIF, Madrid, España, lsuarez@adif.es
Rodríguez Franco, J.A. Prospección y Geotecnia, S.L., Madrid, España, angel@prospeccion.e.telefonica.net

ÍNDICE

Pag

RESUMEN.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. TRABAJOS E INVESTIGACIONES REALIZADOS.....	5
3. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA.....	16
3.1. Encuadre geológico regional.....	16
3.2. Unidades geológico – geotécnicas.....	16
4. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES.....	17
5. MODELO HIDROGEOLÓGICO E HIDROLÓGICO.....	19
5.1. Modelo hidrogeológico.....	19
5.2. Modelo hidrológico.....	20
5.3. Conclusiones hidrológicas e hidrogeológicas.....	20
6. CAPACIDAD PORTANTE Y DEFORMABILIDAD DEL TERRENO.....	21
7. FACTORES DESENCADENANTES DE LOS DAÑOS OBSERVADOS.....	22
8. ESTUDIO DE SOLUCIONES.....	25
9. CONCLUSIONES.....	28

COMPORTAMIENTO DE TERRAPLENES SOBRE TERRENOS DE TURBAS EN LA LÍNEA FERROVIARIA SILLA – GANDÍA. ESTUDIO GEOTÉCNICO DE LA PLATAFORMA ENTRE LOS PP.KK. 45+200 A 47+200

Manuel Bermejo Martínez, ⁽¹⁾. Luis E. Suárez Ordoñez ⁽²⁾. J. Ángel Rodríguez Franco ⁽¹⁾.

RESUMEN

En este trabajo se va abordar el estudio geológico-geotécnico realizado para estudiar los problemas producidos en la plataforma de la línea de FF.CC. Silla – Gandía entre los PP.KK. 45+200 a 47+200. El tramo de línea estudiado se encuentra afectado por importantes procesos de asiento del terreno natural, los cuales dan lugar a desnivelaciones, baches y defectos de alineamiento de la vía. Esto obliga a llevar a cabo sucesivas operaciones de mantenimiento, que consisten principalmente en la nivelación de vía (trabajos que se efectúan varias a veces al año) y que hicieron necesario imponer una limitación de velocidad a 80 km/h. Como consecuencia de estos fenómenos aparecen grietas en el terraplén y la banqueta de balasto se empotra progresivamente en la plataforma, lo que a corto plazo puede provocar colapsos de la misma y deslizamientos en los taludes del terraplén.

El terreno natural sobre el que apoya el terraplén estudiado está constituido en superficie por suelos vegetales, rellenos antrópicos y sobre todo por depósitos orgánicos (principalmente turbas) hasta una profundidad de 3 - 4 m. Bajo ellas se encuentran depósitos aluviales y coluviales hasta una profundidad media de 25 m. A partir de esta profundidad se encuentran rocas carbonáticas del cretácico, las cuales constituyen el sustrato rocoso.

El estudio geotécnico realizado en el terraplén ha permitido determinar las causas de los procesos de deformación del sustrato que afecta al relleno en este intervalo, con el fin de aportar soluciones geotécnicas para definir el proyecto de consolidación y mejora del terreno de apoyo de la infraestructura.

⁽¹⁾ Geólogo. Máster en Ingeniería Geológica (U.C.M.). Prospección y Geotecnia, S.L.

⁽²⁾ Eurogeólogo. Máster en Ingeniería Geológica (U.C.M.). Abogado. ADIF.

1.- INTRODUCCIÓN

La plataforma estudiada se encuentra situada entre los PP.KK. 45+200 al 47+200 de la línea de FF.CC Silla – Gandía (figura 1.1). En este trayecto de 2.000 m de longitud, el terraplén se encuentra dividido en dos tramos separados por un paso a nivel situado en el P.K. 45+730. En el primer tramo de 530 m de longitud, el terraplén no supera los 3 m de altura; en el segundo tramo de 1.500 m entre los PP.KK 45+730 - 47+230 es también un relleno de similares características, y en el se concentran los mayores problemas geotécnicos.

El terreno donde se apoya el terraplén estudiado está constituido por depósitos orgánicos (principalmente turbas) hasta 3-4 m de profundidad. Bajo ellas se encuentran depósitos aluviales y coluviales hasta una profundidad media de 25 m. A partir de esta profundidad media se encuentran rocas carbonáticas del cretácico, las cuales constituyen el sustrato rocoso.

La plataforma objeto de estudio está afectada por un proceso generalizado de asiento que afecta a toda la longitud de la línea férrea y más profundamente en tres tramos: entre los P.K. 45+200 al P.K. 45+725 (525 m), P.K.45+810 al P.K. 46+170 (360 m) y P.K. 46+875 al final del tramo de estudio (325 m). En estos tres tramos el terraplén está apoyado sobre unas formaciones orgánicas de turbas, cienos y fangos muy compresibles, con una potencia media de 2,5 a 3,0 m y, afectados por procesos de saturación - secado cíclicos que cambian su volumen por mecanismos de consolidación – hinchamiento.

Por debajo de los depósitos de turbas se encuentra una capa de arcillas beiges de entre 10 y 12 m de espesor máximo, con intercalaciones de gravas, arenas y limos correspondiente a depósitos aluviales de albufera, que son menos deformables. En el tramo final del terraplén las turbas se apoyan sobre unos depósitos coluviales poco densos en superficie (hasta 10-12 m), en donde también se producen asientos.

Por otro lado en la zona de estudio se producen inundaciones periódicas por el exceso de caudal de avenida de las cuencas que lo rodean. Estas inundaciones producen contaminaciones, erosiones en los taludes y descenso de las propiedades geotécnicas de los materiales que forman el terraplén y el sustrato cuando se encuentra saturado.



Figura 1.1: Plano de localización geográfica del área de estudio.

El tramo de línea estudiado se encuentra afectado por importantes procesos de asiento del terreno natural, debido a la naturaleza de su composición (turbas y fangos). Estos efectos son reconocibles en la actualidad consisten a grandes rasgos en: grietas en los elementos de drenaje existentes en el terraplén (figura 1.2), acumulación extraordinaria de balasto en zonas concretas de la plataforma, postes de catenaria inclinados por inestabilidad de los taludes del terraplén, deformaciones en cunetas y muros por empujes laterales del talud del terraplén, grietas longitudinales en la plataforma (figura 1.2). Además a ambos lados del terraplén se producen zonas de encharcamiento de carácter estacional y permanente.

Históricamente se han realizado trabajos de protección en la zona consistentes en la instalación de elementos de drenaje transversal (19 en total) y longitudinal (cunetas a ambos lados de la plataforma en distintos tramos), laminas de polietileno bajo la banqueta de balasto (geotextil P.K. 45+370 a 47+200), zahorra artificial (sustitución de 1 m del sustrato en la base del terraplén P.K. 45+370 a P.K. 47+200), pilotes de refuerzo del sustrato (de madera hincados hasta rechazo entre los PP.KK. 46+100 a 47+050) y elementos de contención en los taludes (muros de escollera).



Lado derecho. P.K. 47+100. Grieta importante en la plataforma en su zona de máxima apertura. Tiene una profundidad de 1 m.



Lado derecho. P.K. 46+400. Tubería de acero corrugado para el drenaje transversal del terraplén. Las boquillas del drenaje son de hormigón y en este caso se encuentra completamente agrietada.

Figura 1.2: Vista de algunos de los procesos que afectan al terraplén.

A pesar de las obras de mejora los daños volvían a producirse lo que obligaba a llevar a cabo sucesivas operaciones mantenimiento, que consistían principalmente en la nivelación de vía (trabajos que se efectúan varias a veces al año) y que hicieron necesario imponer una limitación de velocidad a 80 km/h.

Debido a los problemas anteriormente expuestos, resultaba necesario la realización de un estudio geotécnico del sustrato donde se asienta la infraestructura ferroviaria, con el fin de aportar soluciones geotécnicas para definir el proyecto de consolidación y mejora del terreno de apoyo.

Los objetivos principales de este estudio fueron los siguientes:

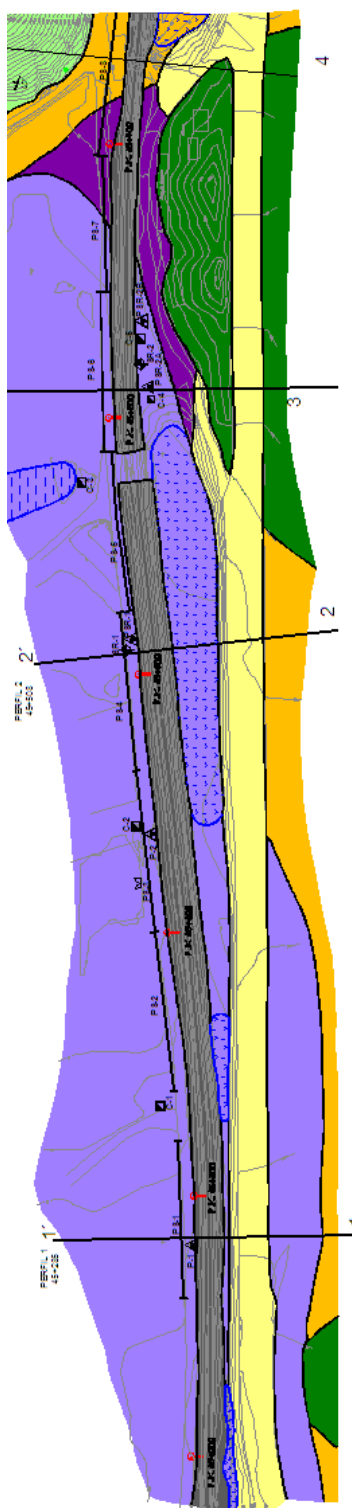
- Análisis de las incidencias observadas en la infraestructura del tramo estudiado. Relación con los procesos de inestabilidad.
- Caracterización geológica y geotécnica de los materiales presentes en la zona de estudio y su entorno próximo.
- Estudio hidrogeológico del área para la determinación del comportamiento hidráulico de los materiales y su incidencia en los procesos de asiento del sustrato que afectan a la plataforma.
- Determinación de los procesos causantes de los fenómenos de inestabilidad reconocidos.
- Propuesta de las soluciones más idóneas para los procesos de inestabilidad existentes, en base a criterios técnicos, económicos y de fácil ejecución, considerando el elevado tráfico ferroviario existente.
- Análisis comparativo de la prioridad de las zonas donde actuar, con el fin de establecer fases de tratamiento divididas en distintas partidas de obra debido a la gran longitud del tramo de vía estudiado.

El objetivo final es conocer las características y propiedades del terreno donde se asienta la plataforma de estudio y los parámetros básicos para el posterior diseño de actuaciones de consolidación y refuerzo del mismo.

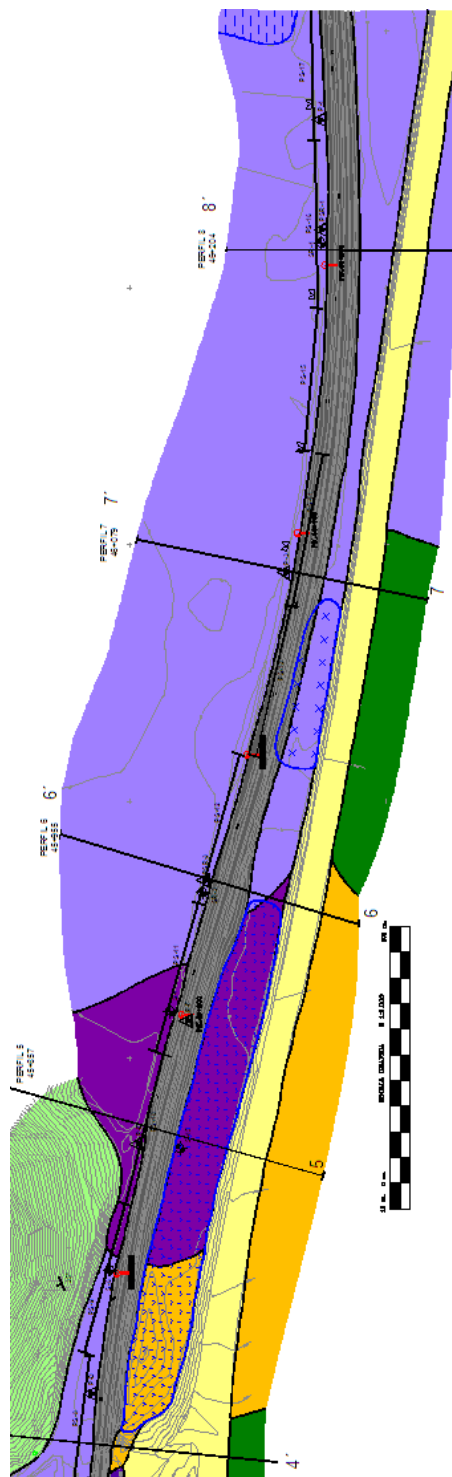
2.- TRABAJOS E INVESTIGACIONES REALIZADOS

Para la consecución de los objetivos marcados se realizaron los siguientes trabajos

- Recopilación de la información disponible: Se consultó la documentación cartográfica, geológica y geotécnica del área de estudio, destacando:
- I.G.M.E. (Instituto Geológico y Minero de España). Mapa geológico de España. Escala 1:50.000". Hojas: Nº 770 - 771 (Alcira - Levesa), 747. (Sueca). 795 (Játiva).
 - Mapa Topográfico del Instituto Geográfico Nacional. Escala 1:50.000. Hojas 770-771 (Alcira-Levesa), 747 (Sueca), 795 (Játiva).
 - Mapa Topográfico a escala 1:10.000 del Instituto Cartográfico de la Generalitat Valenciana. Hojas 770 (4-4) (Xeraco) y 795 (4-1) (Gandía Ponent).
 - Estudio de riesgos por avenidas (E.R.A) de la línea de FF.CC Silla-Gandía, realizado por Prospección y Técnicas Geofísicas en el año 1. 999.
 - Informe Geotécnico del Terraplén de vía férrea en el tramo Jaraco - Gandía (Valencia), realizado por Geotecnia y Cimientos en el año 1. 986.
 - Datos de nivelaciones de vía entre los P.K. 45+300 al P.K. 47+300 desde el día 13-12-2001 al 02-07-2002 realizado por INECO.
- Fotointerpretación del área de estudio a escala 1:2.000, a partir de las fotografías aéreas de los fotolitos del estudio de avenidas E.R.A de la línea Silla-Gandía y a escala 1:20.000, de las fotografías áreas del Instituto Cartográfico de la Generalitat Valenciana.
- Topografía de la zona a escala 1:500 de la zona de estudio con una anchura de 30 a 100 m a cada lado de la vía férrea (más de 12 hectáreas). La equidistancia entre curvas de nivel es de 0,5 m. Así mismo, se ha realizado un perfil longitudinal, a lo largo de la vía, a escala 1:500, y un perfil transversal cada 25 m, para completar un total de 81.
- Cartografía geológico-geotécnica: A partir de la información existente, reconocimientos de campo, fotointerpretación de la zona e investigaciones "in situ", se ha elaborado una cartografía geológico-geotécnica a escala 1:1.000 (más de 12 hectáreas) (figura 2.1). De forma complementaria se han realizado perfiles geológico-geotécnicos, 1 longitudinal al terraplén y un total de 14 transversales a la línea férrea.
- Reconocimiento de campo donde se han evaluado los distintos materiales existentes, considerando los siguientes aspectos: Litología, naturaleza, edad, relaciones morfológicas entre unidades, resistencia, agresividad, etc. Posibles zonas de aporte de agua superficial y subterránea, condiciones hidrológicas de los materiales, vías de agua y las zonas de encharcamiento existentes en el área. Puntos singulares en el área de estudio: terrenos blandos, inestables, rellenos antrópicos, etc.

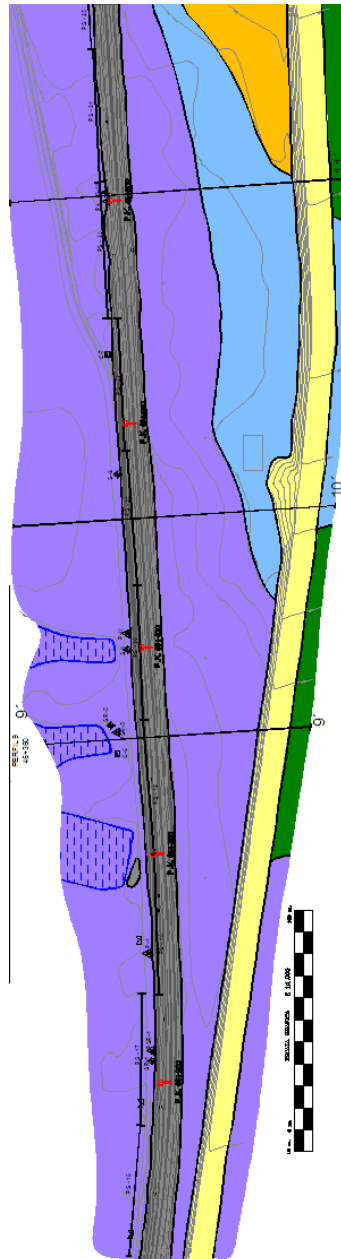


PLANO 1 DE 4

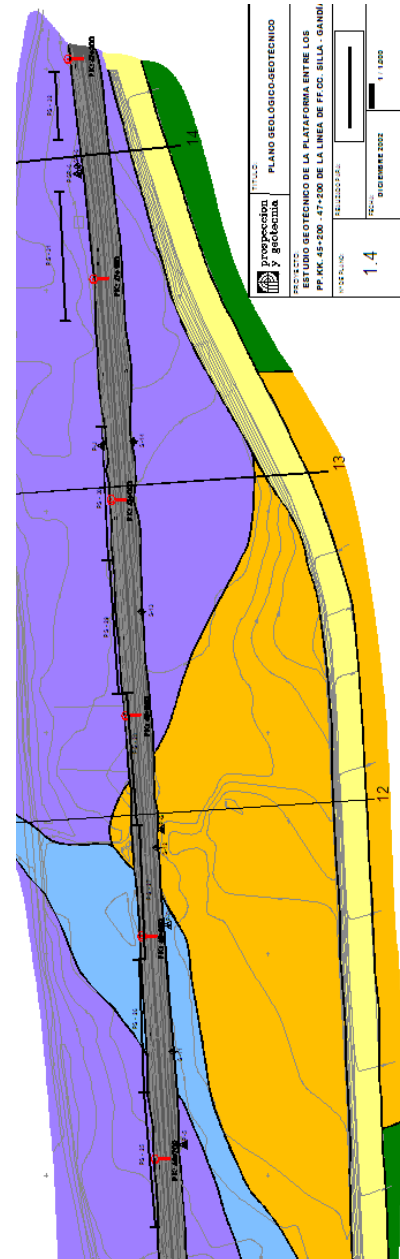


PLANO 2 DE 4

Figura 2.1: Planta geológica de la plataforma donde se observa la situación de las investigaciones realizadas.



PLANO 3 DE 4



PLANO 4 DE 4

TRAMA	FORMACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA	TRAMA	SIMBOLOGÍA
	TIPO VIII A: Rellenos compactados de la carretera nacional N-332	—	Contacto entre formaciones
	TIPO VIII B: Rellenos antrópicos: Escombros, desechos orgánicos e inorgánicos etc.	S-1	Sondeo mecánico
	TIPO VII: Rellenos compactados que forman el terraplén de la línea de FF.CC Silla-Gandía	C-5	Calicata mecánica
	TIPO V: Depósitos orgánicos (turbas, fangos y cienos), sobre depósitos aluviales de albufera	P-6	Penetrómetro dinámico
	TIPO V: Depósitos orgánicos (turbas, fangos y cienos), sobre coluviales	PS-6	Perfil sísmico
	TIPO IV: Depósitos aluviales de albufera. acillas y limos con cantos	35°	Dirección y buzamiento de la esquistosidad principal
	TIPO III: Depósitos coluviales. Gravas con matriz arcillosa		Zona de encharcamiento estacional
	TIPO II: Calizas arenosas, areniscas calcáreas y margas		Zona de embalsamiento de agua
	TIPO I: Calizas y dolomías recristalizadas	PK: 45+700	Punto kilométrico de la línea de FF.CC.

Figura 2.1: Planta geológica de la plataforma donde se observa la situación de las investigaciones realizadas

- **Inventario de los elementos de drenaje, medidas de protección y defectos en la plataforma:** Se ha llevado a cabo una localización detallada de los elementos de drenaje existentes a lo largo del tramo, así como sus dimensiones útiles, su capacidad de drenaje y su estado de conservación. También se han inventariado las medidas de contención y refuerzo del terreno existente en el tramo de estudio (figura 2.5). Se han tomado medidas del espesor de la banqueta de balasto cada 50 m, con el fin de localizar tramos con espesores excepcionales de la misma, los cuales coinciden con las zonas de máximo asiento de la plataforma (figura 2.5). Además se ha recopilado la información de las incidencias ocurridas en el tramo de línea de estudio. Por último se ha llevado a cabo un reconocimiento “in situ” de los defectos (grietas, etc.) que presentan la plataforma y la superestructura ferroviaria.
- **Sondeos mecánicos.** Se realizaron 6 sondeos mecánicos con recuperación de testigo continuo (103,65 m sondeados), con el fin de caracterizar geotécnicamente los materiales, obtener muestras inalteradas, efectuar ensayos “in situ” y realizar medidas piezométricas. Se han tomado 19 muestras inalteradas 26 ensayos de penetración estándar (SPT). Además se ha contado con la información disponible de 10 sondeos realizados por la empresa Geotecnia y Cimientos en el año 1.986, donde se perforaron un total de 162,03 m. En ellos se tomaron un total de 53 muestras para su ensayo en el laboratorio (44 muestras inalteradas y 9 testigos parafinados) y se realizaron un total de 33 ensayos de penetración estándar SPT. A continuación, en el Cuadro 2.2, se presenta la relación de los sondeos, su longitud, situación, toma de muestras y ensayos realizados en cada uno de ellos:

CUADRO 2.2
Sondeos mecánicos

SONDEO (Año)	SITUACIÓN	LONGITUD	MUESTRAS Y ENSAYOS
SR-1 (2.002)	P.K. 45+506. Lado I	16,50 m	4 M.I., 4 S.P.T. y 2 TP
SR-2 (2.002)	P.K. 45+622. Lado D	11,65 m	3 M.I. y 4 S.P.T.
S-6 (1.986)	P.K. 45+800. Lado I	15,30 m	2 M.I., 3 S.P.T y 6 T.P.
S-15 (1.986)	P.K. 45+850. Lado D	7,20 m	Sin toma de muestra.
S-7 (1.986)	P.K. 45+900. Lado I	21,10 m	7 M.I. y 4 S.P.T
SR-3 (2.002)	P.K. 45+953. Lado I	19,00 m	2 M.I, 2 S.P.T y 1 T.P.
SR-4 (2.002)	P.K. 46+210. Lado I	20,00 m	4 M.I., 7 S.P.T. y 3 T.P.
SR-5 (2.002)	P.K. 46+355. Lado I	16,50 m	4 M.I, 4 S.P.T. y 2 T.P.
S-8 (1.986)	P.K. 46+400. Lado I	16,70 m	6 M.I., 3 S.P.T y 1 T.P.
S-9 (1.986)	P.K. 46+480. Lado I	15,00 m	4 M.I., 3 S.P.T y 1 T.P.
S-10 (1.986)	P.K. 46+600. Lado I	21,50 m	9 M.I., 3 S.P.T y 1 T.P.
S-11 (1.986)	P.K. 46+750. Lado D	15,08 m	2 M.I. y 6 S.P.T
S-12 (1.986)	P.K. 46+840. Lado D	15,05 m	3 M.I. y 4 S.P.T
S-13 (1.986)	P.K. 46+950. Lado D	20,00 m	5 M.I., 3 S.P.T y T.P.
S-14 (1.986)	P.K. 47+025. Lado D	15,10 m	5 M.I. y 3 S.P.T
SR-6 (2.002)	P.K. 47+153. Lado I	20,00 m	3 M.I., 5 S.P.T. y 3 T.P.

M.I.: Muestra inalterada

T.P.: Testigo parafinado

S.P.T. Ensayo de penetración estándar

- **Calicatas mecánicas:** Se realizaron un total de 7 calicatas mecánicas, lo que permitió el estudio y la observación directa de las características litológicas y propiedades de los materiales presentes en el sustrato donde se asienta el terraplén. Se tomaron muestras representativas de los materiales para efectuar los correspondientes ensayos de laboratorio. En el Cuadro 2. 4. se representan las principales características de las calicatas realizadas.

CUADRO 2.3.
Calicatas mecánicas

CALICATA	SITUACIÓN	PROFUNDIDAD	OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN
C-1	P.K. 45+335 Lado I	3,20 m	Sustrato donde se apoya el terraplén
C-2	P.K. 45+440. Lado D	--	No realizada por existir una conducción próxima
C-3	P.K. 45+571 Lado I	2,00 m	Sustrato donde se apoya el terraplén
C-4	P.K. 45+608. Lado D	3,00 m	Sustrato donde se apoya el terraplén
C-5	P.K. 45+624. Lado D	3,00 m	Sustrato donde se apoya el terraplén
C-6	P.K. 46+342. Lado I	2,00 m	Sustrato donde se apoya el terraplén
C-7	P.K. 46+530. Lado I	3,00 m	Sustrato donde se apoya el terraplén
C-8	P.K. 47+230. Lado I	3,00 m	Sustrato donde se apoya el terraplén



Aspecto de las turbas en el sondeo S-2

Aspecto de las turbas en el sondeo S-3

Figura 2.2: Ejemplo del material recuperado en los sondeos.



Aspecto de las turbas en la calicata C-6

Calicata C-7. Se inunda de agua rápidamente

Figura 2.3: Ejemplo de calicatas mecánicas excavadas.

- Prospección geofísica: Campaña de sísmica de refracción consistente en la realización de 32 perfiles situados en el margen izquierdo de la vía y que completan un total de 1.890 m de longitud, prácticamente todo el trazado de estudio. Se trata de un perfil sísmico continuo, realizado en secciones correlativas de 60 m. Esta pauta sólo se ha interrumpido en los perfiles PS-31 y PS-32 con inicio en los PP.KK. 47+080 y 47+165 y longitudes respectivas de 60 y 30 m (figura 2.4).

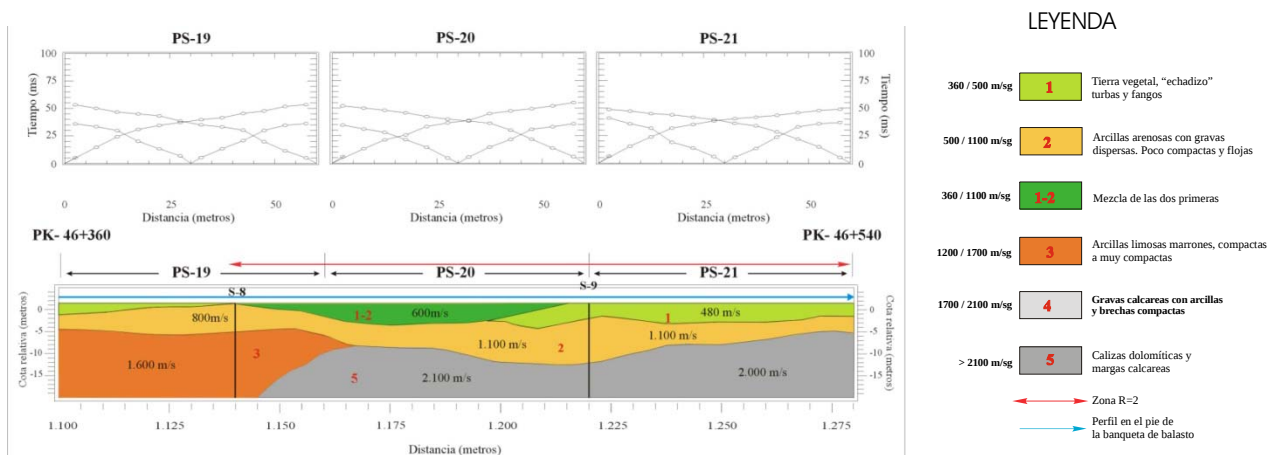


Figura 2.4: Ejemplo de perfil sísmico.

- Ensayos de penetración dinámica (Borros). Se han realizado un total de 14 ensayos de penetración dinámica tipo Borros con profundidad hasta rechazo. La profundidad de rechazo obtenida oscila desde 3,40 m a 15,80 m. Además se cuenta con la información de 7 penetrómetros dinámicos realizados por la empresa Geotecnia y Cimientos en el año 1.986, con profundidades hasta el rechazo desde 2,40 m mínimo hasta 12,30 m máximo. En el cuadro 2.4, se presenta la relación de los penetrómetros dinámicos realizados en ambas campañas y la profundidad de rechazo.

CUADRO 2.4.
Penetrómetros dinámicos

PENETRÓMETRO (Año)	SITUACIÓN	PROFUNDIDAD DE RECHAZO
P-1 (2.002)	P.K. 45+281. Lado I	14,80
P-2 (2.002)	P.K. 45+437. Lado I	6,40 m
PSR-1 (2.002)	P.K. 45+510. Lado I	7,20 m
PSR-2A (2.002)	P.K. 45+611. Lado D	9,60 m
PSR-2B (2.002)	P.K. 45+631. Lado D	6,80 m
P-D (1.986)	P.K. 45+750. Lado I	2,44 m
P-E (1.986)	P.K. 45+850. Lado I	8,02 m
PSR-3 (2.002)	P.K. 45+955. Lado I	10,00 m
P-F (1.986)	P.K. 45+900. (Vía)	8,02 m
P-3 (2.002)	P.K. 46+084. Lado I	7,00 m
PSR-4 (2.002)	P.K. 46+214. Lado I	5,20 m
P-4 (2.002)	P.K. 46+260. Lado I	5,0 m
PSR-5 (2.002)	P.K. 46+355. Lado I	> 15,40 m
P-H (1.986)	P.K. 46+410. Lado I	12,26 m
P-I (1.986)	P.K. 46+595. Lado I	6,30 m
P-5 (2.002)	P.K. 46+707. Lado D	3,80 m
P-6 (2.002)	P.K. 46+805. Lado D	10,20 m
P-G (1.986)	P.K. 46+850. Lado I	2,46 m
P-J (1.986)	P.K. 47+025. Lado I	8,23 m
PSR-6 (2.002)	P.K. 47+150. Lado D	6,80 m
P-7 (2.002)	P.K. 47+225. Lado D	15,80 m

- Estudio pormenorizado de los datos de nivelaciones de vía (según los datos de INECO) entre los P.K. 45+300 al P.K. 47+300 desde el día 13-12-2001 al 13-01-2003, con el fin de localizar los puntos donde la vía presenta los mayores defectos de nivelación, que coinciden con las zonas de mayores hundimientos. De la comparación de los datos se han definido dos tipos de anomalía: por un lado zonas de hundimiento máximo de la vía en términos absolutos (donde la vía se encuentra a una cota topográfica inferior), y por otro zonas de desnivelación máxima tanto en sentido positivo como negativo en el periodo de observación (13-12-2001 al 13-01-2003). Las zonas de hundimiento máximo corresponden a aquellos tramos en los que se han producido mayores asentamientos a lo largo del tiempo y en la actualidad constituyen zonas deprimidas respecto al resto de la vía en el área de estudio. Las zonas de desnivelación máxima son aquellas que han sufrido mayores diferencias de cota en el periodo de observación estudiado (Cuadro 2.4 y figura 2.5).

CUADRO 2.4.
Zonas con anomalías de nivelación

ZONA (P.K.)	ANOMALIA
ZONA 1: P.K.45+300 – 45+520	Desnivelación máxima positiva: + 1,3 cm
ZONA 2: P.K.45+680 – 45+820	Desnivelación máxima positiva: + 2,3 cm
ZONA 3: P.K.45+890 – 46+060	Zona de hundimiento máximo.
ZONA 4: P.K.45+880 – 45+940	Desnivelación máxima positiva: +2,3 cm
ZONA 5: P.K.46+300 – 46+360	Zona de hundimiento máximo.
ZONA 6: P.K.46+380 – 46+400	Desnivelación máxima negativa: – 0,8 cm
ZONA 7: P.K.46+480 – 46+560	Desnivelación máxima negativa: - 0,7 cm
ZONA 8: P.K.46+620 – 46+680	Desnivelación máxima negativa: - 0,9 cm
ZONA 9: P.K.46+700 – 46+820	Desnivelación máxima negativa: - 1,30 cm
ZONA 10: P.K.46+880 – 46+920	Desnivelación máxima negativa: - 1,00 cm
ZONA 11: P.K.47+010 – 47+020	Zona de hundimiento máximo.
ZONA 12: P.K.47+000 – 47+040	Desnivelación máxima negativa: - 1,30 cm
ZONA 13: P.K.47+200 – 47+300	Desnivelación máxima positiva: + 1,00 cm

- Ensayos de laboratorio: A partir de las muestras inalteradas y los testigos parafinados de los sondeos, muestras alteradas de los ensayos SPT, y de las muestras de las calicatas mecánicas, se han llevado a cabo ensayos de laboratorio, con el fin de reconocer y clasificar los materiales, así como determinar sus propiedades geomecánicas. Se cuenta además con la información de los ensayos de laboratorio realizados en el informe de Geotecnia y Cimientos del año 1.986

- Estudio hidrológico e hidrogeológico: dirigido a determinar el comportamiento hidrológico e hidráulico de los depósitos que forman el sustrato, con el fin de valorar la capacidad de drenaje transversal de la infraestructura y analizar la incidencia del agua superficial y subterránea en las propiedades geomecánicas del terreno de apoyo de la infraestructura. Se ha comparado la capacidad de las obras de drenaje existentes respecto a las condiciones hidráulicas del área de estudio.

- Realización de un perfil de síntesis: Se trata de un perfil donde se reflejan los datos más significativos del estudio, (figura 2.5). En dicho perfil se representan los apartados que se describen a continuación: incidencias, nivelaciones, potencia de la banqueta de balasto, características geológico-geotécnicas de los materiales donde se asienta la plataforma, profundidad de rechazo, estado de los drenajes transversales, desperfectos en los elementos de la infraestructura ferroviaria, medidas de protección existentes, Orden de Prioridad de Actuación y etapas de actuación.

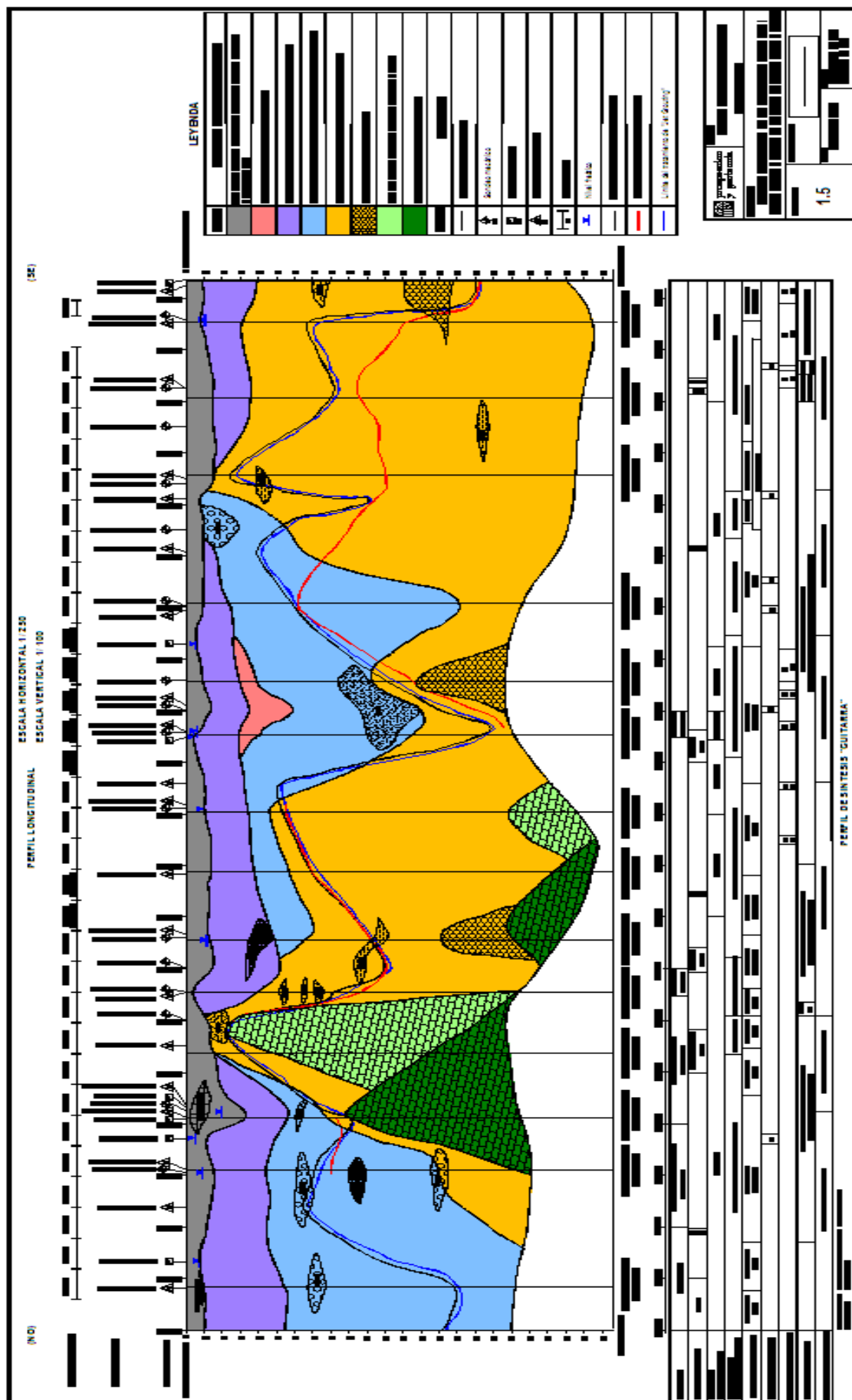


Figura 2.5: Perfil de síntesis longitudinal de la plataforma estudiada

3.- CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

3.1.- ENCUADRE GEOLÓGICO REGIONAL

El área de estudio se enmarca dentro del denominado Domo de Xeraco, que constituye el nudo de articulación de las últimas directrices de la Rama Sur de la Cordillera Ibérica con el Sistema Prebético. Este domo se encuentra surcado por un conjunto de fallas cuyas direcciones preferentes son N160°E, N30°E y N80°E. El salto de estas fallas crece hacia el exterior del domo, hacia la zona de influencia del Triásico (Figura 3.1).

El relieve que forman los tres dominios geológicos regionales, se caracteriza por su interferencia con la costa mediterránea, ya que son cortados por la llanura costera que se encuentra ampliamente desarrollada en esta área.

El área más en detalle se caracteriza por la existencia de materiales del Cretácico, de naturaleza calcárea, a cuyos pies se extienden materiales cuaternarios formando sistemas de glaciares; hacia la costa estos depósitos pasan generalmente a unos materiales mixtos de albufera cerradas por cordones litorales dobles en la mayoría de los casos.

3.2- UNIDADES GEOLOGICO-GEOTÉCNICAS

En la zona de estudio se han diferenciado varias unidades geológico-geotécnicas:

- ❑ Sustrato de edad Cretácico Superior, constituido por materiales calcáreos que afloran a ambos lados de la línea férrea entre los P.K. 45+550 a 45+900 (figura 2.1). Se pueden distinguir dos formaciones una más antigua y otra más moderna.
 - Tipo I: Calizas y dolomías. Cretácico superior (Santoniense).
 - Tipo II: Calizas arenosas, areniscas calcáreas y margas. Cretácico superior (Campaniense).
- ❑ Depósitos Cuaternarios que aparecen al pie del sustrato o recubriéndolo. Geotécnicamente se han definido cuatro tipos de depósito dependiendo de su génesis:
 - Tipo III: Depósitos coluviales procedentes de la denudación de los anteriores relieves. Se encuentran en toda la zona de estudio recubriendo el sustrato cretácico. Están formados litológicamente por arcillas arenosas con cantos, bolos y gravas arcillosas.
 - Tipo IV: Depósitos aluviales que se suelen depositar por encima de los anteriores. Son de origen continental y sus facies se interdigitan con las facies distales de los

anteriores depósitos. Litológicamente compuestos por arcillas limosas y limos arcillo-arenosos. Se disponen normalmente sobre los anteriores depósitos.

- Tipo V: Depósitos orgánicos de albufera. Litológicamente lo forman las turbas típicas de procesos de acumulación de restos vegetales, fangos y cienos con mucho contenido en materia orgánica. Su distribución es continua en el área de estudio sobre las dos formaciones anteriores, excepto entre los P.K. 46+710 al P.K. 46+805 y entre los P.K. 46+670 al P.K. 46+880.
- Tipo VI: Depósitos de arenas derivados de los depósitos de barra litoral Formados por arenas limpias de playa. Se encuentran en un nivel bajo los depósitos orgánicos anteriormente citados, entre los P.K. 46+310 al P.K. 46+550 con un espesor máximo de 6 m.
- Tipo VII: Materiales del relleno compactado que forman el terraplén ferroviario.
- Tipo VIII_A: Rellenos compactados de la carretera N-332.
- Tipo VIII_B: Rellenos antrópicos acumulados a ambos lados de la plataforma.
- Suelos vegetales presentes en el área de estudio.

4.- CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES

A continuación, en el cuadro 4.1 se resumen las características geotécnicas de las unidades diferenciadas en este capítulo, exceptuando los materiales antrópicos.

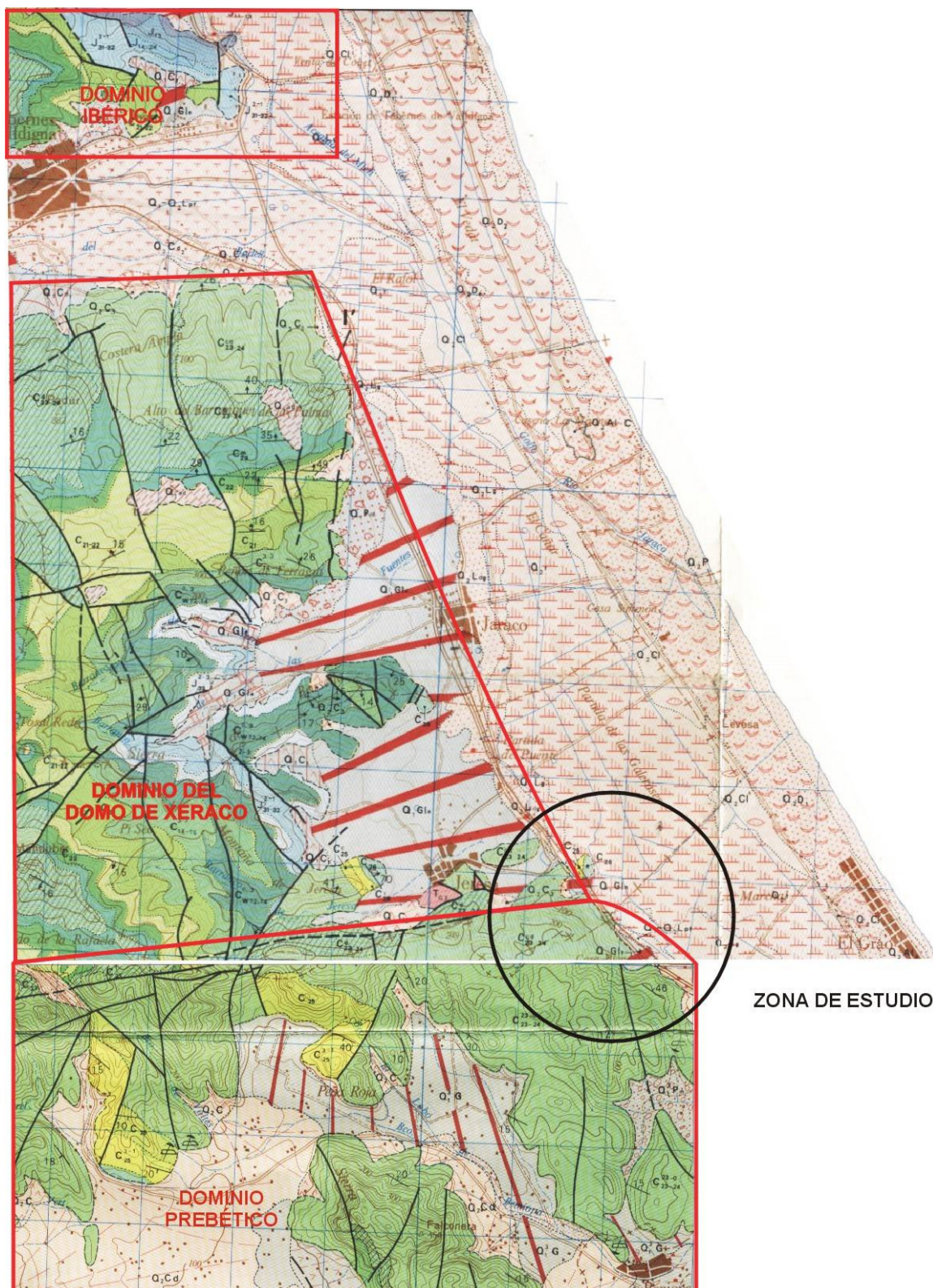


Figura 3.1: Esquema geológico regional.

CUADRO 4.1.
Resumen de las características geotécnicas de los materiales

CARACT. GEOTECN.	UNIDADES GEOLOGICO-GEOTECNICAS							
	DEPOSITOS DEL CRETACICO		MATERIALES CUATERNARIOS				RELLENOS ANTRÓPICOS	
Tipo geotécnico	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV	TIPO V	TIPO VI	TIPO VII)	TIPO VIII
Clasif. U.S.C.S	ROCA	ROCA	GC	CL	MH-CH-PT	SW	SUELO	SUELO
N _{S.P.T}	R	R	< 10 m: 30-35 > 10 m: > 35-R	< 10 m: 20 > 10 m: 25-30	1 - 3	< 10	24 - 26	16-17
Capacidad portante	ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	BAJA
R.C.S (Kg/cm ²)	900 - 1.500	600- 650	= 0,70 – 2,10 (Laboratorio) < 10 m. = 2,5 (Penetro) > 10 m = > 4,0 (Penetro)	= 0,3–2,17 (Laboratorio) < 10 m. = 0,5 –3,4 (Penetro) > 10 m. > 3,5 (Penetro)	0,4	--	--	--
Resistencia al corte.	--	--	--	c' = 0,3 – 0,6 kg/cm ² φ' = 17° – 31°	c' = 0,15–0,25 kg/cm ² φ' = 10°-12°	--	--	--
Velocidad sísmica (km/s)	2,2-2,6	2,2-2,6	1,2 – 1,7	1,5	0,36 – 0,50	0,36 – 0,50	--	0,36 – 0,50
Excavabilidad	RIPAB. VOLAB	RIPAB. VOLAB	EXCAVAB RIPABLE	EXCAVAB.	EXCAVAB.	EXCAVAB.	EXCAVAB.	EXCAVAB.
Permeabilidad	IMPER	IMPER	SEMIPERME PERMEAB	SEMIPERME IMPERMEAB	IMPERMEAB SEMIPERME	MUY PERMEA	SEMIPERME	SEMIPERME

5.- MODELO HIDROGELÓGICO E HIDROLÓGICO

5.1.- MODELO HIDROGELÓGICO

Las características hidrogeológicas de los materiales indican que la zona de estudio constituye un sistema de acuífero libre multicapa, con una potencia variable, dependiendo de la profundidad a la que se encuentre el sustrato Cretácico, pero no superior a los 25 m. Este acuífero lo forman todas las formaciones del cuaternario con permeabilidades distintas en función de la facies que se consideren, pero en general esta permeabilidad se considera media-alta. Normalmente el material se encuentra saturado hasta prácticamente la superficie y presenta un nivel freático con oscilaciones estacionales apreciables.

Litológicamente el acuífero está constituido principalmente por arcillas limo-arenosas con abundantes cantos y en menor medida arenas, gravas y turbas. A pesar de que a escala local, y teniendo en cuenta los posibles cambios en la litología (niveles de arenas, gravas y turbas en las arcillas-limosas), el acuífero superficial es heterogéneo y anisótropo, a escala de conjunto se puede admitir una gran homogeneidad en su comportamiento.

En estos depósitos el agua permanece estancada y el flujo subterráneo es muy escaso, ya que el gradiente hidráulico es mínimo en la llanura de albufera, por encontrarse el nivel del mar prácticamente a la misma cota que en el área de estudio.

El movimiento del agua se produce por lo tanto en sentido vertical, influenciado por las oscilaciones del nivel freático, que pueden ser muy fuertes de épocas invernales a estivales. En el verano el nivel freático desciende no solo por que las precipitaciones en la zona son mucho menores sino, por que además se produce una sobre-explotación del acuífero para el riego. El descenso global del nivel freático puede llegar a ser de 2,00 a 3,00 m e incluso mayor. Entre los PP.KK. 46+340 – 46+400, en el lado izquierdo de la vía, cuando llueve intensamente la zona se encharca e invade la carretera anexa a la vía.

La recarga del acuífero se produce directamente por el aporte de la precipitación en la zona que llega a ser de entre 535 mm a 710 mm media anual. El número de días de precipitación al año es de 40 a 45, de estos días solamente en el 30% de ellos, se producen precipitaciones superiores a 10 mm. Es característico en esta zona que se produzcan lluvias máximas en periodos de tiempo reducidos, ya que, son frecuentes las tormentas (gota fría), especialmente en el Otoño, en las que se pueden recoger más de 100 mm de precipitación en 24 horas, para un periodo de retorno de 5 años. El valor máximo registrado en la zona fue de 370 mm/día en Játiva (Octubre de 1958).

Se estima una permeabilidad para el acuífero libre de alta a media permeabilidad. A partir de los 10 a 12 m de profundidad la permeabilidad debe ser menor, ya que los ensayos de golpeo SPT dan rechazo en la mayoría de las investigaciones realizadas, lo que se traduce en una disminución de la porosidad eficaz y por lo tanto de su permeabilidad.

5.2.- MODELO HIDROLÓGICO

Se ha realizado un cálculo hidrológico por el método de J.R Témez de dos cuencas cuyos aportes hídricos llegan directamente al tramo de estudio. La cuenca 1 intercepta a la vía entre los P.K. 45+200 al P.K. 45+640, mientras que la cuenca 2 intercepta a la vía entre los P.K. 46+660 al P.K. 45+710. Los cálculos realizados permiten conocer los caudales de escorrentía superficial y las infiltraciones que pueden tener lugar para diferentes periodos de retorno considerados en las laderas de dichas cuencas.

A continuación (cuadro 5.1) se muestran los caudales resultantes para los periodos de retorno de 10, 25 y 100 años, para las dos cuencas consideradas.

CUADRO 5.1
Cálculo de caudales de escorrentía

CUENCA	Periodo de retorno (años)	K (m/sg)	Intensidad de precipitación (mm/h)	C	Área (Km ²)	Caudal de escorrentía (m ³ /sg)
CUENCA 1	10	1,032	75,58	0,1601	0,9937	3,44
	25		94,59	0,1629		4,38
	100		102,10	0,1694		4,92
CUENCA 2	10	1,029	64,53	0,1601	0,8379	2,47
	25		81,84	0,1629		3,19
	100		111,76	0,1694		4,53

En el cuadro anterior se observa como el caudal de escorrentía superficial en el tramo comprendido entre P.K. 45+200 al P.K. 45+640 (cuenca 1) para los periodos de retorno considerados es de **Q = 3,44 a 4,92 m³/sg**. Para la cuenca 2 entre los P.K. 46+660 al P.K. 46+710, los caudales de escorrentía obtenidos son de **Q = 2,47 a 4,53 m³/sg**.

Los elementos de drenaje transversal existentes en los tramos de estudio, si bien pueden ser capaces de desalojar los caudales de escorrentía que pueden alcanzarse, difícilmente lo harán debido a la escasa pendiente del terreno junto a la vía. Esto da lugar a muy bajas velocidades de flujo que hacen que la sección de la lámina de agua sea muy importante a pesar de los escasos caudales. Por otro lado, teniendo en cuenta el arrastre de material sólido que transportan habitualmente los cursos de agua en avenidas, es muy probable que se taponen los elementos de drenaje, ya que estos consisten principalmente en tubos de escaso diámetro. Este hecho puede ocasionar embalsamientos de agua en el lado de aguas arriba de la vía.

5.3.- CONCLUSIONES HIDROGEOLÓGICAS E HIDROLÓGICAS

Con los datos disponibles sobre la zona estudiada se puede decir que:

- ❑ Los materiales del área de estudio definen un acuífero libre multicapa de un espesor considerable (hasta 25 m), constituido por materiales cuaternarios de permeabilidad media a alta en general. La permeabilidad del material va disminuyendo en profundidad, a partir de los 10 a 12 m, debido al aumento del grado de compactación del terreno. La formación acuífera está limitada por el sustrato Cretácico constituido por calizas, dolomías, areniscas calcáreas, margas y brechas más o menos cementados, cuya permeabilidad es mas baja (se comporta como un acuicludo).

- ❑ Estacionalmente se producen importantes oscilaciones del nivel freático, que pueden ser muy fuertes de épocas invernales a estivales. El descenso global del nivel freático puede llegar a ser de 2,00 a 3,00 m e incluso mayor.
- ❑ Los elementos de drenaje existentes pueden no ser capaces de desalojar el agua de escorrentía aportada por los barrancos adyacentes a la zona de estudio, por lo que regularmente se producirán inundaciones, que encharquen el área de estudio y en ocasiones excepcionales pueden causar daños en la infraestructura ferroviaria.

6.- CAPACIDAD PORTANTE Y DEFORMABILIDAD DEL TERRENO

Se han realizado análisis y cálculos para determinar la capacidad portante y la deformabilidad de los materiales de apoyo de la infraestructura ferroviaria con métodos clásicos de la práctica geotécnica.

Se han calculado tres supuestos: El primero suponiendo que el terraplén se apoya sobre una capa de depósitos orgánicos (turberas, fangos y cienos). El segundo caso supone el terreno de apoyo formado por los depósitos aluviales de albufera. Por último se considera que el material de apoyo son los depósitos coluviales.

En el cuadro 6.1 se resume la capacidad portante de cada tramo de estudio y la deformabilidad de los materiales en cada caso.

CUADRO 6.1
Resultados de capacidad portante y asientos

ELEMENTOS DE CÁLCULO		MATERIAL DEL SUSTRATO			
		TURBA	ALUVIAL		COLUVIAL
			SIN DRENAJE	CONDICIONES DRENADAS	
CAPACIDAD PORTANTE (kp/cm²)	q _h (bruta)	0,64 – 1,03	0,77 – 6,78	11,48	16,40
	q _{adm} (neta)	0,32 -0,51	0,38 – 3,39	5,74	8,20
ASIENTOS (cm)	SIN DRENAJE	6,28 – 40,39	5,55 – 15,0	8,86	2,20
	CONDICIONES DRENADAS	--	8,86		2,20

La carga de hundimiento en los casos más desfavorables de la capa de turba es superada ampliamente por la carga que ofrece el terraplén y el tráfico ferroviario (estimado en 0,8 kp/cm²), por lo que es posible que en estos casos se puedan producir roturas bajo el cimiento, que creen inestabilidades en los taludes del terraplén (creación de grietas) y provocan que los asientos sean continuos. Bajo la capa de turba la consistencia del material es suficiente para soportar la carga que

impone el terraplén y el tráfico ferroviario, excepto en condiciones puntuales en los depósitos aluviales de albufera donde la carga aplicada supera la carga de hundimiento por lo que también se darían roturas bajo el cimiento.

En lo que se refiere al asiento, si se considera que los depósitos orgánicos (turberas, fangos y cienos), se superponen a los depósitos aluviales de albufera, se pueden llegar a asientos de 55 cm, lo que supone una depresión importante para las desnivelaciones que se producen en la plataforma. Existe una notable diferencia de los asientos estimados a partir de considerar el terreno granular y el obtenido de los datos del edómetro.

Las capas de turberas son muy compresibles y debido a subidas y bajadas del nivel freático, se pueden llegar a dar asientos cíclicos, sin que se llegue a dar un aumento de la resistencia por consolidación. Además, al excederse la tensión de hundimiento de las mismas los asientos continúan produciéndose siempre, ya que las turberas fluyen y escapan de la influencia del terraplén. Esto supone una anomalía en el terraplén y la plataforma muy importantes.

7.- FACTORES DESENCADENANTES DE LOS DAÑOS OBSERVADOS

Los factores cuya influencia representa la causa directa de los daños observados en el terraplén son los que se describen a continuación:

- ❑ **El agua:** En el reconocimiento del terreno ha podido comprobarse que el nivel freático en la actualidad se encuentra muy superficial (entre 0,5 y 1,00 m), saturando todos los depósitos, siendo frecuentes las zonas encharcadas. El agua dentro del acuífero libre sufre descensos del nivel freático muy acusados que llegan a ser de 2,00 a 3,00 e incluso más. Estas oscilaciones pueden producir asientos cíclicos en las turberas sin llegar a aumentar la resistencia por consolidación.
- ❑ **Los caudales de avenida** de los barrancos que desaguan al tramo de estudio son superiores a la capacidad de drenaje de las estructuras existentes, para los periodos de retorno > 10 años. Por el efecto “dique” que produce el terraplén el agua procedente de los barrancos podría, en su proceso de desagüe, causar erosiones importantes en la base de los taludes cuando el agua circule paralelamente a la traza. Por otro lado se produce un aumento de las presiones intersticiales en el lado derecho del terraplén. En los casos más desfavorables (concentración de caudales de avenidas por obstáculos etc.), el agua puede desbordar por encima de la vía, lo que provocaría erosiones y arrastres del material que forma el relleno, (figura 7.1).

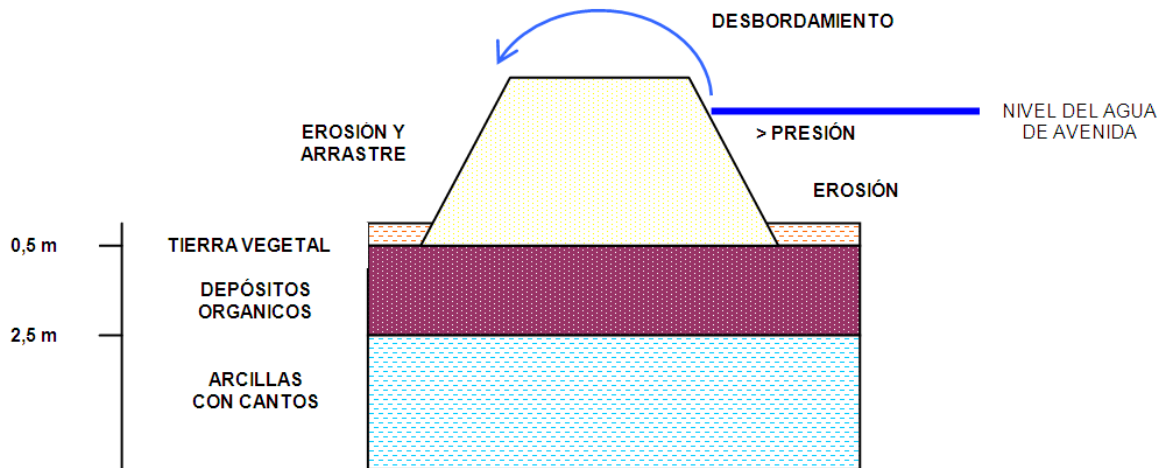


Figura 7.1: Efectos del agua en las inundaciones del terraplén.

- ❑ **Parámetros geotécnicos:** Los asientos que se producen se deben a la alta deformabilidad del estrato superior de turba como consecuencia de su baja capacidad portante, fenómeno agravado por efecto de los sucesivos ciclos estacionales de saturación-secado del terreno (ascensos y descensos del nivel freático). La baja capacidad portante de las turbas da lugar a un hundimiento progresivo de las mismas bajo el peso del terraplén. Las oscilaciones del nivel freático causan un proceso de consolidación con una disminución de volumen importante (descenso del nivel freático) y un proceso de hinchamiento (ascenso del nivel freático) con aumento de volumen. Este fenómeno es cíclico y aunque a “priori”, cuando se produce la consolidación los parámetros geotécnicos del terreno deberían mejorar, con la consiguiente disminución del asiento, este sigue teniendo lugar por la rotura progresiva del terreno bajo el peso del terraplén, (figura 7.2).

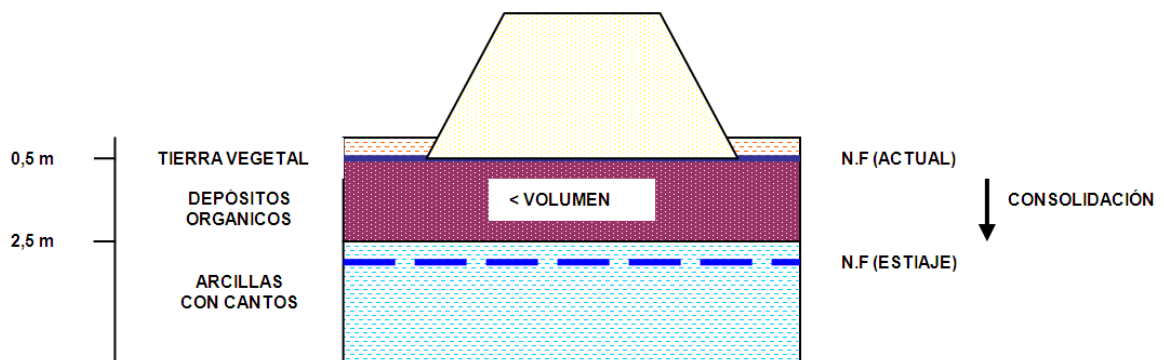


Figura 7.2: Esquema de las oscilaciones estacionales del nivel freático

- ❑ **Sobrecarga en el terraplén:** Para mantener la nivelación de la superestructura ferroviaria, hasta el momento se han venido reponiendo los descensos de la plataforma con continuos aportes de balasto, produciendo un aumento de las cargas sobre la plataforma y sobre el cimiento. Este aumento de tensiones agrava aún más el fenómeno de hundimiento progresivo que sufre los terrenos (turbas) como consecuencia de su baja capacidad portante. El material del terraplén se introduce progresivamente en la turba desplazándola lateralmente. La banqueta de balasto debido a su aumento de peso en algunos puntos, ha agotado la resistencia de la plataforma produciendo un asiento en la misma, lo que por un lado es la causa de las grietas detectadas. Por otro lado el aumento de la carga y del espesor de la banqueta de balasto puede llegar a inestabilizar todo el conjunto produciéndose su colapso. (Figura 7.3).

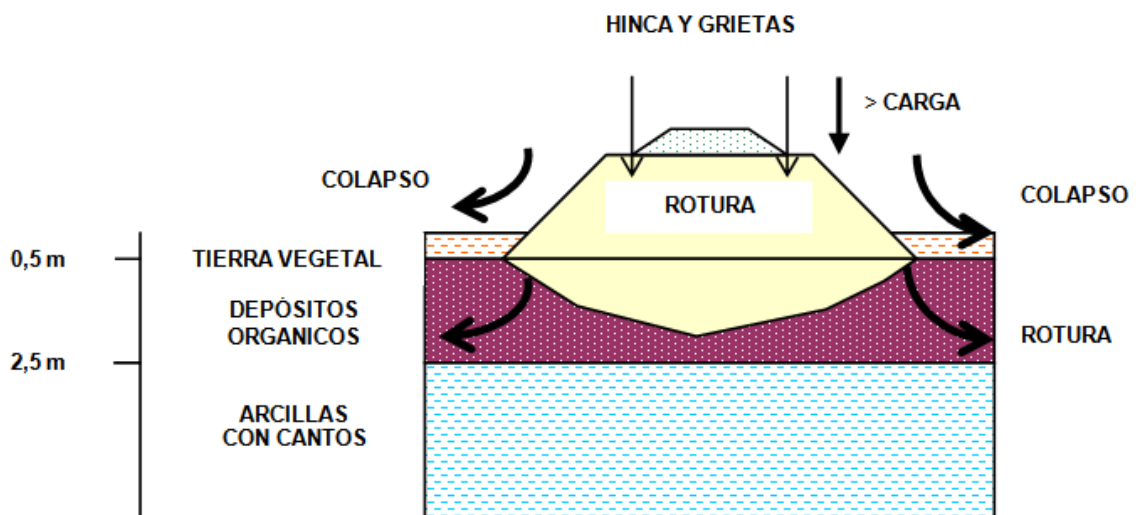


Figura 7.3: Esquema del fenómeno de asiento progresivo que tiene lugar en el terraplén.

- ❑ **Asientos diferenciales:** Otra posible causa de las grietas que se forman en la plataforma del terraplén es la generación de asientos diferenciales en aquellas zonas del terraplén donde se ha sustituido el material del sustrato por 1 m de zahorra artificial, con respecto a las zonas que no tienen esta protección. El aumento de la carga por los aportes de balasto para mantener la nivelación, después del tratamiento del año 1.992, da lugar a que las zonas laterales del terraplén se hundan con respecto al centro, lo que crea un basculamiento de los taludes que se refleja en las grietas longitudinales de la plataforma. (Figura 7.4).

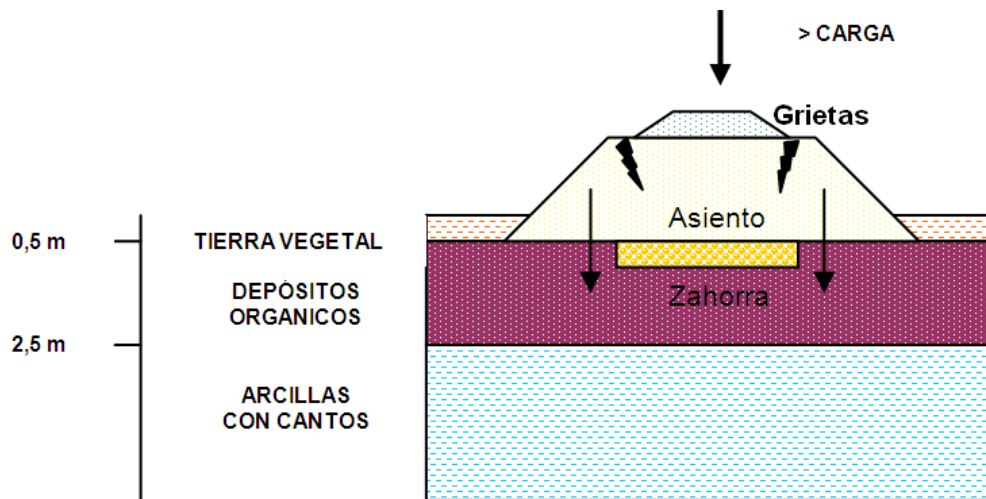


Figura 7.4: Esquema del asiento diferencial que parece generar las grietas longitudinales en el terraplén.

8.- ESTUDIO DE SOLUCIONES

Las actuaciones propuestas para el tratamiento del sustrato donde se apoya el terraplén se enfocan desde dos puntos de vista. Por una parte, es necesario eliminar y sustituir el material más blando que incluye, el espesor de los depósitos orgánicos (turberas, fangos y cienos). En segundo lugar es conveniente dar rigidez a los niveles inferiores blandos mediante inyecciones o técnicas de mejora del terreno, para que el material de sustitución descansa sobre una base rígida. Además entre ambos niveles es necesario que exista algún elemento que ayude al reparto de las tensiones del material sustituido sobre las columnas de inyección, como puede ser una lámina geotextil de alto gramaje. Entre el material sustituido y el terraplén puede instalarse una segunda lámina geotextil.

Las distintas actuaciones a realizar impiden que estas se ejecuten manteniendo el actual tráfico ferroviario de la línea, por lo que es necesaria una variante ferroviaria provisional mientras se realizan las obras.

Las soluciones propuestas se pueden ver en la figura 8.1, cuadro 8.1 y figura 8.2 y sus fases de ejecución son las siguientes:

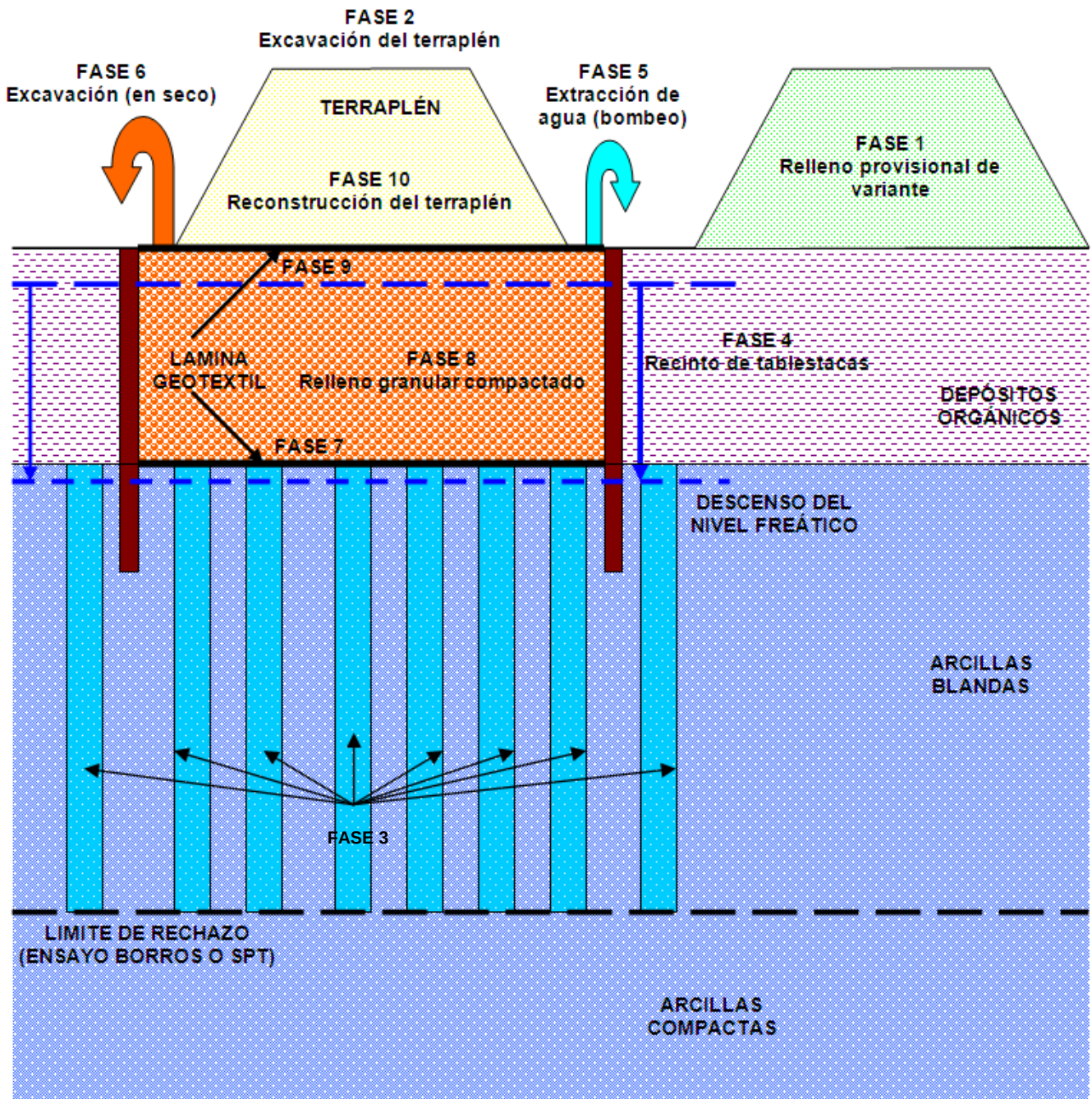


Figura 8.1: Perfil esquemático transversal de las soluciones propuestas

- ✓ FASE 1: Variante ferroviaria provisional.
- ✓ FASE 2: Excavación del material del terraplén.
- ✓ FASE 3: Inyección de mejora del terreno, como columnas de "Jet Grouting" etc.: Se aplicara desde la cota inferior de la capa de turba hasta el límite del rechazo de los ensayos de penetración dinámica Borros y S.P.T.
- ✓ FASE 4: Recinto de tablestacas: Hasta la profundidad de la cota inferior de los depósitos orgánicos (turbas, fangos y cienos) en cada caso, más la longitud de empotramiento necesario.

- ✓ FASE 5: Extracción de agua (bombeo): La excavación del material se debe realizar con poco agua para que el material no sea muy inestable, por lo que habrá que disminuir la cota del nivel freático mediante bombeo u otra técnica similar.
- ✓ FASE 6: Excavación del material inadecuado. El material sobre el que descansa el terraplén objeto de estudio, tiene unas características geotécnicas muy desfavorables, su capacidad portante es muy baja y es muy deformable. El espesor de material en cada tramo se especifica en el cuadro 8.1 y figura 8.2.
- ✓ FASE 7: Primera lamina impermeabilizante geotextil: Tras la excavación en el fondo de la misma se extenderá una lámina geotextil, con el fin de evitar el arrastre de finos y otros materiales que pudieran contaminar el relleno compactado de sustitución.
- ✓ FASE 8: Relleno granular compactado: Tras la instalación de la lámina geotextil se procederá al relleno del recinto excavado.
- ✓ FASE 9: Segunda lamina impermeabilizante geotextil. Sobre el relleno compactado y en la superficie del terreno.
- ✓ FASE 10: Reconstrucción del terraplén. fase final de reconstrucción

Con el fin de establecer una prioridad a la hora de aplicar los tratamientos expuestos anteriormente, se ha definido el Orden de Prioridad de Actuación, en base a los siguientes criterios:

1. Condiciones geológico-geotécnicas del sustrato.
2. Incidencias ocurridas en el tramo de vía.
3. Datos de nivelaciones desfavorables.
4. Potencia de albaneta de balasto.
5. Presencia de daños en las obras de drenaje o en la infraestructura ferroviaria.

En función de este análisis de prioridad, se clasifica:

- O.P.A: 0 - Aplicación de tareas de reparación a largo plazo.
- O.P.A: 1 - Aplicación de tareas de reparación a medio - largo plazo.
- O.P.A: 2 - Aplicación de tareas de reparación a medio plazo.
- O.P.A: 3 - Aplicación de tareas de reparación a corto plazo.

Con la aplicación del Orden de Prioridad de Actuación, se han establecido una serie de etapas para la planificación de las actuaciones.

Las distintas etapas en las que se propone se lleven a cabo las actuaciones y su correspondiente Orden de Prioridad de Actuación (O.P.A.) se pueden ver en el cuadro 8.1 del apartado anterior.

CUADRO 8.1

O.P.A. de los tramos considerados, etapas de actuación y espesores de tratamiento

TRAMO	O.P.A	ETAPAS DE ACTUACIÓN	ESPESOR DE EXCAVACIÓN Y SUSTITUCIÓN (*)	PROFUNDIDAD DE LAS INYECCIONES O MEJORA DEL TERRENO (**)
P.K. 45+200 – 45+625	2	ETAPA 4	4,50 a 5,50 m Suelos vegetales rellenos, antrópicos y turbas, cienos y fangos	P.K. 45+200 a P.K. 45+320. 4,00 a 9,00 m P.K.45+320 a P.K. 45+625. 2,00 a 4,00 m
P.K.45+625 – 45+810	1	ETAPA 6	P.K. 45+625 – P.K. 45+720 1,50 A 5,50 m de suelos vegetales rellenos antrópicos y turbas, cienos y fangos P.K. 45+720 – P.K. 45+810 1,00 A 1,50 m. Suelos vegetales, rellenos antrópicos	P.K.45+625 a P.K. 45+810. 1,00 a 4,00 m
P.K.45+810 – 46+260	3	ETAPA 1	3,00 a 5,00 m Suelos vegetales rellenos, antrópicos y turbas, cienos y fangos	P.K. 45+810 a P.K. 46+080. 4,00 a 6,00 m P.K. 46+080 a P.K. 46+260. 2,00 a 5,00 m
P.K.46+260 – 46+725	3	ETAPA 2	P.K. 46+260 – P.K. 46+315 3,00 a 5,00 m Suelos vegetales rellenos, antrópicos y turbas, cienos y fangos P.K. 46+315 – P.K. 46+725 1,00 a 3,00 m Suelos vegetales rellenos, antrópicos y turbas, cienos y fangos	P.K. 46+260 a P.K. 46+285. 2,00 a 5,00 m P.K. 46+285 a P.K. 46+530. 5,00 a 14,00 m P.K. 46+530 a P.K. 46+725. 2,00 a 5,00 m
P.K.46+725 – 46+885	2	ETAPA 5	1,00 a 1,50 m Suelos vegetales y rellenos, antrópicos	P.K. 46+725 a P.K. 46+775. 2,00 a 5,00 m P.K. 46+775 a P.K. 46+825. 5,00 a 9,00 m P.K. 46+825 a P.K. 46+885. Columnas de 1,00 a 3,00 m
P.K.46+885 – 47+230	3	ETAPA 3	1,50 a 4,00 m Suelos vegetales rellenos, antrópicos y turbas, cienos y fangos	P.K. 46+885 a P.K. 46+925 1,00 a 3,00 m P.K. 46+925 a P.K. 47+160. 2,00 a 4,50 m P.K. 47+160 a P.K. 47+230. 3,50 a 12,00 m

(*) Coincide con el espesor de los depósitos de turba + espesor de suelo vegetal + rellenos antrópicos

(**) Espesor de terreno comprendido entre la base de los depósitos de turba y la profundidad de rechazo de los ensayos de penetración dinámica SPT y Borros

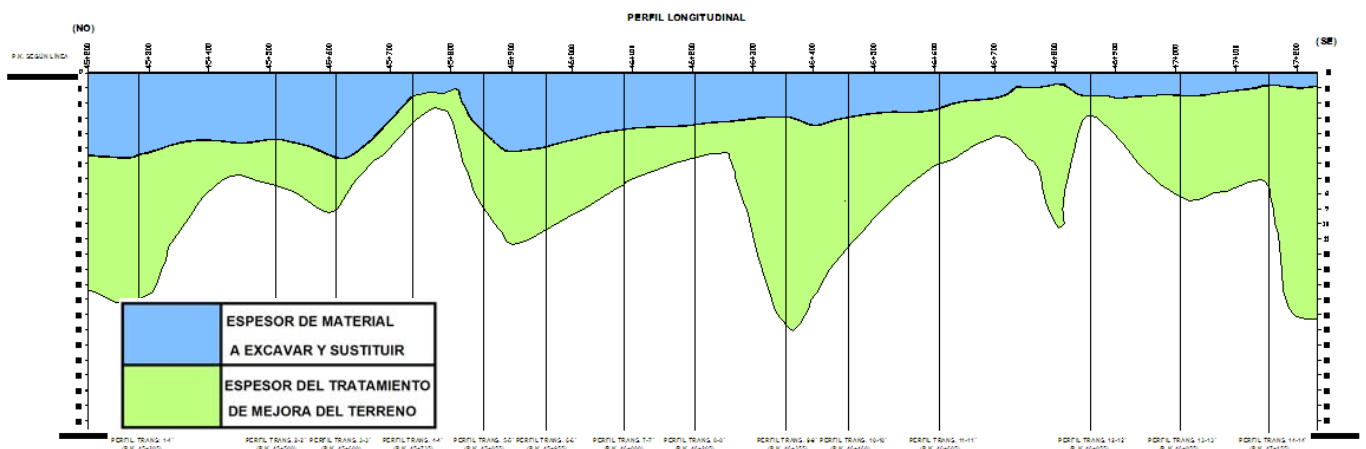


Figura 8.2: Perfil longitudinal de los materiales a excavar y sustituir, bajo el pie del terraplén y alcance de mejora del terreno.

Hasta el momento (entre febrero de 2009 y abril de 2010) se ha tratado el tramo comprendido entre los PP.KK. 46+200 a 46+680 con la instalación de bulones autoperforantes y posteriormente inyecciones por la cabeza de una mezcla de resina – catalizador, (etapa 2) en el propio terraplén.

Para el seguimiento de la efectividad de estas obras se han colocado bases de nivelación, efectuando comprobaciones geométricas cada 10 m en ambos carriles entre los PP.KK. 46+200 a 46+700. Con los datos obtenidos hasta el momento no se han podido sacar conclusiones de la efectividad de las inyecciones.

9.- CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio, permiten llegar a conocer la disposición geológica de los materiales sobre los que apoya el terraplén de la Línea de F.C. Silla-Gandía entre los P.K. 45+200 y 47+200. Así mismo se han estudiado los parámetros geotécnicos y propiedades geomecánicas de los materiales, así como su comportamiento frente a las solicitaciones propias de la infraestructura ferroviaria, valorándose las distintas actuaciones posibles para el tratamiento del terreno de cimentación del terraplén. De entre ellas se diferencia la que tiene una mejor relación técnico-económica y además es compatible con las condiciones de tráfico ferroviario de la línea de ferrocarril.

Como consecuencia de los trabajos realizados se concluye:

- ❑ El terreno natural sobre el que apoya el terraplén estudiado está constituido en superficie bajo el suelo vegetal por rellenos antrópicos y sobre todo por depósitos orgánicos (principalmente turbas) hasta 3-4 m de profundidad. Bajo ellas se encuentran depósitos aluviales y coluviales hasta una profundidad media de 25 m. A partir de esta profundidad media se encuentran rocas carbonáticas del cretácico, las cuales constituyen el sustrato rocoso.
- ❑ Los materiales del área de estudio definen un acuífero libre multicapa de un espesor considerable (hasta 25 m), constituido por materiales cuaternarios de permeabilidad media a alta. La permeabilidad del material va disminuyendo en profundidad, a partir de los 10 a 12 m, debido al aumento del grado de compactación del terreno. La formación acuífera está limitada por el sustrato Cretácico.
- ❑ Estacionalmente se producen importantes oscilaciones del nivel freático, que pueden ser muy fuertes de épocas invernales a estivales. El descenso global del nivel freático puede llegar a ser de 2,00 - 3,00 m e incluso mayor.

- ❑ Los elementos de drenaje existentes pueden no ser capaces de desalojar el agua de escorrentía aportado por los barrancos adyacentes a la zona de estudio, por lo que regularmente se producirán inundaciones que encharquen el tramo de línea de estudio, y en ocasiones excepcionales, pueden causar daños en la infraestructura ferroviaria.
- ❑ En cuanto a la capacidad portante del terreno de cimentación, las turbas sobre las que apoya el terraplén son depósitos muy blandos y compresibles, con muy escasa capacidad portante, con una carga admisible que toma valores mínimos de $0,32 \text{ kp/cm}^2$ y máximos de $0,51 \text{ kp/cm}^2$. De hecho la tensión transmitida por el terraplén ($0,8 \text{ kp/cm}^2$), a pesar de ser escasa, excede la tensión de hundimiento de las turbas, lo que da lugar a la rotura del terreno, resultando un asiento continuo. En los depósitos aluviales la resistencia del terreno es escasa, pero sólo muy puntualmente se puede exceder su capacidad portante. Por otro lado en los depósitos coluviales, la resistencia del terreno es mayor y no se excede su capacidad portante.
- ❑ La escasa capacidad portante de las turbas origina un gran número de daños en la infraestructura y superestructura ferroviaria. Entre ellos destacan los continuos defectos de nivelación y alineación de las vías, que obligan a un intenso mantenimiento, la limitación de velocidad existente a 80 km/h , la rotura de elementos de drenaje y obras anexas, inclinación de postes de la catenaria, baches al paso de los trenes, rotura de traviesas y fijaciones, grietas en el terraplén, etc.
- ❑ Las actuaciones propuestas para el tratamiento del sustrato donde se apoya el terraplén se enfocan desde dos puntos de vista. Por una parte es necesario eliminar y sustituir el material más blando, que incluye, el espesor de tierra vegetal, los rellenos antrópicos y los depósitos orgánicos (turbas, fangos y cienos). En segundo lugar es conveniente dar rigidez a los niveles inferiores blandos mediante inyecciones de otras técnicas de mejora del terreno, para que el material de sustitución descansa sobre una base rígida. Además entre ambos niveles es necesario que exista algún elemento que ayude al reparto de las tensiones del material sustituido sobre el terreno mejorado, como puede ser una lámina geotextil de alto gramaje. Entre el material sustituido y el terraplén puede instalarse una segunda lámina geotextil.
- ❑ Debido a las exigencias técnicas de las distintas actuaciones a realizar, no se puede mantener el actual tráfico ferroviario de la línea, por lo que es necesaria la construcción de una variante ferroviaria provisional durante el tiempo de ejecución de las obras. Dicha variante se definirá con exactitud en la fase de proyecto.

- ❑ Las actuaciones propuestas se pueden llevar a cabo en varias etapas sucesivas (hasta 6 etapas) en función de su orden de prioridad de actuación.
- ❑ Entre los años 2009 y 2010 se han realizado inyecciones de resina – catalizador mediante la instalación de bulones autoperforantes entre los PP.KK: 46+200 a 46+550.
- ❑ Se han colocado bases de nivelación geométrica, para la comprobación de la eficacia de las anteriores medidas, sin que hasta el momento se hayan podido sacar conclusiones.