

PONENCIA: TRATAMIENTO Y CONSOLIDACIÓN DE TERRAPLENES AFECTADOS POR INCLEMENCIAS METEOROLÓGICAS.

JORNADA TÉCNICA SOBRE EXPERIENCIAS RECIENTES EN ESTRUCTURAS DE TIERRA PARA INFRAESTRUCTURAS VIARIAS. Madrid, 2011

Illán Paniagua Serrano.

Dr. en Geología.

Ines Ingenieros Consultores

ips@inesingenieros.com

Resumen: Con esta ponencia se pretende incidir en los problemas derivados de las inclemencias meteorológicas en el mantenimiento de las obras de tierra de la línea convencional ferroviaria. Tras una introducción general sobre estos terraplenes y las afecciones por inclemencias meteorológicas que sufren, se expone el caso particular del terraplén situado entre los PP.KK 150/800 - 151/100 de la línea de Alcázar de San Juan a Sevilla tras las inundaciones sufridas en la localidad de Alcázar de San Juan (Ciudad Real) los días 23, 24 y 25 de mayo de 2007. El ejemplo ilustra la magnitud de los procesos a los se expone la infraestructura, así como el alcance y procedimiento de los tratamientos de rehabilitación y mejora seguido por la administración gestora de estas estructuras.

1-Introducción

Las condiciones anómalas que conllevan las inclemencias meteorológicas se traducen en procesos de deterioro en los terraplenes, de tal intensidad en algunos casos, que producen daños capaces de interrumpir el tráfico ferroviario.

La magnitud de los daños está determinada por la interacción entre las características particulares de la obra de tierra y el aporte inusual de agua, capaz de modificar el estado tensional del conjunto de la obra de tierras ya sea, en general, como agente erosivo, modificador del comportamiento reológico de los materiales constitutivos, o aportando sobrepresiones por acumulaciones de agua, que en mayor o menor medida desencadenan la inestabilidad y el fallo de la estructura.

En este sentido, para poder entender este tipo de incidencias, debe considerarse las singularidades de los terraplenes ferroviarios de la red convencional y la coyuntura a la que se encuentran sometidos.

Los terraplenes de la red ferroviaria convencional son obras de tierra proyectados y construidos con criterios notablemente diferentes a los aplicados actualmente. Se trata de obras de tierra con una edad comprendida entre la segunda mitad del siglo XIX y comienzos del siglo XX.

Para entender las peculiaridades de estas estructuras es necesario destacar que:

- Son obras de tierra en general consolidadas al llevar más de 100 años en servicio. Por otra parte, se trata de obras de tierra que no cumplen la normativa requerida actualmente pero que dada su supervivencia a lo largo del tiempo y a las políticas de mantenimiento de su gestor, garantizan el servicio del tráfico ferroviario en unas condiciones adecuadas.
- Han sufrido intervenciones-modificaciones menores: recrecidos mediante adosados laterales, reparaciones puntuales, etc, sin un criterio único, sino en función de las circunstancias de cada época y según iba requiriendo las nuevas condiciones de explotación del tráfico ferroviario.
- Las obras de drenaje transversal están dimensionadas para periodos de retorno que difieren de lo solicitado en obras lineales actuales. En general las condiciones de diseño contemplan periodos de retorno que apenas llegan a los 50 años en la mayoría de los casos. Del mismo modo se destaca que en el cálculo original se consideran cuencas hidrográficas que tras más de 100 años de existencia han sido considerablemente modificadas por interferencia con otras obras lineales, además, también se han producido transformaciones importantes en los usos de suelo y, por tanto, en los coeficientes de escorrentía.
- Las obras de fábrica que han de drenar estas estructuras, están ejecutadas con fábricas que en algunos casos, en base a su comportamiento durable, han superado su vida útil o han perdido considerablemente sus propiedades resistentes.

Considerando estos terraplenes ferroviarios como estructuras consolidadas sin problemas derivados del terreno soporte, se puede apuntar el aumento inusual de agua como el principal agente desestabilizador, ya sea por las sobrecargas, removilizaciones, socavaciones y lavados, todos ellos derivados de la obstrucción de la obra de drenaje (fallo o falta de dimensionamiento del ésta) o por la formación de corrientes de agua de alto poder erosivo. Estos fenómenos modifican las condiciones de equilibrio que conducen a la inestabilidad y a la adopción de nuevas condiciones de equilibrio por parte de la obra de tierra.

En este contexto, puede indicarse que en los últimos 3-4 años, se producen de 2 a 3 incidencias anuales por inclemencias meteorológicas capaces de interrumpir el tráfico ferroviario.

La forma de proceder de la Dirección Ejecutiva de Red Convencional, Dirección de Ingeniería, Gerencia de Infraestructura consisten en la reparación de urgencia para recuperar el servicio ferroviario con limitación de velocidad y, una vez establecida la circulación, la redacción de un proyecto de segunda intervención para garantizar la puesta en servicio en las condiciones iniciales o mejoradas con la máxima seguridad para el tráfico ferroviario.

Las puntualizaciones expuestas se ilustran de manera más eficiente mediante la descripción de un caso real, concretamente, con la incidencia que tuvo lugar el 24 de mayo de 2007 en el terraplén entre los PP.KK 150/800 - 151/100 de la Línea De Alcázar de San Juan- Sevilla.

2- Línea Alcázar de San Juan – Sevilla. Terraplén situado entre los PP.KK 150/800 - 151/100.

2.1- DESCRIPCIÓN DEL TRAMO

El terraplén está ubicado en la línea de Alcázar de San Juan - Sevilla, entre las estaciones de Alcázar de San Juan (P.K. 148/095) y de Marañón (P.K. 164/167), provincia de Ciudad Real, en el término municipal de Alcázar de San Juan.

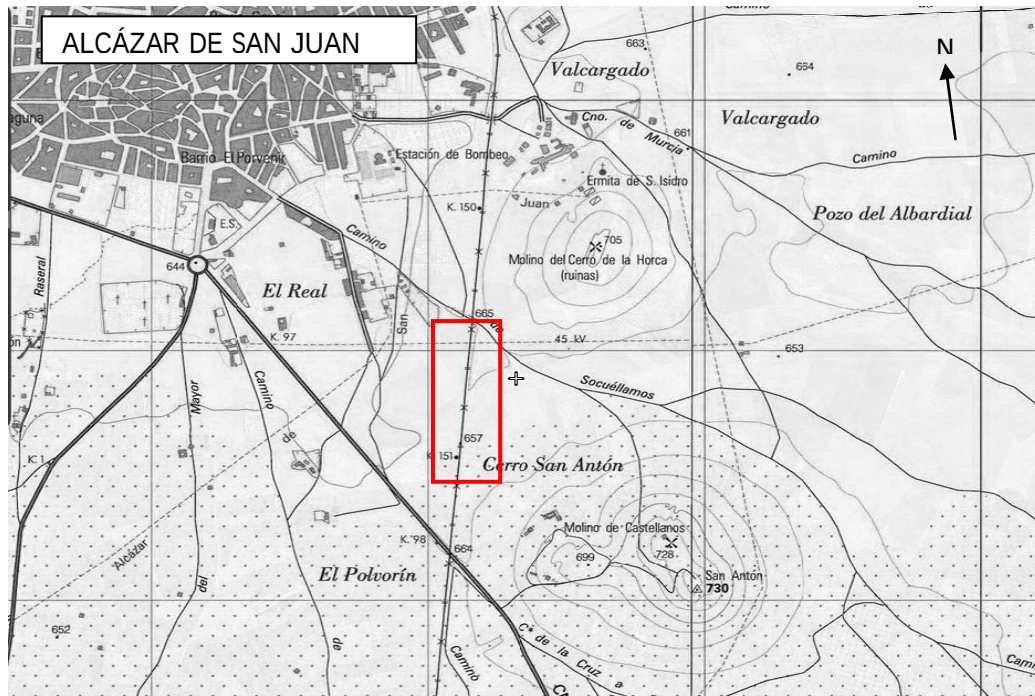


Figura nº 1. Ubicación del tramo Alcázar de San Juan-Sevilla P.K. 150/800-P.K. 151/100. Modificado de SIGPAC.

La infraestructura se orienta aproximadamente en dirección N5°E, separando a la izquierda una pequeña vaguada de topografía muy suave en la que la escorrentía superficial tiende a atravesar la traza ferroviaria de izquierda a derecha.

Presenta una longitud de 300 m, de traza recta con doble vía electrificada y en alzado sin pendiente. Las traviesas eran de hormigón monobloque con sujeciones a los raíles tipo Pandroll. La banqueta de balasto alcanzaba una altura entre 0,60 y 0,70 m, disponiendo de paseos de servicio en ambos márgenes mal definidos por el derrame de balasto. La velocidad de tramo, previo al 24 de mayo, era de 120 Km/h.

La altura máxima de terraplén es de 8-9 m en su parte central coincidiendo con la obra de drenaje. Ambos taludes presentaban una inclinación de 35° a 40° y en ellos enraizaba ampliamente vegetación herbácea y de forma dispersa especies arbustivas.

El terraplén estaba constituido por un conjunto heterogéneo de materiales, principalmente bloques, cantos, finos, escoria y carbonilla.

La obra de drenaje, situada en el P.K. 150/920 y constituida por una tajea de aparejo de ladrillo rematada en sillería caliza con bóveda semicircular de 1,5 m de luz y unos 2 m de altura, se encontraba en buen estado.

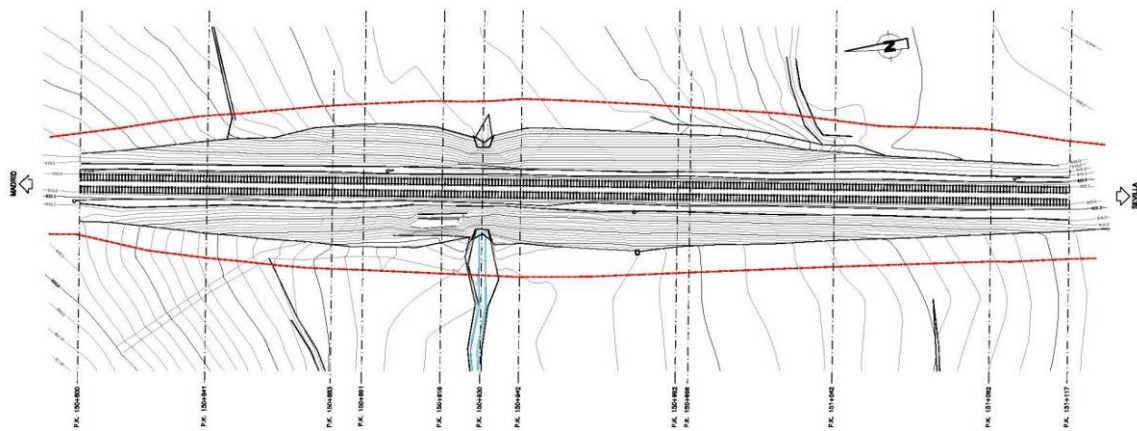


Figura nº 2. Planta General sin escala.

2.2- INCIDENCIA Y PRIMERA INTERVENCIÓN

Durante los días 20 y 25 de mayo de 2007 se produjeron precipitaciones muy intensas en la Comunidad de Castilla-La Mancha, que anegaron tierras de cultivo y poblaciones. Entre la tarde del 23 y la madrugada del 24, una tormenta y una riada inundaron parte de la población de Alcázar de San Juan cortando la comunicación por ferrocarril debido al estado de la infraestructura.

La tormenta descargó más de 200 l/m² en el área. Según AEMET, la máxima intensidad de precipitación se registró en Alameda de Cervera (pedanía de Alcázar de San Juan), donde se recogieron 240 litros durante 24 horas, fenómeno que supera ampliamente el periodo de retorno de los 500 años.



Figura nº 3. Estación de RENFE de Alcázar de San Juan y carretera Quintanar de la Orden a Alcázar de San Juan, a su paso por Miguel Esteban (Toledo). Día 23 de mayo de 2007, Fuente wordpress.com.

En la fecha indicada, las precipitaciones en la cuenca, aguas arriba, derivaron en que el terraplén ferroviario objeto de intervención, al superar ampliamente su capacidad de drenaje, llegase a funcionar como una presa de materiales sueltos. La lámina de agua en la margen izquierda llegó a superar la coronación del terraplén pero no superó la superestructura ferroviaria. Gran parte de la escorrentía quedó represada por el terraplén mitigando el alcance de las inundaciones en la localidad de Alcázar de San Juan.

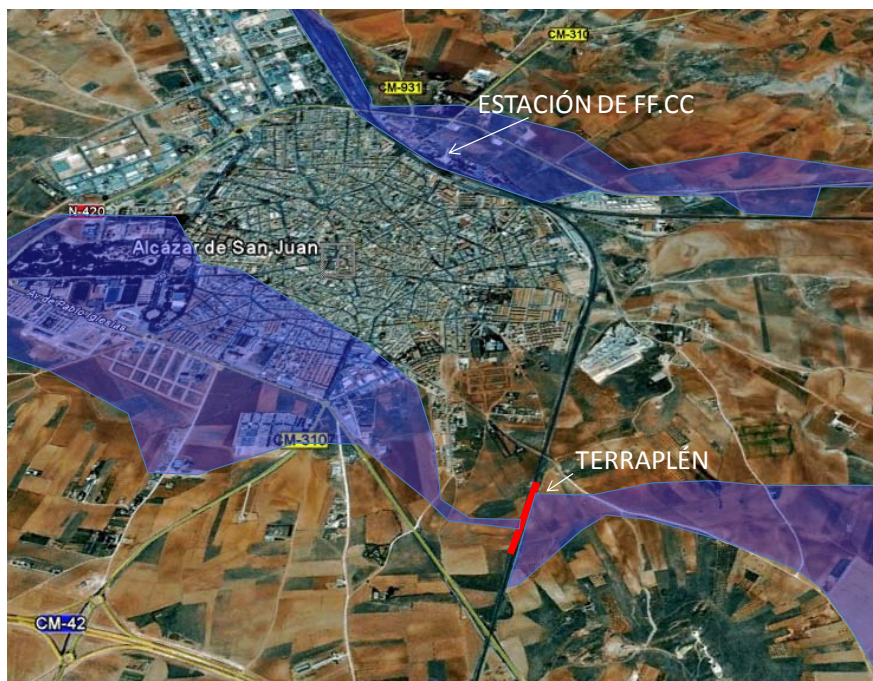


Figura nº 4. Alcázar de San Juan, Zonas aproximadas de inundación el 24 de Mayo de 2007. Fuente wordpress.com.

Como consecuencia de este suceso se produjeron una serie de transformaciones y daños en la infraestructura ferroviaria que desencadenaron dos grandes deslizamientos en la margen derecha y pequeños lóbulos de derrame con grietas de deslizamiento en la cabecera del talud izquierdo. La capacidad de contención del terraplén estuvo a punto de ser rebasada. La combinación de los deslizamientos con los ciclo de saturación / desaturación, el lavado de finos del cuerpo del terraplén y las reptaciones acaecidas se tradujeron en asientos y deformaciones en vía que impedían la seguridad del tránsito ferroviario.

A última hora del día 24, una vez finalizadas las lluvias, la Delegación de Mantenimiento de Líneas Sur y Jefatura de Mantenimiento de Linares-Baeza y la Dirección de Ingeniería de Mantenimiento de ADIF optaron por la aplicación de medidas provisionales que permitiesen el restablecimiento del tráfico ferroviario lo antes posible. Éstas correspondieron al relleno de las superficies de deslizamiento con escollera, seguida de las labores de bateo y nivelación de ambas vías.



Figura nº 5. Vista de la margen izquierda del terraplén en distintas fases. Primera hora del día 24 de mayo de 2007, última hora del 24 de mayo de 2007, día 27 de mayo de 2007 y junio de 2010, respectivamente.

El tráfico ferroviario fue parcialmente restablecido en la vía por tres días después (27 de mayo) permitiendo el tránsito sin superar la velocidad de 20 km/h. Ambas vías quedaron en servicio aumentando sistemáticamente, bajo supervisión, la velocidad de circulación hasta alcanzar, tres meses después, una velocidad de tránsito de 60 km/h. La velocidad del tramo no fue restablecida hasta la ejecución de la obra de tratamiento y consolidación en junio de 2010.

2.3 ESTUDIOS PREVIOS AL PROYECTO DE 2ª INTERVENCIÓN

En junio de 2007, la Jefatura de Control de Materiales y Prospecciones de ADIF encarga a TISER, S.L. la realización del “Estudio Geotécnico del terraplén situado entre los PP.KK. 150+820 y 151+100 de la línea Madrid - Sevilla”. El principal objetivo de este estudio es la realización de un reconocimiento de las características geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas y geotécnicas del terraplén y su entorno inmediato que sirvieran de base para la redacción de un proyecto de segunda intervención con las soluciones necesarias para restablecer el tráfico ferroviario a las condiciones previas al incidente.

La campaña de prospección geotécnica comprendió los siguientes trabajos de campo:

- 2 sondeos mecánicos a rotación.
- 8 ensayos de penetración dinámica tipo Borros.
- 2 ensayos Lefranc.
- 3 perfiles sísmicos longitudinales a la traza.
- Instalación y seguimiento de 2 extensómetros de varillas en el terraplén.
- Realización de seguimiento topográfico de la vía y terraplén.

Estos trabajos permitieron definir dos unidades geotécnicas cuyas características se resumen a continuación:

- CUERPO DEL TERRAPLÉN: Relleno heterogéneo formado por bloques, cantos, arenas, finos, escoria y carbonilla. Granulométricamente de gran heterogeneidad predominando los términos GM y CL. Se determinó un grado de consolidación bajo, presentando un golpeo en los ensayos SPT entre 0 y 8, con valores de densidad inferiores a $1,5 \text{ kg/cm}^2$ en materiales potencialmente colapsables y moderadamente expansivos. En conjunto respondía a un material no compactado de permeabilidad media.
- SUSTRATO: Se describe en profundidad por uno o dos metros de material arcilloso, apoyado sobre una alternancia triásica de arcillas arenosas, limolitas y niveles calcáreos. Granulométricamente se clasifican como arcillas de baja plasticidad arenosas (CL) de consistencia firme, con una resistencia a compresión simple de $1,3 \text{ kg/cm}^2$ y un porcentaje de deformación bajo, del 2%. Se caracterizaron como suelos arcilloso-limosos, prácticamente impermeable duros, no colapsables ni expansivos.

Las principales conclusiones obtenidas sobre la influencia de las precipitaciones en el tramo ferroviario estudiado fueron:

- La extensión de la cuenca que afecta a la zona es de $0,81 \text{ km}^2$.
- La precipitación diaria anual es del orden de 35 mm.
- El caudal máximo esperado en una avenida para la cuenca de drenaje del terraplén es de $1,304 \text{ m}^3/\text{s}$, $1,930 \text{ m}^3/\text{s}$, $2,635 \text{ m}^3/\text{s}$, $3,510 \text{ m}^3/\text{s}$ y $4,791 \text{ m}^3/\text{s}$ para periodos de retorno de 25, 50, 100, 200 y 500 años respectivamente. Para lluvias excepcionales de 250 mm/día (como las del 24 de mayo de 2007) se obtiene un caudal de $22,613 \text{ m}^3/\text{s}$.

En cuanto a la instrumentación y control del terraplén, durante el periodo de seguimiento, se observaron asentamientos puntuales que desaconsejaron aumentar la velocidad de circulación en el tramo.

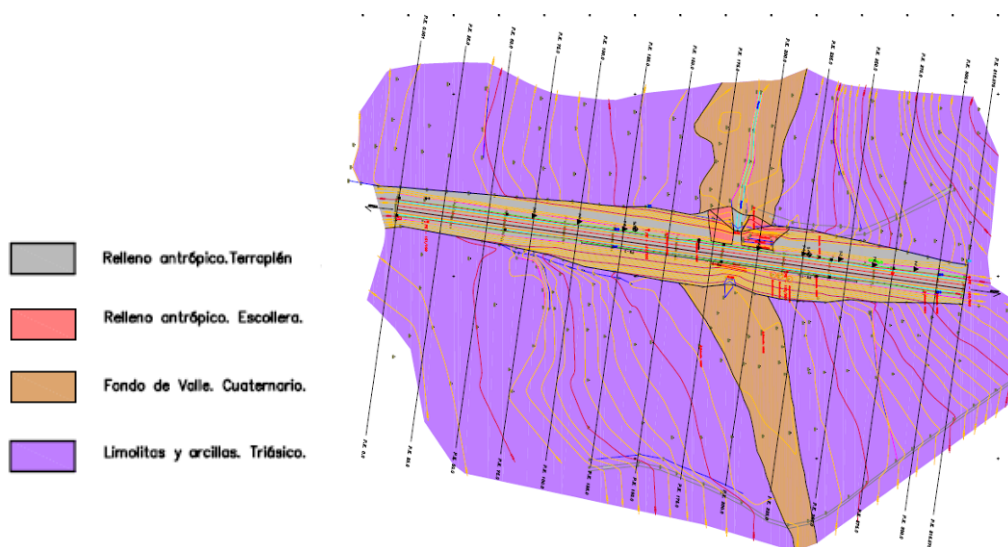


Figura nº 6. Cartografía geológico-geotécnica de detalle en el entorno del terraplén en estudio. TISER, S.L. 2007.

2.4 PROYECTO DE SEGUNDA INTERVENCIÓN POR LLUVIAS TORRENCIALES PARA EL TRATAMIENTO DEL TERRAPLÉN ENTRE EL PP.KK 150/800 - 151/100. DE LA LÍNEA ALCAZAR DE SAN JUAN - SEVILLA.

Conocido el estado precario de la infraestructura, la Dirección de Ingeniería de Mantenimiento de ADIF encarga en marzo de 2008 a INES Ingenieros Consultores S.L. la redacción del proyecto de intervención por lluvias torrenciales para el tratamiento del terraplén entre el PP.KK 150/800 - 151/100 de la línea Alcázar de San Juan - Sevilla.

El proyecto relaciona el estado del terraplén y los daños descritos con la naturaleza del material y los efectos del agua en la incidencia del día 24 de mayo. Se destacan las siguientes variables en la afección sufrida por el terraplén: presión de la columna de agua, mala calidad del material del terraplén, excavación de la pendiente, erosión en la base del talud e incremento de presiones laterales por expansión de las zonas con mayor contenido en arcilla.

Se determina que parte de las aguas retenidas (las que no encontraron salida por la tajea y socavaron el pié del talud) penetraron en el terraplén aliviándose por las zonas de mayor permeabilidad. Este efecto originó la humectación general, el lavado de finos y el descenso de la resistencia al corte del material, condicionando la estabilidad a largo plazo de la obra de tierras.

Considera que, aunque los dos grandes deslizamientos del talud derecho han sido estabilizados mediante la colocación de una escollera, el terraplén, en su estado, con las características definidas y los antecedentes, supone un elemento de riesgo que puede provocar incidencias ante cualquier modificación del contorno.

Por todo ello, las acciones que contemplaba el proyecto se encaminan a ejecutar las siguientes actuaciones:

- Aumento de la permeabilidad transversal mediante la hinca de dos tuberías Ø 1600 que funcionasen a modo de aliviadero una vez superado la capacidad de desagüe de la tajea existente.
- Encapsulado del núcleo del terraplén mediante el recrecido lateral (4,5 m) con material seleccionado y reconstrucción de la coronación del terraplén.
- Inyección de los hastiales de la bóveda mediante lechada de cal para la consolidación del relleno en el trasdós de la tajea.
- Regeneración de la obra de fábrica (tajea) mediante actuaciones de reconstrucción refuerzo.
- Recrecido de la obra existente para su adecuación a la nueva geometría y construcción de embocaduras en todas la obras de drenaje transversal.
- Construcción de muros de escollera a pié de talud. Estos debían servir de apoyo a los recrecidos laterales con el fin de encajar el recrecido en los límites parcelarios de ADIF, mejorar el drenaje del pié de talud y del mismo modo, servir de protección frente a la erosión de cauces de avenidas y escorrentías del talud.
- Protección mediante “piel de escollera” del espaldón hasta la cota de agua a alcanzar en la avenida de los 500 años según el modelo de cálculo.

- Regeneración de la plataforma ferroviaria según las solicitudes del tráfico ferroviario (dimensionamiento de la capa de forma, refuerzo con geosintético de alta resistencia a tracción y subbalasto).

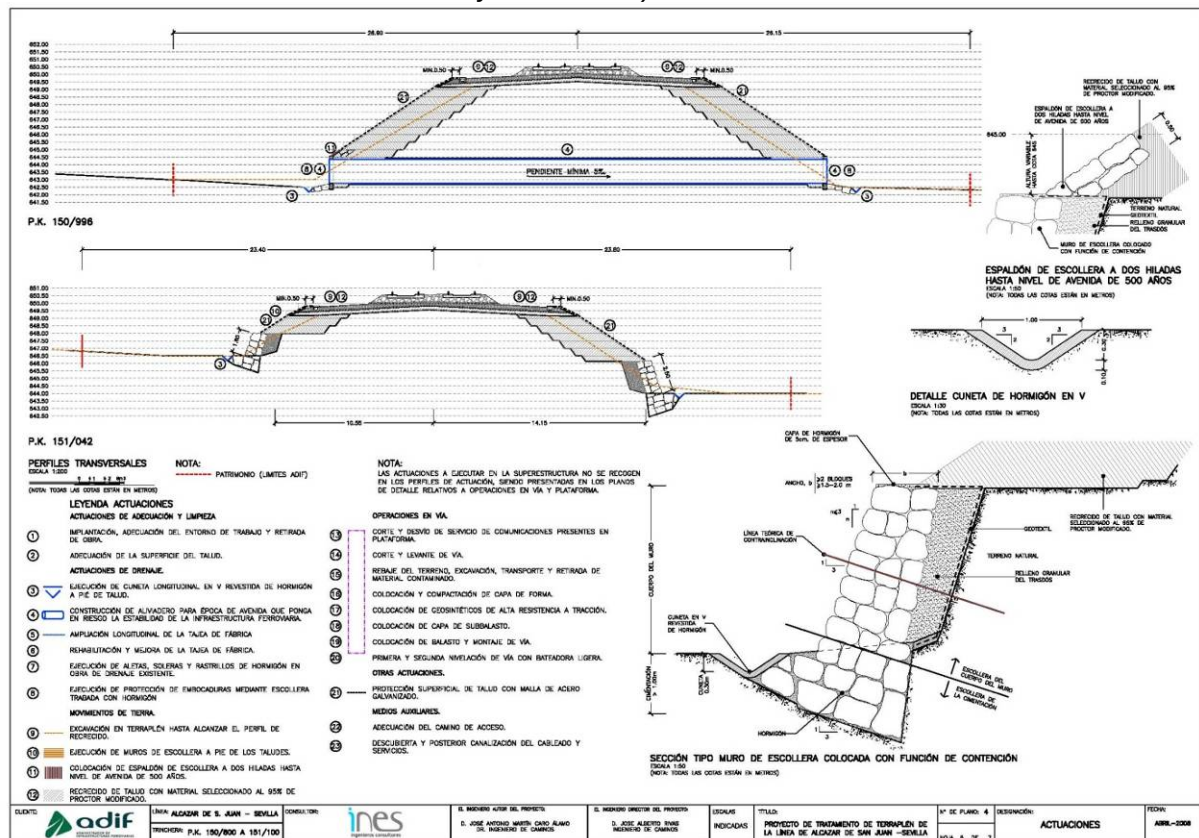


Figura nº 7. Actuaciones en alzado del Proyecto de tratamiento de terraplén de la Línea de Alcázar de San Juan Sevilla. Abril 2008.

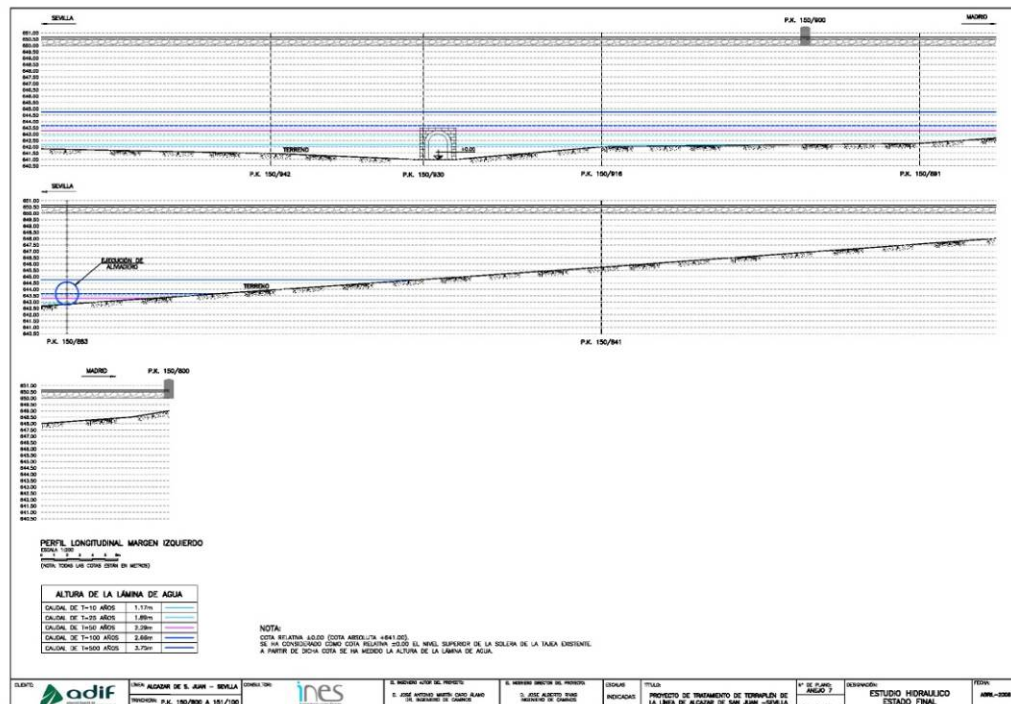


Figura nº 8. Modelización de la lámina de agua Actuaciones en alzado del Proyecto de tratamiento de Terraplén de la Línea de Alcázar de San Juan Sevilla. Abril 2008.

Las actuaciones a ejecutar debían simultanearse con el tráfico ferroviario, por tanto el sobreancho alcanzado debía permitir la circulación en plataforma de la maquinaria necesaria para el levante de vía por parejas, la excavación de la plataforma, así como la reconstrucción de la coronación del terraplén y el extendido y compactación de la capas de la plataforma.

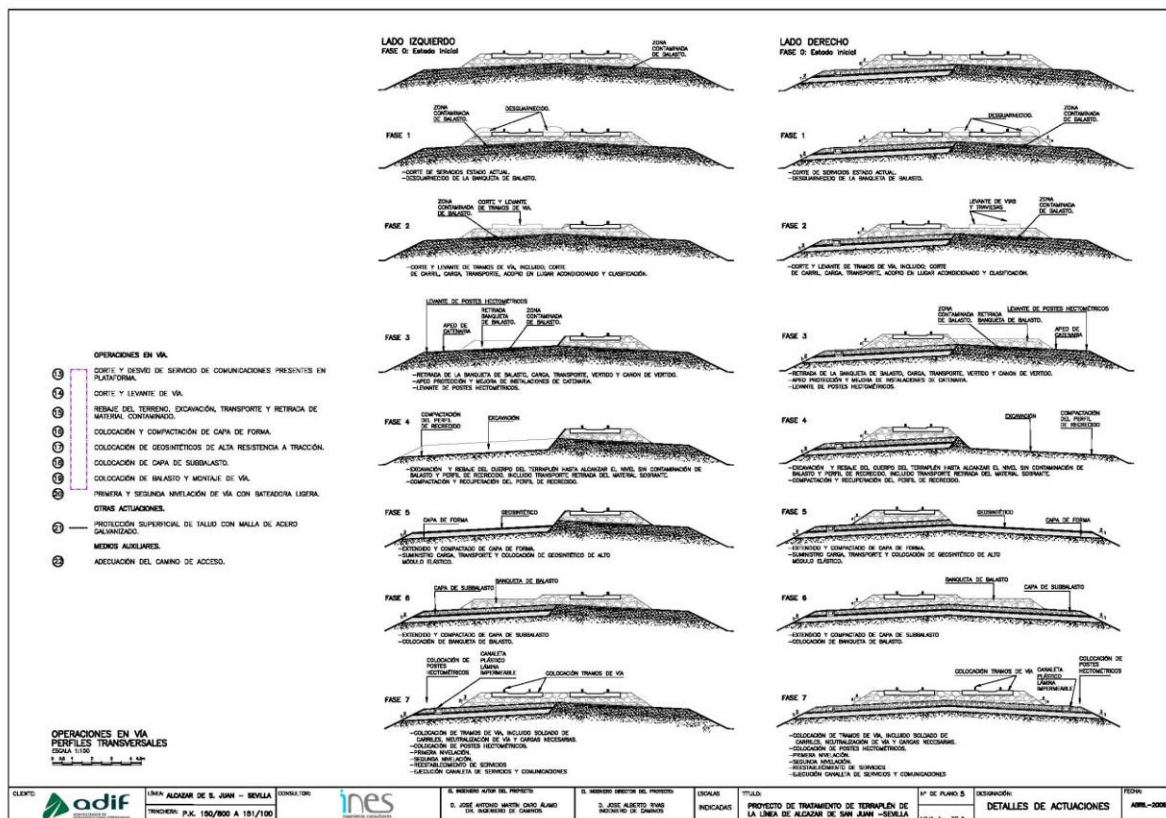


Figura nº 9. Modelización de la lámina de agua Actuaciones en alzado del Proyecto de tratamiento de Terraplén de la Línea de Alcázar de San Juan Sevilla. Abril 2008.

2.4 OBRAS DE TRATAMIENTO DEL TERRAPLEN ENTRE EL PP.KK 150/800 - 151/100. DE LA LÍNEA ALCAZAR DE SAN JUAN - SEVILLA.

Las obras se ejecutaron por la empresa TECSA S.A. con una baja de 26,35 % con respecto al presupuesto de licitación que ascendía a 832.379,55 € (Presupuesto General). El Director de las Obras designado por ADIF fue D. Nicomedes de Prado. El Jefe de Obra designado por la contrata fue en primer término Dña. Nuria López y posteriormente, D. Juan José Soriano para las operaciones en vía. Las tareas de Asistencia Técnica para el Control de Calidad y Geométrico han sido realizadas por parte D. Luis Manuel Romero, Técnico de INES Ingenieros Consultores.

La duración de la obra abarca el periodo comprendido entre los meses de diciembre de 2009 a junio de 2010.

El proceso constructivo seguido fue el siguiente:

En primer lugar, se realizaron las labores de adecuación del camino de acceso, seguido del replanteo de: servicios, límites parcelarios y de las actuaciones contempladas en proyecto. Durante la implantación de obra se prestó especial cuidado

a los servicios ferroviarios, dejando unas servidumbres adecuadas según la normativa ferroviaria. Seguidamente, comenzaron las labores relativas al apeo de los postes de catenaria y al desbroce, saneo y retirada de material descohesionado de la superficie del talud.

Una vez llevadas a cabo las labores descritas, se procedió a la hincada de los dos tubos de drenaje transversal para épocas de avenida y a la ejecución de las embocaduras y soleras. Del mismo modo, se procedió a la ampliación de la tajea y a la ejecución de aletas, solera y rastrillo en la misma.

Una vez completadas estas operaciones se procedió a acometer los espaldones del terraplén, incluyendo la construcción de los tacones de escollera y el recrecido simultáneo de ambas márgenes mediante el extendido, humectación y compactación de tongadas de 30 cm de material seleccionado. Estas labores se alternaron con las actuaciones de consolidación y regeneración de la tajea presente así como la posterior inyección para recomprimir los rellenos trasdosados.

Alcanzada la coronación del terraplén en ambas márgenes, se realizó el corte de los servicios presentes en plataforma, desguarnecido, corte y levante por parejas según las indicaciones del D.O. Una vez levantada la vía se procedió a la excavación de la plataforma hasta alcanzar el perfil de recrecido, recebo y compactación del fondo de excavación, colocación de geotextil no tejido de alto módulo elástico, y disposición de la capas de forma y subbalasto, ejecución de la canaleta de comunicaciones y colocación de balasto, y, por último, recolocación de vía, primera nivelación hasta el restablecimiento parcial del tráfico ferroviario.

Restablecido el tráfico ferroviario se procedió a repetir la secuencia de actuaciones en la vía contigua.

Por último indicar que las actuaciones en superestructura de construcción de la banqueta de balasto perfilado, nivelación y estabilización de la vía mediante maquinaria se realizaron con maquinaria pesada para cumplir los plazos del corte ferroviario habilitado.



Figura nº 10. Vista de la margen izquierda y de la plataforma durante la intervención.

3- REFERENCIAS.

AEMET (2007). "Nota informativa sobre las intensas tormentas en la zona de Alcázar de San Juan (Ciudad Real) durante el 23 de mayo de 2007"

Ayala Carcedo, F.J. Andreu Posse, F.J. (2006). "Manual de Ingeniería de Taludes". IGME

González de Vallejo, L.I. Ferrer, M. Ortuño, L. Oteo, C (2004). "Ingeniería Geológica". Prentice Hall.

Ines Ingenieros (2008). "Proyecto de segunda intervención por lluvias torrenciales para el tratamiento del terraplén entre los PP.KK. 150/800 – 151/100 de la línea de Alcázar de San Juan a Sevilla".

López Jimeno, C (2002). "Manual de estabilización y revegetación de taludes". U.D. Proyectos E.T.S.I. Minas – UPM.

Ministerio de Fomento. "Guía para el Proyecto y la Ejecución de Muros de Escollera en Obras de Carretera", 2007.

Oteo, C (2009). "Doce lecciones sobre geotecnia en infraestructuras de transporte". Asociación Técnica de Carreteras.

Prieto, C (1985). "Inestabilidades y erosión de laderas asociadas a riadas". Geología y prevención de daños por inundaciones. ITGE.

Simic, D (2008). "Construcción y control de terraplenes en España". Contraste de las técnicas española y francesa de construcción de terraplenes y pedraplenes. Jornadas Intevía 2008.

Soriano, A (2008). "Materiales de construcción y control de pedraplenes en España". Contraste de las técnicas española y francesa de construcción de terraplenes y pedraplenes. Jornadas Intevía 2008.

Soriano, A (2005). "Recomendaciones Geotécnicas para obras Marítimas y Portuarias". ROM 0.5-05 Ministerio de Fomento.

TISER (2007). "Estudio geotécnico del terraplén situado entre los PP.KK. 150+820 y 151+100 de la línea Madrid – Sevilla".

Wordpress.com. "Inundaciones en Alcázar de San Juan. Fotografías de las inundaciones del 23 y 24 de mayo de 2007".