

## **Estudio Geotécnico del desmorte situado entre los PP.KK. 89+075 al 89+450 (375 m) de la línea de de FF.CC. Valencia-Tarragona, en la localidad de Oropesa de Mar, provincia de Castellón.**

Manuel Bermejo Martínez. Prospección y Geotecnia, S.L. Geólogo. M.I.G.

José Ángel Rodríguez Franco. Prospección y Geotecnia, S.L. Geólogo. M.I.G.

Diego López Castillo. Prospección y Geotecnia, S.L. Geólogo.

Antonio Madrigal Fernández, Jefe de Área de Laboratorio Central y Geotecnia. Subdirección Adjunta de Calidad, Medio Ambiente y Sistemas. ADIF. Madrid. España.

### **RESUMEN**

A principios del año 2010 se produjo un deslizamiento entre los PP.KK. 89+187 a 89+208, cuyo material llegó al pie de la banqueta de balasto, además produjeron una serie de daños en los elementos de drenaje y contención. Al tratarse de una línea de velocidad alta (hasta 220 km/h), se realiza un estudio geotécnico más detallado de la ladera, para evaluar si se pudiera producir una inestabilidad general del talud.

### **1. INTRODUCCIÓN**

Se trata de un desmorte de 375 m, situado entre PP.KK. 89+075 al 89+450 de la línea de FF.CC. Valencia – Tarragona (figura 1).

Se trata de un desmorte a media ladera por el lado izquierdo con 24 m de altura máxima. En el lado derecho hay tramos de desmorte con una altura máxima de 8 m. Es una línea de F.C. de doble vía, electrificada y de velocidad alta (hasta 220 km/h).

El desmorte se encuentra excavado en calizas y margas del Cretácico inferior (Aptiense), donde se distinguen tres términos:

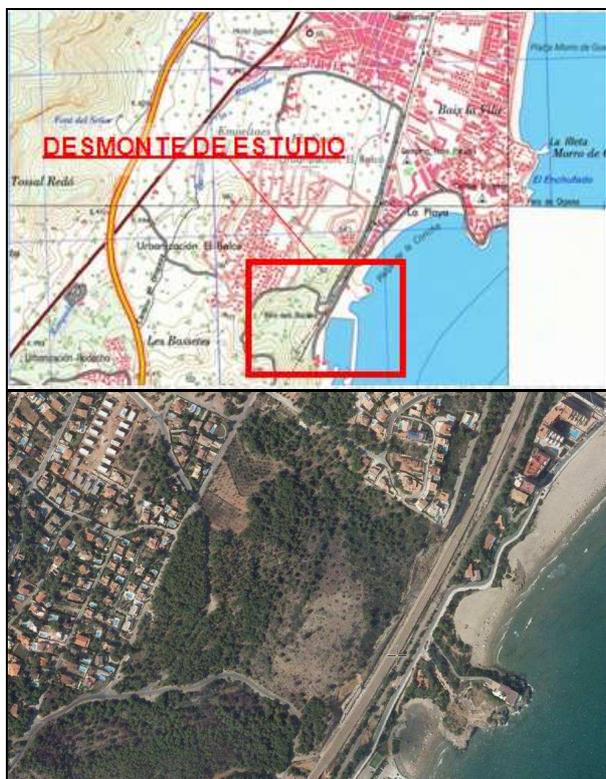
- Tramo Inferior: Calizas margosas grises con niveles de yeso.
- Tramo Intermedio: Margas con niveles calizos nodulosos.
- Tramo Superior: Calizas marrones clásticas (calcarenitas) con karstificación.

### **2. PROBLEMATICA**

El desmorte de estudio, desde la construcción de la variante ferroviaria en el año 2000 ha presentado un gran número de problemas de estabilidad (desprendimientos de rocas, deslizamientos en suelos, erosión superficial de taludes etc.), por lo que se han aplicado elementos de estabilización (mallas, muros de escollera, cunetas, bulones, muros anclados, hormigón proyectado, geo-mallas etc.).

A principios del año 2010 se produjo un deslizamiento entre los PP.KK. 89+185 a 89+250 (65 m), cuyo material invadió la cuneta y llegó al pie de la banqueta de balasto. Además se produjeron una serie de daños en los elementos de drenaje y contención de la primera y segunda berma (fotos 1 y 2).

Se procedió a la retirada del material desprendido. Se impuso una limitación de velocidad a 80 km/h y se instaló una cámara de vigilancia permanente en la catenaria del P.K. 89+192, por si se produjeran en el talud nuevos movimientos e invasiones de material, o incluso un deslizamiento general de todo el talud.



**Figura 1:** Situación de la zona de estudio en la localidad de Oropesa del Mar. Castellón.



Foto 2: Escarpe en la cebecera del talud.

La Jefatura de Explanaciones de ADIF por medio de la Jefatura de Control de Materiales y Prospecciones encarga un estudio geotécnico de la ladera, para evaluar la posibilidad de que se genere una inestabilidad general de mayor envergadura.



Foto 2: Desperfectos en la berma.

### 3. OBJETIVOS

Los objetivos principales de este estudio son **conocer las causas** y el alcance de los procesos de inestabilidad que afectan al desmonte de la línea férrea entre los PP.KK. 89+185 a 89+250, así como **estimar los parámetros geotécnicos** de los materiales implicados en el mismo.

El fin último del trabajo es obtener los **datos necesarios del terreno** para la redacción del proyecto de estabilización del deslizamiento que afecta al talud

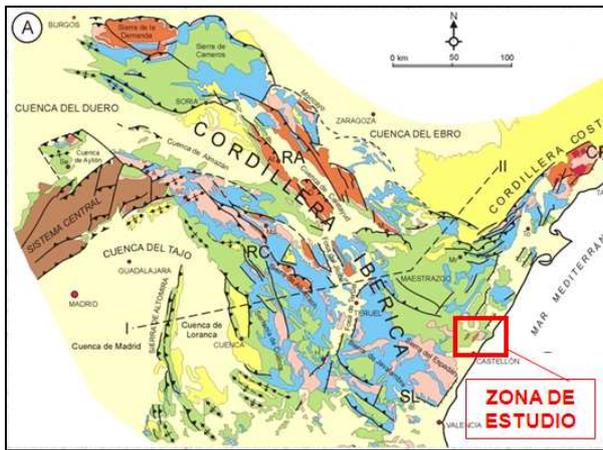
### 4. TRABAJOS REALIZADOS

Para la consecución de los objetivos marcados en el apartado anterior se han realizado los siguientes trabajos en el talud estudiado:

- Estudio y análisis de la documentación disponible.
- Fotointerpretación geológica en el área donde se encuentra ubicado el desmonte.
- Topografía de la zona a escala 1:500 de la zona de estudio con una anchura de 160 m (140 aguas arriba de la línea de F.C. y 20 m aguas abajo). 5,25 hectáreas.
- Sectorización del desmonte de estudio: 9 sectores más o menos homogéneos desde un punto de vista topográfico y geológico. Seis de ellos se localizan en el lado izquierdo y tres en el derecho.
- Reconocimiento de campo. Cartografía.
- Inventario de los elementos de contención y drenaje.
- Perforación de 3 sondeos geotécnicos (47,6 m). Información adicional de 1 sondeo realizados por GIA S.L. en el año 2011 (20,23 m).
- Instrumentación con inclinómetros de los tres sondeos y con piezómetros de cuerda vibrante en el fondo de dos de ellos. Análisis de los datos.
- Realización de 4 estaciones geomecánicas para medida de datos estructurales. Posterior estudio cinemático de las discontinuidades. Clasificación geomecánica del macizo rocoso.
- Ensayos de laboratorio de las muestras de sondeos realizados por PYG y del sondeo de GIA.
- Caracterización geomecánica de los materiales.
- Estudio hidrológico e hidráulico de la ladera en relación con el proceso de inestabilidad.
- Cartografía geológico – geotécnica a escala 1:1.000 y realización de 10 perfiles transversales a escala 1:1.000.
- Caracterización de proceso de inestabilidad.
- Análisis de estabilidad mediante el programa Slide (V.05).

### 5. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

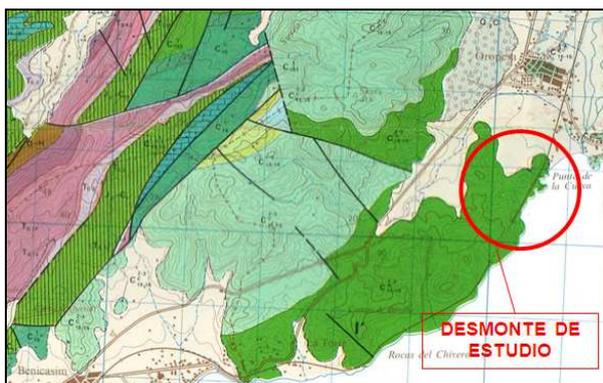
La zona de estudio se encuentra en las estribaciones mediterráneas de la Cordillera Ibérica. Dentro del denominado Sector Levantino que comprende desde el Norte del tramo medio del río Júcar, que separa la Cadena Ibérica de los sistemas Béticos frontales, hasta el Este de El Maestrazgo, según una línea subparalela a la costa (figura 2).



**Figura 2:** Situación geológica regional.

Desde un punto de vista tectónico se encuentra en la Zona Oriental Fallada (Cadenas Litorales) del Umbral del Maestrazgo Meridional de la Cordillera Ibérica. Los materiales del desmonte presentan un plegamiento de radio amplio, los pliegues son abiertos y buzamientos de unos 30° con repliegues menores. Estas estructuras son cortadas por fallas, dando un estilo tectónico de bloques con numerosas fosas y macizos tectónicos (horst y grabens) delimitados por fallas de desarrollo kilométrico en dirección NE-SO que forman bandas alargadas, desplazadas por fallas posteriores de sentido NO-SE

El desmonte se encuentra excavado en Calizas y margas. Aptiense (Gargasiense – Clansayiense). (Figura 3).



**Figura 3:** Situación geológica del mapa 1:50.000.

### GEOLOGÍA DE DETALLE

Se han podido distinguir en el desmonte de estudio las siguientes unidades litológicas (figuras 4 y 5):

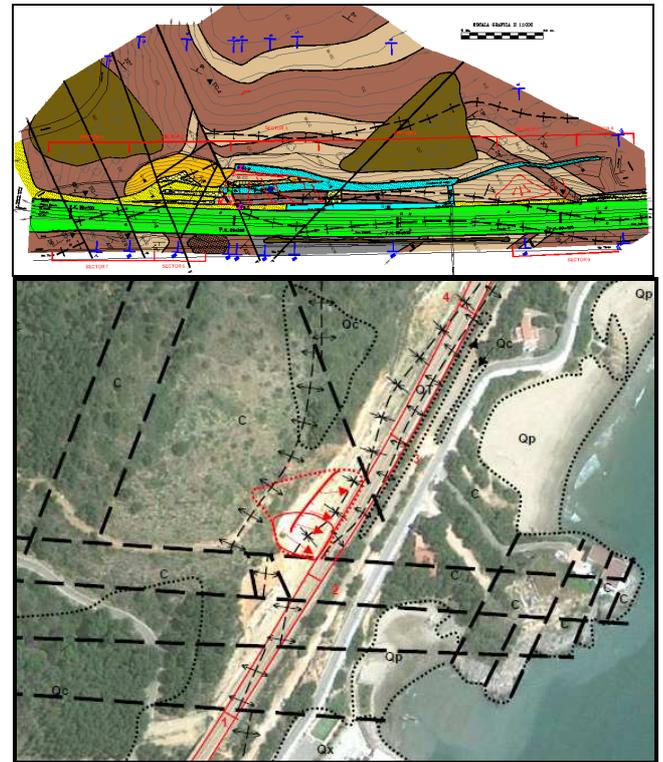
Sustrato. Cretácico inferior (Aptiense Superior: Gargasiense –Clansayiense): Con cuatro unidades:

- Unidad M-CC: Margas con capas de calcarenitas.
- Unidad CC: Calcarenitas.

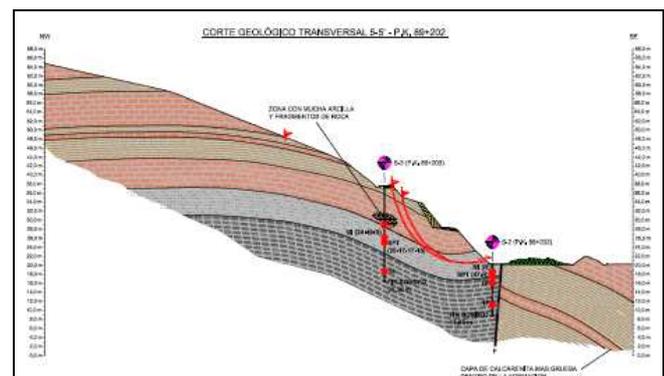
- Unidad M-CM: Margas con capas de caliza margosa.
- Unidad CM: Caliza margosa.

Depósitos Cuaternarios: Sé han podido distinguir dos unidades:

- Unidad QC: Depósitos coluviales.
- Unidad QX: Rellenos antrópicos de todo tipo.



**Figura 4:** Mapa geológico de detalle y fotointerpretación.



**Figura 5:** Perfil geológico de detalle en la zona del deslizamiento.

### 6. INVESTIGACIONES REALIZADAS

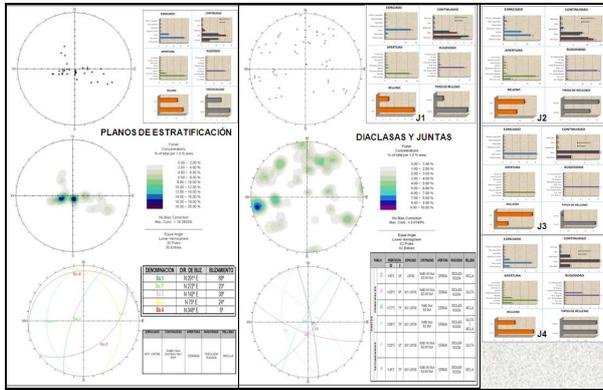
Las investigaciones realizadas para el estudio del deslizamiento se exponen a continuación

#### Estaciones geomecánicas:

Se han realizado cuatro estaciones. A partir de ellas se han caracterizado las distintas familias de

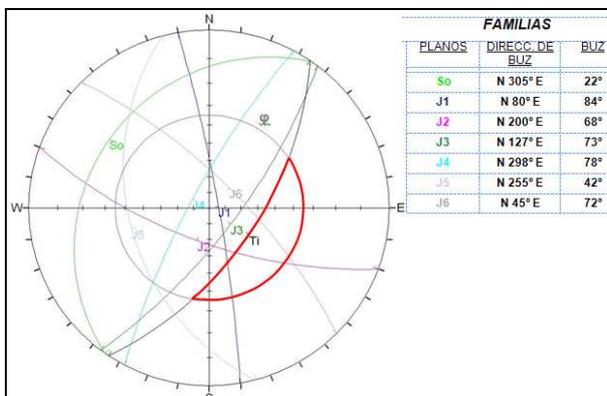
discontinuidades, se ha realizado un análisis de inestabilidad en el talud y se ha caracterizado los macizos rocosos de la unidad CC y CM.

Se han definido y caracterizado cuatro familias de discontinuidades y los planos de estratificación con cuatro orientaciones distintas (figura 6), con proyección estereográfica y el programa DIPS.



**Figura 5:** Caracterización de las discontinuidades .

Se ha realizado un análisis de inestabilidad en el área del deslizamiento, llegándose a las siguientes conclusiones (figura 6).



**Figura 6:** Análisis de inestabilidad realizado .

- No se observan mecanismos de inestabilidad de tipo estructural en el desmonte.
- La cuña formada por J2 y J6 podrá ser inestable cuando el buzamiento de los planos sea menor.
- No es de esperar un control estructural general del deslizamiento producido.
- El mecanismo de inestabilidad debe obedecer a una rotura en curva, característica de macizos rocosos intensamente fracturados.
- Se puede producir la caída de bloques y fragmentos de roca por alteración y meteorización de las juntas del macizo

Con estos datos y los de la perforación de los sondeos se han caracterizado geomecánicamente los macizos rocosos, presentes en el área de

estudio, mediante el índice RMR de Bieniawski:

- **Unidad CM:** PUNTUACIÓN TOTAL = 64 - 48. Calidad buena (Clase II) / calidad media (Clase III). OBSERVACIONES: En las condiciones puntualmente más favorables se trata de un macizo rocoso de calidad buena (Clase II), si bien predomina el macizo rocoso de calidad media (Clase III). Si se aplica una corrección por la orientación de las discontinuidades, el macizo rocoso resultante será claramente de Clase III (calidad media). Cohesión  $c = 2-3 \text{ Kp/cm}^2$ . Angulo de fricción de  $\phi = 25^\circ$  a  $35^\circ$ .
- **Unidad CC:** PUNTUACIÓN TOTAL = 63 - 51. Calidad buena (Clase II) / calidad media (Clase III). OBSERVACIONES: En las condiciones más favorables se trata de un macizo rocoso de calidad buena (Clase II), si bien predomina, el macizo el macizo rocoso de calidad media (Clase III). Si se aplica una corrección por la orientación de las discontinuidades, el macizo rocoso resultante será claramente de Clase III (calidad media). Cohesión  $c = 2-3 \text{ Kp/cm}^2$ . Angulo de fricción de  $\phi = 25^\circ$  a  $35^\circ$ .

**Sondeos perforados:**

Se han realizado tres sondeos y hay información de uno adicional (Foto 3). En los sondeos se han instalado inclinómetros y piezómetros.



**Foto 3:** Sondeo S-2 en la plataforma ferroviaria.

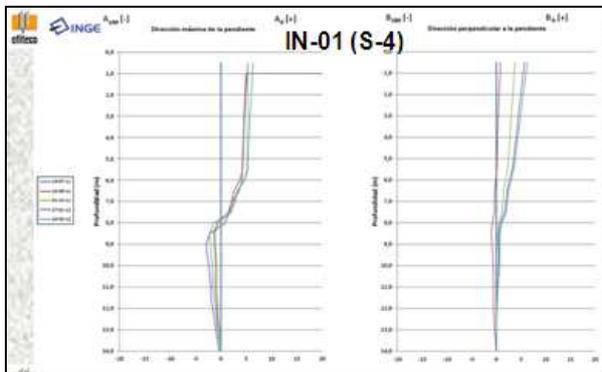
De los sondeos se puede sacar la siguiente información:

- **Aparecen 4 litologías:** Margas con capas de calcarenitas (unidad M-CC). Calcarenitas (unidad CC). Margas con capas de caliza margosa (unidad MCM). Caliza margosa (unidad CM) en el fondo de los sondeos. Antrópicos (Unidad QX).

- Debido a la heterogeneidad de las formaciones perforadas y al alto grado de fracturación que presentan no se identifican niveles de despegue del deslizamiento claramente definidos.
- No se ha detectado un nivel freático continuo en los sondeos. Hay pérdidas totales del agua a distintas cotas (7,0 m en el sondeo S-2 y 4,80 m en el sondeo S-3). Estas filtraciones indican una alta permeabilidad secundaria, debido a fracturación (índice R.Q.D de 44% en las calcarenitas y en torno a 73% en las calizas margosas).

### Instrumentación (inclinómetros):

Se han instrumentado los tres sondeos realizados con inclinómetros (Figura 7).



**Figura 7:** Registro del inclinómetro IN-1 instalado en el sondeo S-4.

De los inclinómetros se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- El inclinómetro IN-01: Muestra el movimiento principal entre 7 y 8 m de profundidad (3,55 mm) y es el más claro, con un desplazamiento total registrado en cabeza de 9,02 mm. Velocidad media de movimiento en cabeza es 1,49 mm/mes y 1,01 mm/mes a 7,0 m (en el periodo de auscultación 8 meses).
- El inclinómetro IN-02: Se ha detectado el mayor movimiento a 6 m de profundidad (4,54 mm) en sentido contrario al movimiento del talud. Desplazamiento total registrado en cabeza de 5,76 mm. La última lectura con valores muy similares a noviembre de 2011, en enero se produjo un error de lectura. Apenas se ha movido en tres meses. Velocidad media de movimiento en cabeza es 2,55 mm/mes y 1,48 mm/mes a 6,0 m (en el periodo de auscultación 8 meses). Datos no concluyentes.
- El inclinómetro IN-03: Comportamiento anómalo contrario al movimiento del talud,

desplazamiento total en cabeza de 10,35 mm y de 6,34 a 4,5 m de profundidad. Velocidad media de movimiento en cabeza es 1,74 mm/mes y 1,46 mm/mes a 4,5 m (en el periodo de auscultación 8 meses). Datos no concluyentes

En general solo el inclinómetro IN-01 muestra una tendencia clara pero escasa de movimiento, aproximándose los incrementos detectados entre lecturas a la precisión del aparato.

### Instrumentación (piezómetros):

Se han instalado dos piezómetros en los sondeos S-2 y S-3.

- En el piezómetro PZ-02: Las presiones intersticiales medidas han sido siempre de 0,00 kg/cm<sup>2</sup>. Ausencia de agua en el terreno.
- En el piezómetro PZ-03: Las presiones intersticiales medidas han sido siempre de 0,00 kg/cm<sup>2</sup>. Ausencia de agua en el terreno.

A la vista de los resultados obtenidos, se puede decir que los piezómetros se encuentran por encima del nivel freático, ya que no registran presiones piezométricas.

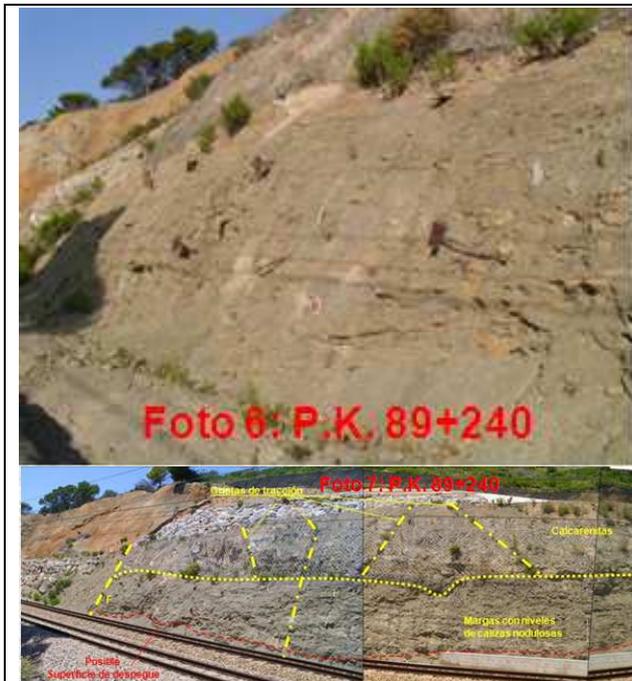
### Caracterización general e inventario de patologías:

Durante el periodo de campo se ha caracterizado el deslizamiento y se ha realizado un inventario de las patologías, así como de los elementos de contención y drenaje existentes en el talud.

Existe una inestabilidad en su talud izquierdo entre los PP.KK. 89+188 y 89+255 (65 m. Sector 3), Reconocible a escala general y de detalle por:

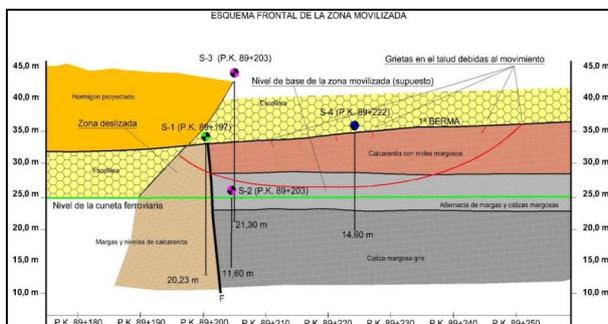
- Grietas de tracción laterales y centrales, de disposición paralela al sentido de movimiento, que afectan tanto al terreno natural, como a los rellenos antrópicos de las bermas y a las cunetas hormigonadas.
- Grietas de cabecera dispuestas perpendicularmente al sentido de movimiento, que también afectan tanto a los rellenos como al terreno natural.
- Hundimientos en las bermas y cunetas de hormigón.
- Lóbulos de derrame de material movilizado en la base del talud.
- Grietas en obras de protección existentes (escolleras, hormigón proyectado y tapizados con mortero de cemento), y abombamiento en alguna escollera.

- Rotura y desplazamiento de bulones en base del talud.
- Testigos abiertos instalados por técnicos de ADIF en la base del talud.
- Superficie de despegue en el pie del talud entre los PP.KK. 89+200 y 89+250. (Foto 4).
- Indicios de la existencia de grietas de tracción en la cabecera del talud y déficit de material. (Foto 4).



**Foto 4:** Arriba: Superficie de rotura y bulones rotos. Abajo: Patologías en el pie.

También se ha definido a nivel de detalle la rotura. Se trata de una **rotura circular** (figura 8), con control estructural al conectarse diaclasas. Este tipo de rotura se produce en macizos rocosos intensamente fracturados (comportamiento isótropo). Existen capas margosas (unidades MCC y MCM) que favorece la generación de este tipo de inestabilidades.



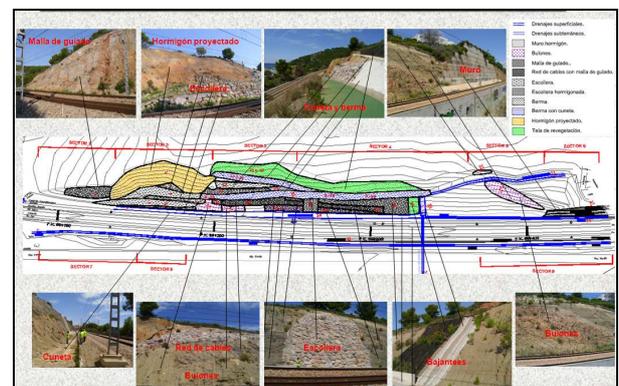
**Figura 8:** Esquema del modelo de rotura de tipo circular.

Este deslizamiento no progresa indefinidamente. Sin embargo provoca una descompresión en los materiales que rodean y se favorece la aparición

de nuevos movimientos. El espesor máximo de material movilizado es de unos 8 m (IN-01) y presenta un escarpe en cabecera bien diferenciado en la segunda berma. Se ha podido apreciar la salida de la superficie de despegue en la base del talud.

La superficie de rotura se localiza en la unidad M-CM, en la que se obtienen unos valores de golpeo SPT de  $N = 31-32$  y, según el ensayo de corte directo, una cohesión mínima de  $c' = 0,32 \text{ Kp/cm}^2$  y un ángulo de fricción mínimo de  $\Phi' = 17,4^\circ$ .

Por último se han definido las obras de drenaje y contención existentes en el talud. La gran cantidad de obras de protección y drenaje aplicadas al desmonte dificultan la observación directa del terreno en la zona deslizada y en ocasiones aportan peso en la cabecera de la zona deslizada (figura 9).



**Figura 9:** Plano gráfico de las medias de contención y drenaje existentes en el talud.

## 7. MODELO HIDROGEOLÓGICO

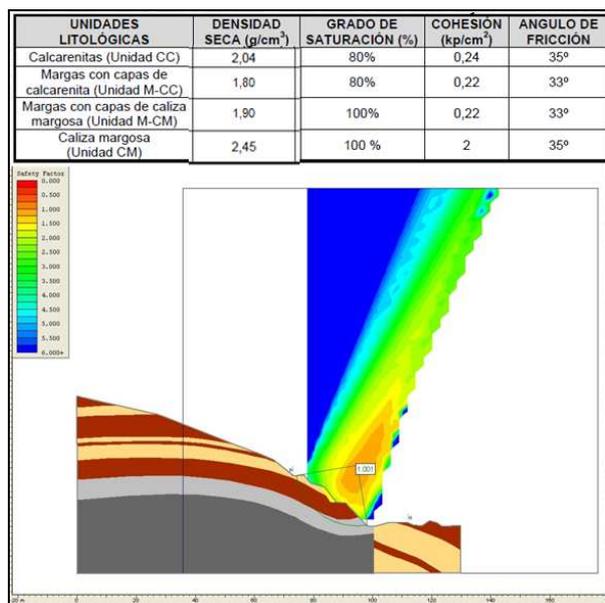
Los materiales calizo – margosos que afloran en la zona de estudio forman un **acuífero libre** de grandes dimensiones cuya recarga se produce por el aporte de la precipitación. Las capas margosas, de menor permeabilidad, pueden presentar puntualmente confinamiento y ocasionar acuíferos colgados, o constituir en sí mismas acuitardos. Del modelo hidrogeológico realizado se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- El drenaje por percolación natural predomina respecto a la escorrentía superficial.
- La infiltración de agua en el terreno está ligada a las capas de calcarenita (unidad CC) y de margas con intercalaciones de calcarenita (unidad M-CC). Las grietas de tracción del deslizamiento y, las grietas en los elementos de drenaje, son también puntos preferentes de infiltración.

- El flujo subterráneo se produce en dirección NO-SE hacia el mar y transversal a la línea de ferrocarril.
- No se ha detectado un nivel freático en los sondeos. En los piezómetros instalados (PZ-2) y (PZ-3), tampoco se han medido niveles piezométricos en los periodos de lectura.
- Los materiales implicados en el proceso de inestabilidad, pueden presentar en niveles margosos de acuíferos colgados, variaciones del nivel freático y de la presión intersticial, lo que influye negativamente en el comportamiento mecánico de los mismos.
- La saturación parcial del talud producirá una disminución de sus parámetros resistentes y un aumento de su peso, lo que favorece la inestabilidad.

## 8. ANALISIS DE ESTABILIDAD

Se han realizado una serie de análisis de estabilidad con el programa Slide (figura 10). El **equilibrio límite se alcanza en los materiales con un comportamiento más friccional** (menos cohesión y mayor ángulo de rozamiento interno).



**Figura 11:** Análisis de estabilidad realizado en la condición de equilibrio límite

Se ha aumentado el grado de saturación en agua. Las litologías situadas estratigráficamente por encima (calcarentita y margas con capas de calcarenita) se les ha adjudicado un grado de saturación del 80%, y las litologías estratigráficamente inferiores (caliza margosa y margas con capas de caliza margosa) se les ha designado un grado de saturación del 100%. **Sin saturación no es posible la inestabilidad del talud y la ladera.**

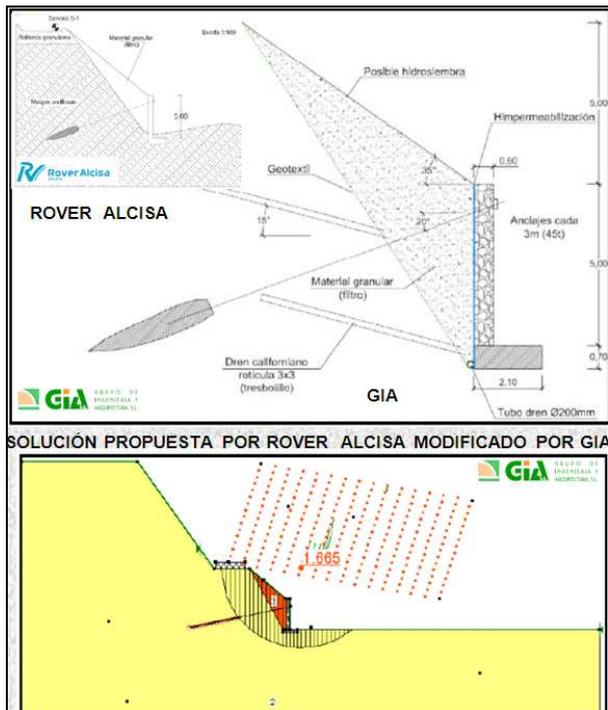
## 9. FACTORES DESENCADENANTES

Los factores desencadenantes que han provocado el deslizamiento son:

- El agua: Existe un flujo subterráneo transversal al desmonte en dirección hacia el mar cuando la lluvia es intensa. Se puede producir una saturación parcial del terreno, e incluso en los niveles margosos algo de sobrepresión intersticial. La saturación aumenta el peso del conjunto y disminuye sus propiedades resistentes. La grieta de tracción existente en la cabecera y en los elementos de drenaje y contención son lugares favorables para la infiltración.
- Condiciones climáticas: Tras episodios de fuertes precipitaciones (gota fría) puede producirse una intensa saturación del terreno, aunque poco duradera en el tiempo dado la elevada permeabilidad secundaria de los materiales.
- Condiciones geomorfológicas: La pendiente de los taludes del desmonte se encuentran entre 45° - 50° y por si solas en estos materiales no generan el proceso de inestabilidad. La pendiente contribuye a la generación de esfuerzos cortantes en el plano de rotura.
- Características geotécnicas: La intensa fracturación del sustrato le confiere un comportamiento isotrópico, susceptibles de generar roturas de tipo circular. Las fracturas presentan rellenos arcillosos que pueden actuar como niveles de debilidad. La existencia de capas margosas favorece la generación de la inestabilidad.
- Factores antrópicos. La sobrecarga de elementos de contención en cabecera (escolleras), etc., con factores que intervienen en el equilibrio de masas y modifican las condiciones del terreno. La impermeabilización de determinados tramos provoca la concentración de la escorrentía que se infiltra en el terreno de forma masiva a favor de grietas o desbordamientos en cunetas

## 10. ACTUACIONES PROYECTADAS

La empresa ROVER ALCISA S.A. propone un muro en "L" de hormigón para la estabilidad del talud situado en su pie. El muro tendrá una altura de 5,0 m y una anchura de 0,60 m. La zapata de cimentación tiene una anchura de 2,10 m y 0,7 m de canto (figura 11).



**Figura 11:** Solución propuesta por ROVER ALCISA y modificada por GIA.

El Grupo de Ingeniería y Arquitectura (GIA S.L.). Considera viable el apoyo del muro con una cimentación directa debido a la naturaleza del terreno de apoyo, mediante zapata corrida apoyada a 1,0 m de profundidad y se calcula una carga admisible para el terreno de  $\sigma_{adm} = 2,5 \text{ kg/cm}^2$

Proponen una serie de modificaciones y recomendaciones para el muro en "L" estas son (figura 11):

- Perforar drenes californianos en el talud para alivio de las subpresiones, conectados con la red de drenaje del trasdós del muro. La longitud de los drenes es de 8,0 m con un ángulo de inclinación de 15°. Dos filas dispuestas al tresbolillo en una retícula de 3 x 3 m.
- En el trasdós del muro relleno de gravas permeables que conectaran con el tubo dren de fondo.
- Anclajes dispuestos cada 3,0 m con una carga de tensado de 45 t (longitud libre de 8,0 m y longitud del bulbo de anclaje 8,5 m). Para reducir los esfuerzos de flexión y aumentar el factor de seguridad frente al deslizamiento (FS = 1.665).

## 11. CONCLUSIONES

Tras los estudios y trabajos realizados en el presente artículo se llega a las siguientes conclusiones:

- ✓ Entre los PP.KK. 89+195 a P.K. 89+255 (60 m) del talud izquierdo, se han producido los procesos de inestabilidad. En este tramo el talud tiene un diseño con tres bermas y tiene una altura máxima de 22,5 m, con un ángulo general de 35°. Sobre la coronación del talud sigue una ladera ascendente con una pendiente de 20° al inicio y 12°-13° en su parte final.
- ✓ El desmante estudiado está comprendido entre los PP.KK. 89+075 a 89+450 de la línea de FF.CC. Valencia - Tarragona. Este tramo, de 375 m de longitud, próximo a la estación de Oropesa del Mar. El desmante está excavado con taludes de diseño muy heterogéneo en cuanto a morfología y geometría, por lo que se han distinguido 9 sectores: 6 en el lado izquierdo y 3 en el derecho.
- ✓ El deslizamiento ha provocado un hundimiento en la berma inferior entre el P.K. 89+192 y el P.K. 89+197 y grietas de tracción y de cabecera del deslizamiento, así como desperfectos en las obras de protección y sostenimiento (grietas en la escollera que separa las 2 bermas y bulones arrancados en la base del desmante). En la ladera natural hay otras grietas debidas a deslizamientos de acción remontante. A principios del año 2010, en la parte inicial del deslizamiento, entre los PP.KK. 89+188 y 89+202, el material caído llegó a afectar a la plataforma invadiendo la cuneta y llegando al borde de la banqueta de balasto.
- ✓ Se han llevado a cabo diversos trabajos de campo, gabinete y laboratorio: topografía de detalle, cartografía geológico-geotécnica, sondeos, instrumentación, ensayos de laboratorio y análisis de estabilidad.
- ✓ Se han definido 6 unidades geológico-geotécnicas: Materiales cuaternarios de origen antrópico y depósitos coluviales (unidades Qx y Qc, respectivamente). Sustrato cretácico de muro a techo: caliza margosa nodulosa y oscura (Unidad CM), margas con capas de caliza margosa (Unidad M-CM), calcarenitas (Unidad CC) y margas con capas de calcarenita (Unidad M-CC). El desmante está excavado en las 3 unidades superiores, unidades M-CM, CC y M-CC. La unidad inferior (unidad CM) no aflora en el desmante, pero se ha perforado en los sondeos.
- ✓ El deslizamiento es de tipo rotacional en un macizo rocoso muy fracturado, con un cierto control estructural. El espesor máximo de

material movilizado es de unos 8 m (IN-01). El escarpe de cabecera principal se sitúa al pie de la berma superior. La salida de la superficie de rotura se produce en la base del talud. El deslizamiento tiene aproximadamente 58 m de anchura y unos 20 m de longitud, por lo que se estiman al menos unos  $4.000 \text{ m}^3$  de material movilizado.

- ✓ Realizar un seguimiento periódico de la instrumentación instalada en la zona de estudio para ver la evolución de los movimientos y su relación con la precipitación y los cambios estacionales que se producen en la zona. También una impermeabilización en la zona del deslizamiento
- ✓ No se ha localizado el nivel freático en los sondeos, agua en el terreno ni en los piezómetros. El macizo rocoso es susceptible de captar la escorrentía superficial (por su fracturación), pudiendo alcanzar una elevada saturación ocasional. En otoño hay fenómenos de "gota fría". Estos dos factores provocan que en periodos puntuales pueda alcanzarse una elevada saturación en el terreno, pero no se ha registrado.
- ✓ La superficie de rotura del deslizamiento se localiza a 8 m de profundidad en el inclinómetro IN-01 (situado en la berma intermedia). La superficie de rotura afecta a la unidad denominada "Margas con capas de caliza margosa (M-CM)". Valores mínimos de  $c_{\min} = 0,32 \text{ Kp/cm}^2$  y  $\Phi' = 17,5^\circ$ .
- ✓ Los inclinómetros IN-02 y IN-03 no aportan datos relevantes para la monitorización del proceso de inestabilidad.
- ✓ La saturación repentina de la ladera en periodos de fuertes lluvias y "gota fría", como consecuencia de la intensa fracturación que presenta el macizo rocoso, puede ser la causa más probable del movimiento producido, ya que en las demás épocas del año o periodos secos, no se observa presencia de agua en el terreno.
- ✓ Es conveniente recalcular el factor de seguridad de las medidas de contención aplicadas al deslizamiento por ROVER ALCISA y GIA, con los parámetros geomecánicos de los materiales obtenidos en los análisis de estabilidad para el equilibrio límite ("back analysis") y una geometría del deslizamiento mucho mayor, que considere afecta también al banco superior del desmonte. Estos parámetros y geometría reflejan con mayor representatividad la inestabilidad observada en el desmonte.
- ✓ Está prevista la construcción de un hotel en la coronación del desmonte. Esta construcción podría influir negativamente en el proceso de inestabilidad observado en el talud de estudio.