

# **ELIMINACIÓN DE TALUDES INESTABLES DE GRAN ALTURA MEDIANTE TÚNELES EN EL EJE PIRENÁICO**

ROMERO, Juan Antonio. Ministerio de Fomento

ARIAS, Jose María. Infraes, S.A.

GALERA, José Miguel. Geocontrol, S.A.

## **RESUMEN**

En este artículo, se presentan dos casos del Tramo la Pobla-Sort del Eje Pirenaico (N-260) en los que se han eliminado sendos taludes inestables mediante la ejecución de dos túneles cortos. Se presentan los cálculos justificativos de ambas soluciones, realizando un análisis comparativo entre ambas.

## **I.- INTRODUCCIÓN**

La Unidad de Carreteras de Lleida de la Demarcación de Carreteras del Estado en Cataluña, tras la finalización de las obras de construcción del tramo La Pobla-Sort de la N-260 Eje Pirenaico, decidió el pasado año realizar un proyecto de Medidas de Estabilización de Taludes y Corrección de Impacto Ambiental, que tras concurso de licitación y obras fue adjudicado a Dumez-Copisa, con un proyecto realizado por Infraes, S.A. con la colaboración de Geocontrol, S.A.

En este proyecto se dimensionaron todas las medidas para estabilizar y corregir el impacto ambiental de algunos taludes.

De estos tres taludes destacan, por su elevada altura, los situados en los pk. 11+700 y 17+100. En ambos casos se trató de desmontes de más de 60 m de altura y con un historial de inestabilidades sistemáticas, sin que pudiera afirmarse que las medidas correctoras adoptadas hasta la fecha, garantizarán la estabilidad de los mismos.

En este contexto, y tras el análisis comparativo pertinente, se decidió proyectar sendos túneles, modificando el trazado hacia la montaña.

Transcurrido un año desde el proyecto, las obras se encuentran casi finalizadas sin que haya que destacar problemas de envergadura.

## II.- DESMONTE pk 11+700

### a) Geología

En este desmonte afloran unos conglomerados silíceos, areniscas rojas de grano medio y areniscas y pelitas micáceas. El color de estos materiales varía de rojo a verde atribuyéndose este último a períodos lacustres. Estos depósitos pertenecen a la facies Bunt del Triásico. La estratificación varía, manteniéndose constante la dirección de capa en N-110°E. El buzamiento medio es de 70°N, oscilando entre 50° en la boca Sur y verticalidad en la boca Norte.

### b) Geotécnia

La fracturación ha sido estudiada, mostrándose en el **Cuadro I** las características de las cinco familias existentes.

DIRECCIÓN (°)	BUZAMIENTO (°)	ESPACIADO (m)	CONTINUIDAD (m)	RUGOSIDAD JRC	RELLENO	APERTURA (mm)
N110E	70 N	0,20-0,60	>20	10-12	----	1-10
N086E	53 S 55 N	>1,0	1->20	10-12	----	0-10
N139E	74 W	0,40	2	12-14	----	0-5
N032E	89E 30W	0,10-1,0	2->20	12-14	----	0-5
N176E	50E	>1,0	>20	10-12	----	1-5

**Cuadro I.- Familias de discontinuidad existentes.**

Para caracterizar el macizo rocoso, se ha seguido la metodología punto a punto por Geocontrol (Celada y Galera, 1994) que se basa en caracterizar la roca intacta para, posteriormente, minorar sus propiedades a nivel de macizo rocoso a través del valor del RMR de Bieniawski. En el **Cuadro II** se muestran los parámetros mecánicos de las areniscas y conglomerados del Bunt.

LITOTIPO	RMR	C (MPa)	$\sigma_c$ (°)	E (MPa)	$\nu$	d (gr/cm <sup>3</sup> )
Areniscas y conglomerados del Bunt	40	6	54	4.400	0,30	2,65

**Cuadro II.- Propiedades mecánicas del macizo rocoso en el túnel 11+700**

### c) Análisis del desmonte

Previamente a la consideración de una solución en túnel, se ha analizado la estabilidad actual del talud rocoso, para lo que se ha realizado un modelo de cálculo que reproduce la situación actual.

Dicho modelo de cálculo, representado en la **Figura N° 1**, ha sido resuelto mediante el programa UDEC.

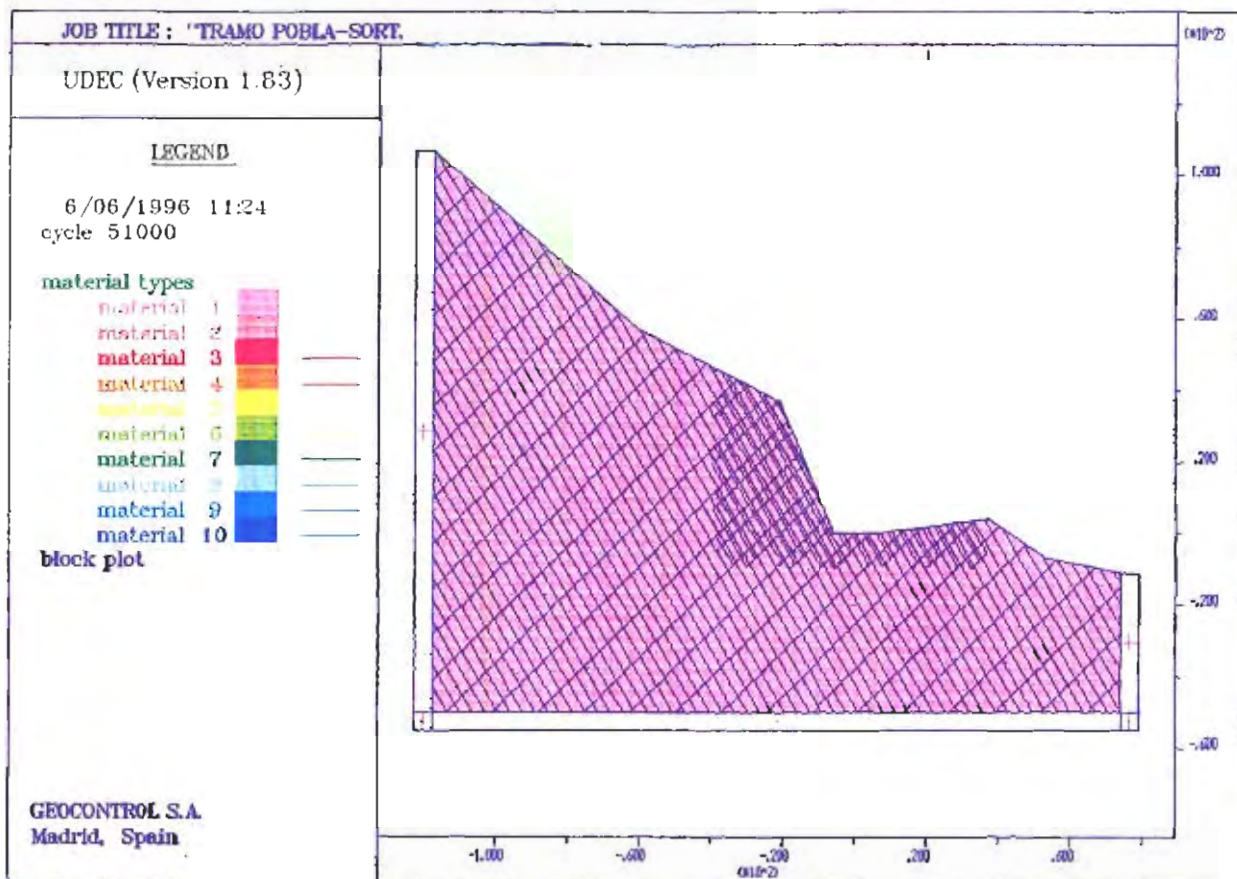


Figura N° 1.- Modelo empleado para el análisis del desmonte del P.K. 11+700.

Una vez obtenido el equilibrio de dicho modelo para las propiedades estimadas de juntas y matriz rocosa, se ha procedido a un análisis de sensibilidad de la estabilidad del talud, como consecuencia del cual se concluye que con una disminución en 2 grados del ángulo de fricción de las juntas, se desencadena una rotura plana, tal como muestra la Figura N° 2.

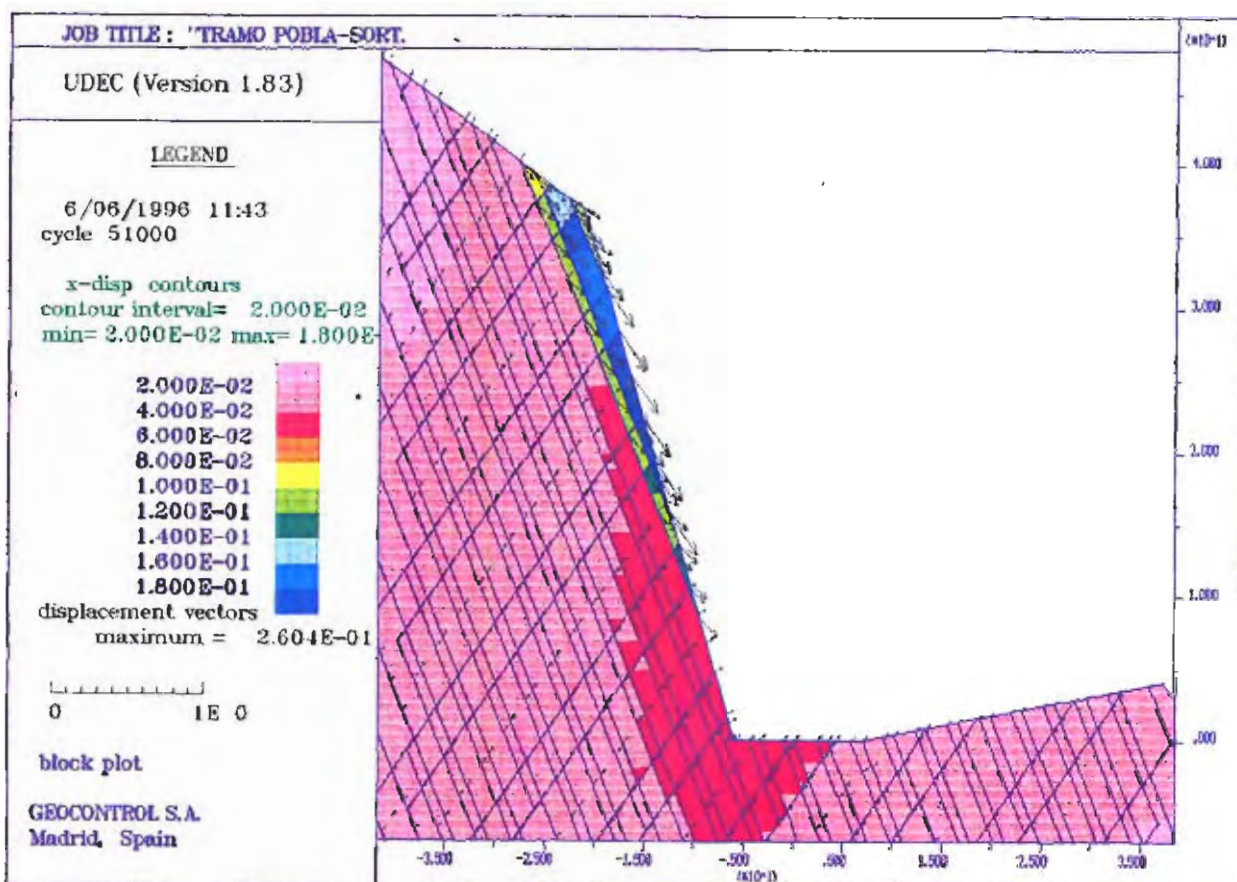


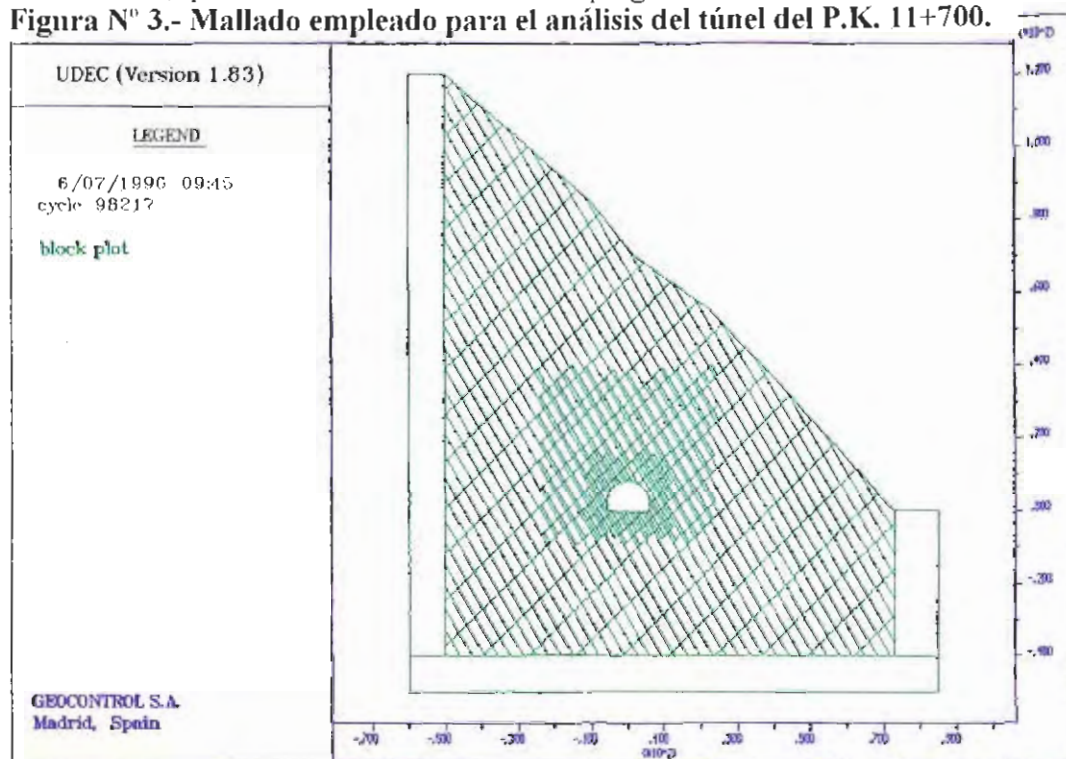
Figura N° 2.- Desplazamientos en estado final, con rotura plana.

Este análisis da idea de la precariedad del equilibrio en que se encuentra este talud. Además, tal y como se pone de manifiesto en el cálculo realizado, el volumen de roca movilizado por el deslizamiento puede llegar a ser muy importante, lo que desaconseja la alternativa de construir un falso túnel en la base del talud, por los problemas de estabilidad del mismo y de mantenimiento de la estructura.

#### d) Dimensionado del Túnel

En la **Figura N° 3** se muestra el modelo de cálculo utilizado, una vez completada la excavación del túnel, que ha sido resuelto mediante el programa UDEC.

**Figura N° 3.- Mallado empleado para el análisis del túnel del P.K. 11+700.**



El modelo comprende 123 m en horizontal y una magnitud variable en vertical, de 40 a 160 m, al corresponder el borde superior del mismo con la topografía real del terreno en el punto de máximo recubrimiento previsto para el túnel, que es de 67 m sobre clave, en el entorno del PK 1+440 del eje del mismo.

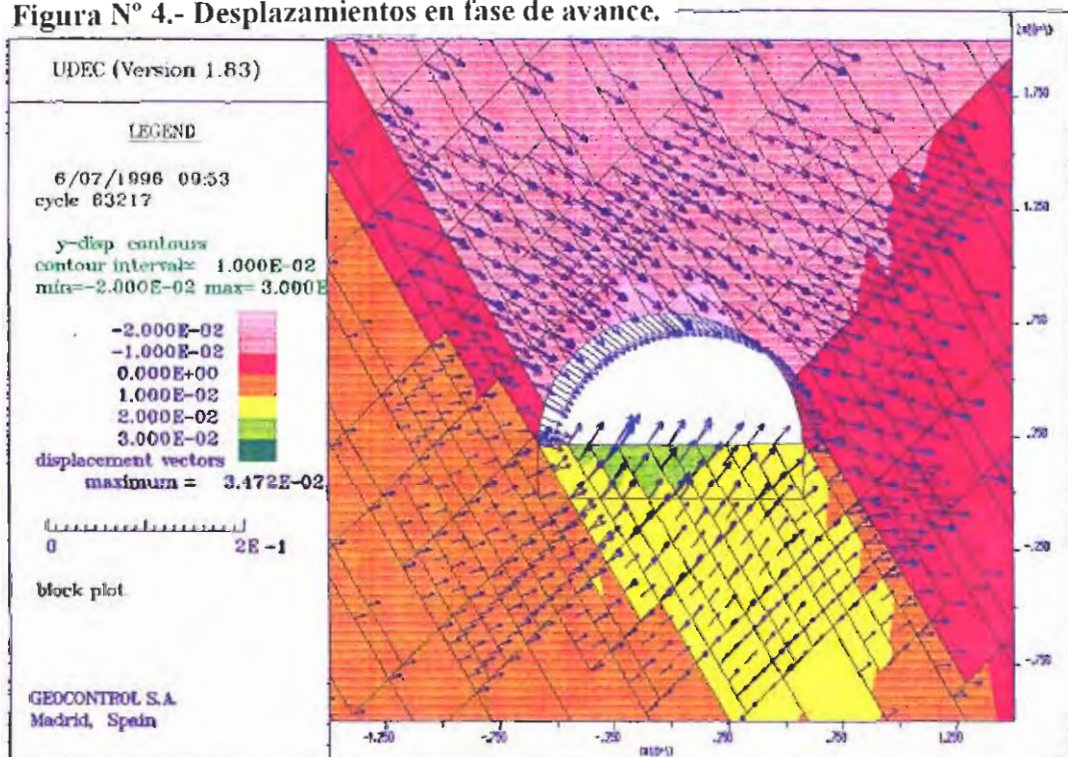
La secuencia constructiva de esta sección se ha modelizado en las siguientes fases:

- i) Fase de asentamiento, para el establecimiento del estado tensional inicial.
- ii) Avance en pases de dos metros, tras el que se coloca un sostenimiento de 15 cm de HP-300 reforzado con 50 Kg/m<sup>3</sup> de fibras de acero y bulones de 25 T de carga axial y 4 m de longitud, espaciados 1,2 m en transversal por 1,5 m en longitudinal.
- iii) Destroza a sección completa, tras la que se completa el sostenimiento colocado en el avance.

Las propiedades de cálculo empleadas se corresponden con las del equilibrio límite empleadas para analizar la estabilidad del talud, que se pueden considerar claramente conservadoras al no considerar que en el interior del macizo rocoso las juntas pueden estar más cerradas, y tener un comportamiento más cohesivo.

Los desplazamientos calculados en la fase de avance se muestran en la **Figura N° 4**. De esta distribución de desplazamientos hay que aclarar que están claramente influenciados por los desplazamientos producidos en la fase previa de cálculo, con la que se obtiene el equilibrio inicial de tensiones en el terreno, que en este modelo tiene una gran asimetría al corresponderse con un talud de gran pendiente.

**Figura N° 4.- Desplazamientos en fase de avance.**



El máximo desplazamiento producido en esta fase de cálculo, excluyendo los producidos en la fase anterior, producirían una bajada de clave de 13 mm, y una convergencia horizontal de 2 mm, medidas tras el pase de avance.

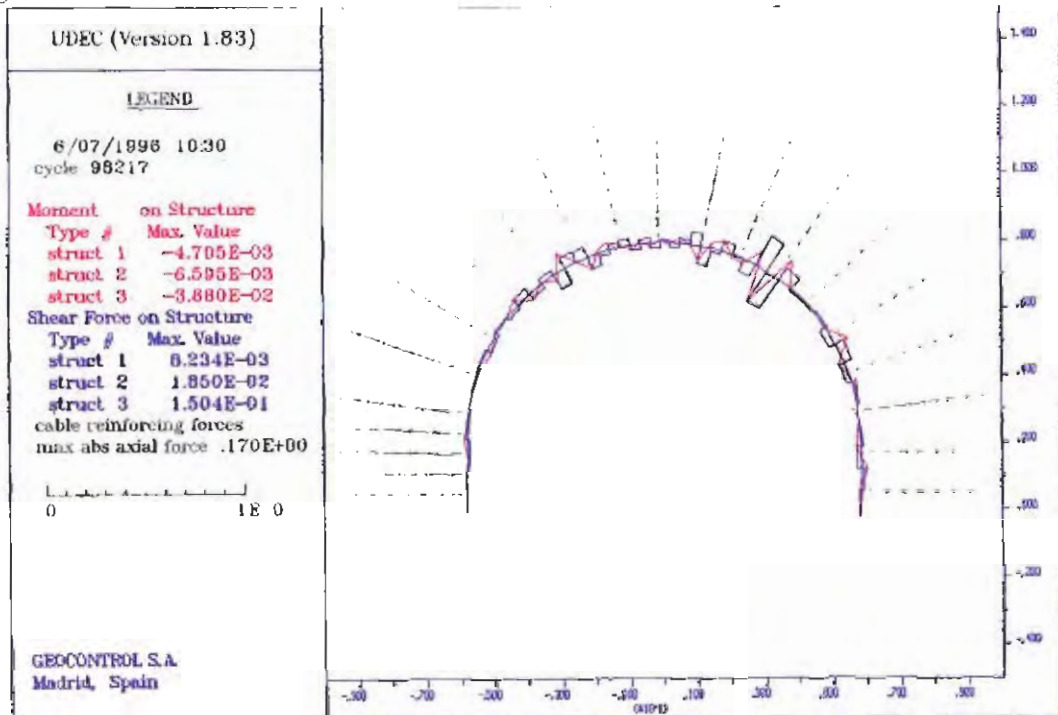
De dicha figura se concluye también que la orientación de las juntas es más desfavorable en el hastial izquierdo, iniciándose un despegue de roca desde la base de la sección excavada, a favor de las juntas de buzamiento Este.

Los desplazamientos calculados indican un incremento de convergencias durante la fase de destroza de **3 mm** en bajada de clave, y de **9 mm** de convergencia horizontal. Es importante señalar la persistencia del despegue producido en el paramento izquierdo a lo largo de las juntas, ya obtenido durante la fase de avance, y ahora extendido al pie del paramento en la fase de destroza.

Es destacable el deslizamiento cortante de las juntas, que da idea de las zonas de debilidad del macizo rocoso, especialmente por la orientación de la fracturación tras el paramento izquierdo del túnel, con el potencial despegue de lajas a favor de las juntas de buzamiento Sur.

Finalmente, se muestra en la **Figura N° 5** las solicitaciones calculadas sobre el sostenimiento.

**Figura N° 5.- Solicitaciones en el sostenimiento tras la finalización de la destroza.**

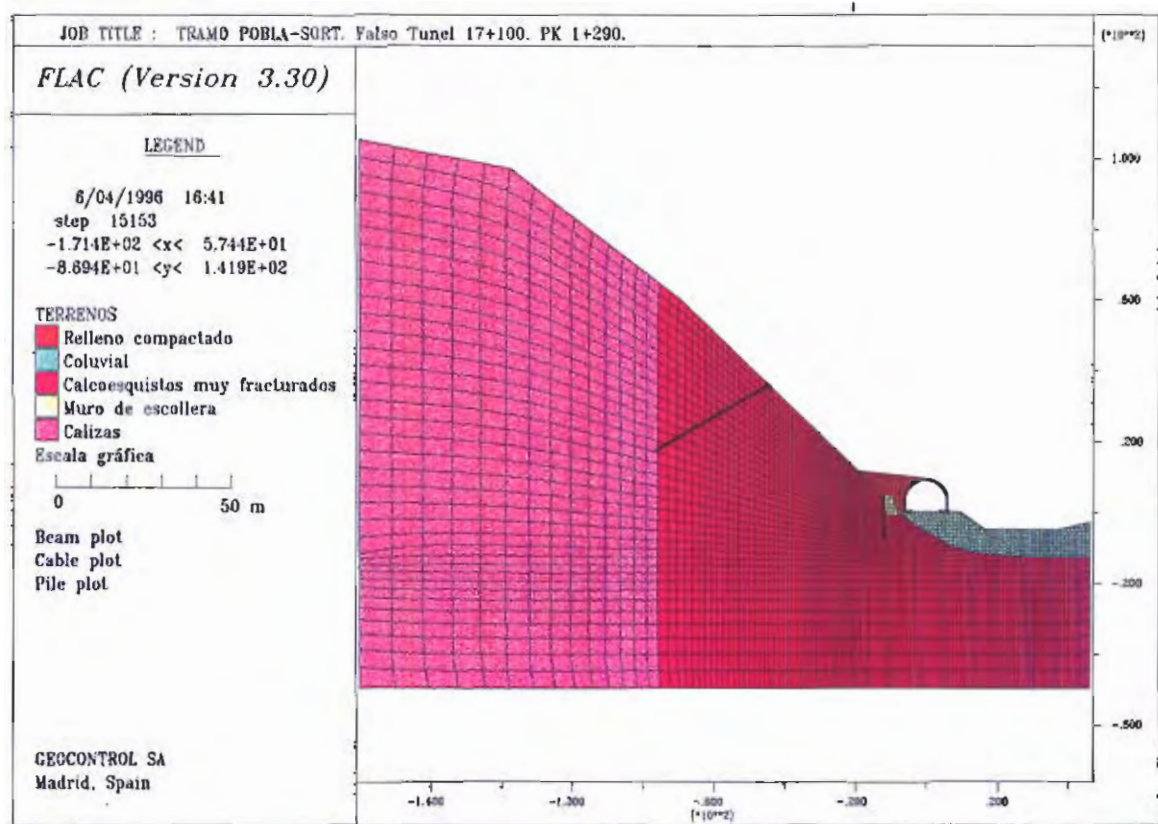


La carga cortante representativa que es de 7,9 T, es absorbido por el sostenimiento con un coeficiente de seguridad de 1,6. Respecto a la sollicitación a flexotracción del sostenimiento, para un incremento de la semiconvergencia inferior a 5 mm, se puede aceptar que las fisuras serán localizadas y no progresarán.

Finalmente, en lo referente a la carga en los bulones, se ha reforzado el paramento izquierdo con dos bulones más por anillo inmediatamente tras la excavación del frente de destroza, con el objeto de prevenir el deslizamiento plano de las cuñas localizadas en dicho paramento. Estos bulones prácticamente alcanzan la máxima carga posible, de 25 T, por lo que durante la construcción del túnel, en función del estado real de la fracturación, habrá que considerar la colocación de bulones complementarios para coser las cuñas que se puedan descalzar en la excavación, especialmente en el hastial lado montaña, que es el más desfavorable. A excepción de estos bulones, que son los más desfavorables, el resto del esquema de bulonado tiene un coeficiente de seguridad superior a 2.

### III. DESMONTE pk 17+100

#### a) Geología



**Figura N<sup>o</sup> 6.- Modelo empleado para el análisis del desmonte del P.K. 17+100.**

Los terrenos que definen el perfil son, en mayor medida, calcoesquistos muy fracturados. Tras el talud, a partir de unos 68 metros de la plataforma el terreno lo componen calizas, mientras que la zona de la plataforma y la cuenca del río está compuesta por un depósito de coluvial.

El modelo está compuesto por 4.320 elementos, abarcando 206 metros en sentido horizontal y 155 metros en sentido vertical. El tamaño de los elementos en la zona de interés es de aproximadamente 1 metro.

Las fases de cálculo en las que se ha resuelto el modelo son las siguientes:

- i) Asentamiento tensional inicial del modelo.
- ii) Rebaje de las propiedades asignadas a los calcoesquistos, para analizar la precariedad del talud, bajando la cohesión de 10 a 4 toneladas y la fricción de 33<sup>o</sup> a 31<sup>o</sup>.
- iii) Recuperación del estado inicial y colocación de un muro anclado con una fila de anclajes y una pantalla de micropilotes, rebajando de nuevo las propiedades de los calcoesquistos.
- iv) Construcción del falso túnel tras el refuerzo del talud y colocación de los rellenos compactados.

El muro anclado está situado a unos 36 metros de altura en el talud, con una altura de 2 metros y un espesor de 40 cm. Los anclajes se colocan cada 2 metros y tienen una longitud

Desde el punto de vista litológico, se han diferenciado tres formaciones:

- Calizas tableadas (D<sub>2</sub>). Calizas grises tableadas sanas, medianamente fracturadas. Formación Basibé. Devónico inferior.
- Calcoesquistos y pelitas (D<sub>1</sub>). Alternancia de niveles pelíticos y calcoesquistos arcillosos de aspecto caótico y tectonizado. Formación Rueda. Devónico inferior.
- Ampelitas (S<sub>1</sub>). Esquistos grafitosos no aflorantes. Silúrico.

#### b) Gectécnia

En el **Cuadro III** se muestran las características mecánicas de las principales fracturas existentes

DIRECCIÓN (°)	BUZAMIENTO (°)	ESPACIADO (m)	CONTINUIDAD (m)	RUGOSIDAD JRC	RELLENO	APERTURA (mm)
N172E	50 W	0,20-1	>20	14-16	Calcita	0-20
N177E	53 E	0,40->1	2-5	12-14	Calcita	0-20
N117E	49 N	0,40-1	2-3	14-16	Calcita	0-20
N058E	61 E	>1	>5	12-14	Calcita	0-20
N093E	60 S	0,20->1	3-5	14-16	Calcita	1-10

**Cuadro III.- Familias de discontinuidad existentes**

Por su parte, en el **Cuadro IV** se incluyen las propiedades mecánicas de los materiales involucrados en este desmonte.

LITOTIPO	RMR	C (MPa)	σ (°)	E (MPa)	ν	D (gr/cm <sup>3</sup> )
Calizas	52	0,80	40	5.000	0,25	2,60
Calcoesquistos muy fracturados en túnel	25	0,15	31	1.185	0,25	2,40
Calcoesquistos muy fracturados en talud	25	0,10	33	850	0,30	2,40

**Cuadro IV.- Propiedades mecánicas del macizo rocoso en el túnel 17+100**

#### c) Análisis del desmonte I (Alternativa en falso túnel)

En la **Figura N° 6** se muestra el modelo numérico empleado en su situación final. Dicho modelo representa el perfil geotécnico correspondiente al considerado como el punto más crítico. La topografía del perfil está definida por una plataforma de 17 metros de anchura, a la izquierda de la cual se sitúa un talud de 60 metros de altura y pendiente de unos 44° transcurriendo el terreno tras este punto con una pendiente natural de unos 38° que se suaviza posteriormente. A la derecha de la plataforma se encuentra la cuenca del río.



de 37,5 m de los cuales 12,5 m lo constituyen el bulbo. El anclaje está compuesto por 7 cables de 0,6 pulgadas tesados a 100 toneladas.

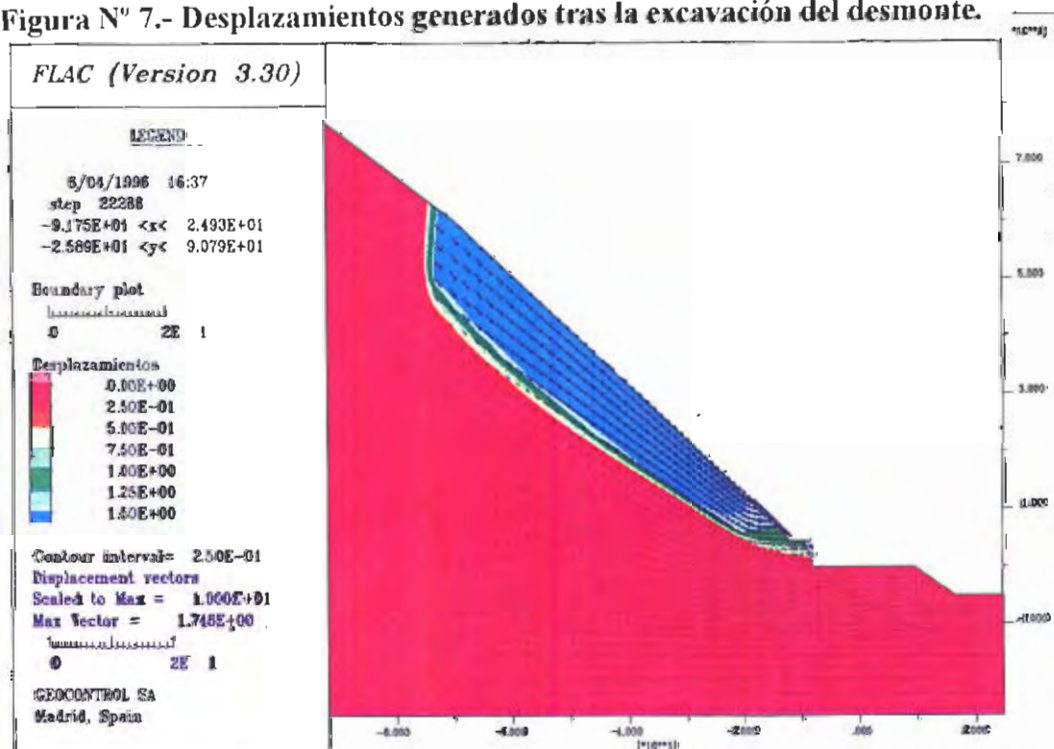
Por otro lado, la pantalla de micropilotes está compuesta por perfiles IPN-160 dentro de tubos de 200 mm de diámetro exterior y 8 mm de espesor. La longitud de los micropilotes es de 12 metros y el espaciado entre los mismos es de 60 cm entre ejes.

Finalmente, la estructura del falso túnel posee 1 metro de espesor, habiéndose considerado el peso propio de la misma.

En primer lugar se ha calculado la estabilidad del talud sin refuerzo; para ello se han ido rebajando las propiedades de los calcoesquistos con objeto de intentar simular los fenómenos de inestabilidad observados en la realidad.

En este sentido, se ha observado que bajando las propiedades de cohesión y fricción de los calcoesquistos hasta 4 toneladas y  $31^\circ$ , respectivamente, se produce la rotura global del talud por un círculo de deslizamiento, tal y como se muestra en la **Figura N° 7** en la que se ha representado la magnitud de los desplazamientos. Si bien las roturas observadas en la realidad se corresponden a deslizamientos más localizados, se ha asumido la posibilidad de este comportamiento.

**Figura N° 7.- Desplazamientos generados tras la excavación del desmante.**



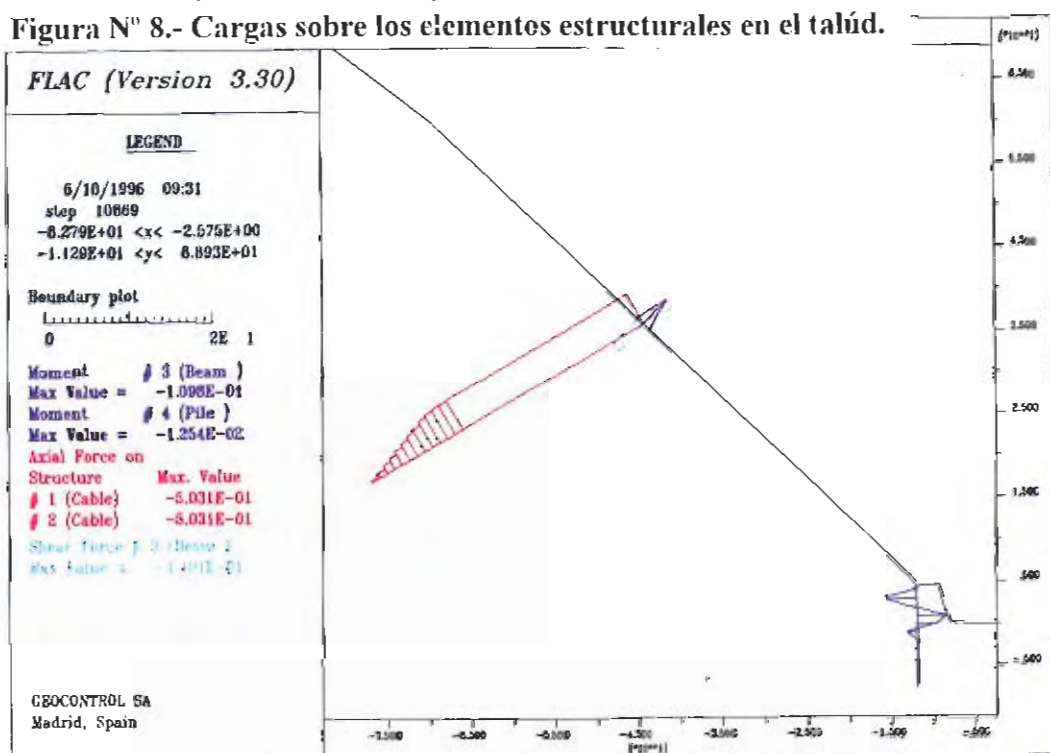
Este empeoramiento de las propiedades podría justificarse por el alto nivel de fracturación que alcanzan los calcoesquistos, que podrían tener un comportamiento más parecido a un suelo blando, y que con la aparición de las lluvias hace perder competencia a éstos.

Por este motivo se ha creído conveniente la estabilización del talud previamente a la construcción del falso túnel, mediante un muro anclado de 2 m de ancho y 40 cm de espesor,

con anclajes tensados a 100 t colocados cada 2 m, y 37,5 m de longitud de los cuales 12,5 m lo constituyen el bulbo de anclaje. El bulbo de anclaje no se ha situado dentro de la zona correspondiente a las calizas, puesto que actualmente no se conoce la posición del contacto con éstas.

Además, se ha situado una pantalla de micropilotes de 12 m de profundidad en la cabeza del muro de escollera, con objeto de asegurar el pie del talud. El espaciado entre micropilotes, armados con un tubo de 200 mm de diámetro y un perfil IPN-J60 en su interior, es de 60 cm entre ejes.

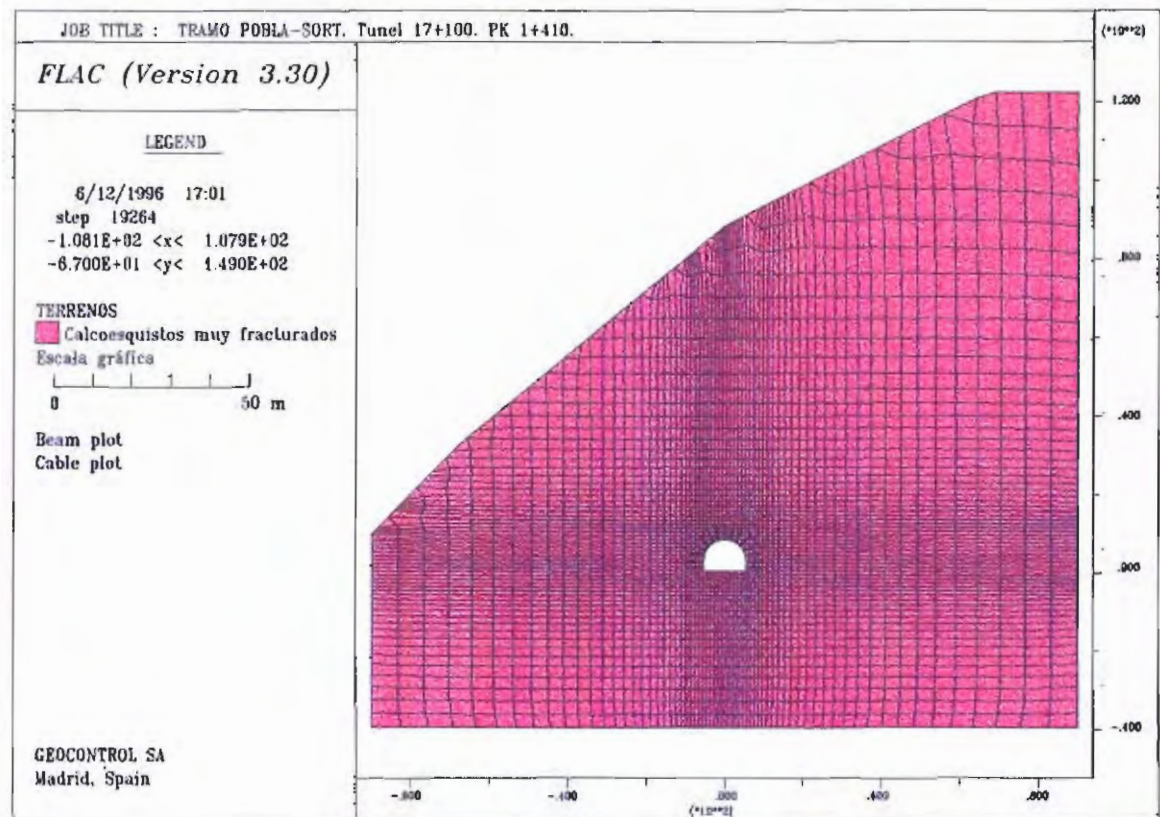
La Figura N° 8 muestra los esfuerzos obtenidos sobre los elementos estructurales. La carga obtenida sobre el anclaje resulta ser de 100,62 t por lo que ha experimentado un incremento prácticamente despreciable de su carga de tesado.



En el muro anclado se registra un momento flector máximo de 21,96 m.t y un cortante máximo de 0,752 m.t en cada micropilote; si bien el momento flector que soporta cada micropilote es muy inferior a su capacidad resistente, es preciso resaltar la importancia de la rigidez del elemento para evitar plastificaciones del terreno que puedan desencadenar una rotura.

#### d) Alternativa en túnel

En la Figura N° 9 se muestra el modelo numérico empleado en su situación final. Dicho modelo representa el perfil geotécnico correspondiente al PK 1+410, orientado hacia PKs decrecientes, considerado el punto más crítico para el cálculo donde el recubrimiento es máximo.



**Figura N° 9.- Mallado empleado para el análisis del túnel del P.K. 17+100.**

La superficie del perfil está definida por una ladera con una pendiente media de unos  $42^\circ$  en la parte inferior de la misma, y de unos  $27^\circ$  en la parte superior. El recubrimiento del túnel sobre rasante es de 88 metros.

Los terrenos que componen el perfil se han asumido que están compuestos en su totalidad por calcoesquistos muy fracturados.

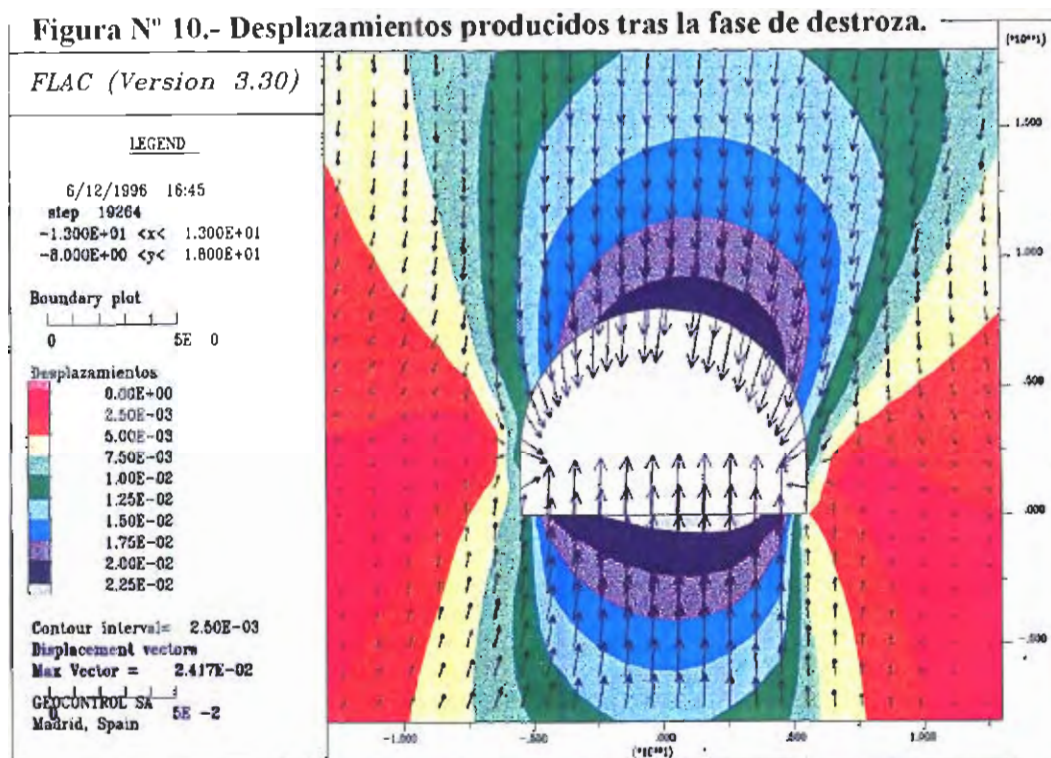
El modelo está compuesto por 4.030 elementos, abarcando 180 metros en sentido horizontal y 172 metros en sentido vertical. El tamaño de los elementos en la zona de interés es de aproximadamente 1 metro.

Las fases de cálculo en las que se ha resuelto el modelo son las siguientes:

- i) Excavación de la fase de avance en pases de 1,5 metros, con el correspondiente efecto frente de sustentación de la excavación.
- ii) Colocación del sostenimiento en avance mediante bulones y hormigón proyectado y avance del frente.
- iii) Endurecimiento del hormigón proyectado en avance y excavación de la destroza en pases de 2,5 metros con su correspondiente efecto frente.
- iv) Colocación del sostenimiento de bulones y hormigón proyectado en destroza. Avance del frente de la destroza.

El sostenimiento se ha diseñado con una capa de 15 cm de hormigón proyectado y bulones de 4 m de longitud y 25 mm de diámetro con un espaciado de 1,5 m en transversal y 1 m en longitudinal. El sellado no se considera como elemento estructural en los cálculos.

Los desplazamientos del terreno producidos tras la fase de destroza, reflejados en la **Figura N° 10**, experimentan un incremento poco significativo con respecto a la fase de avance; predominando los descensos de clave, con un valor máximo de 20 mm, y los levantamientos de solera que alcanzan los 24 mm. La convergencia horizontal máxima medida en esta fase es de unos 12 mm, con lo que el incremento de convergencia con respecto a la fase de avance es de 2 mm.



Finalmente, en la **Figura N° 11** se muestran los esfuerzos obtenidos sobre los elementos estructurales.

La carga axial máxima soportada por los bulones se produce en los bulones primero y último de los colocados en la fase de avance, alcanzando una carga máxima de 11,5 t, lo que implica un coeficiente de seguridad mínimo para los bulones de 2,17.

En cuanto al hormigón proyectado, éste alcanza un valor máximo de 1,88 m.t, concentrándose los valores máximos en los hastiales del túnel. Estos resultados, junto con la necesidad de obtener una seguridad lo más cerca del frente debido a la baja competencia del terreno, apuntan a la necesidad de colocar cerchas de sostenimiento. Estas cerchas se han previsto que se coloquen con un espaciado entre ejes de 1 m.

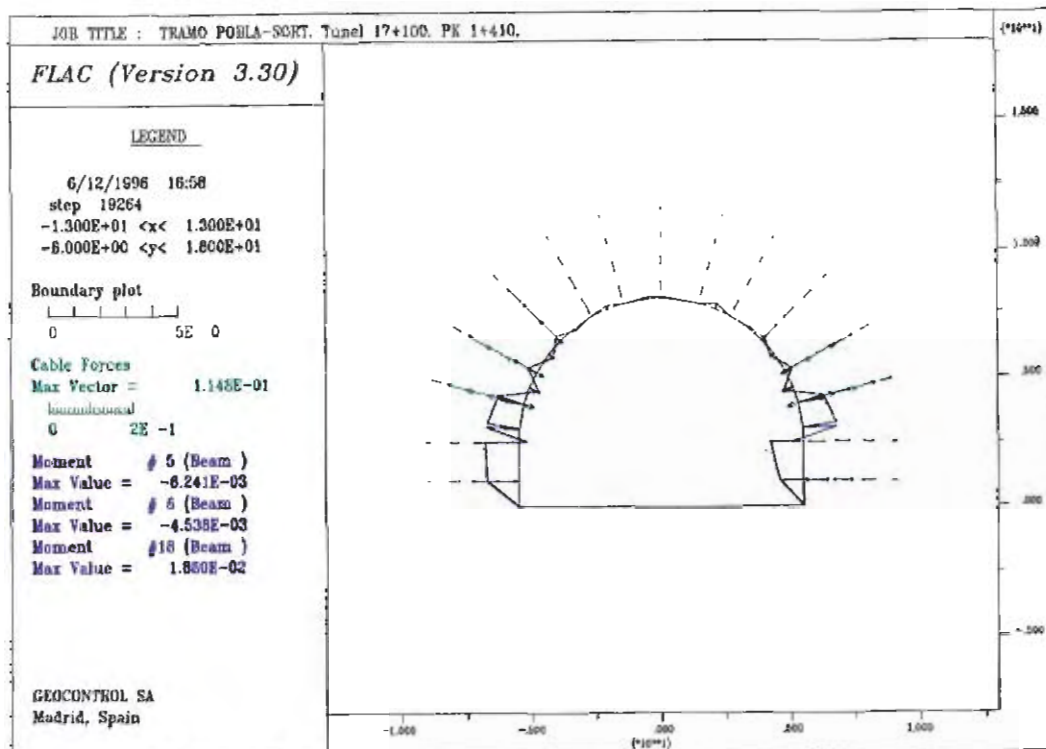


Figura N° 11.- Solicitaciones sobre el sostenimiento tras la excavación de la destroza.

#### IV. CONCLUSIONES

##### a) Desmorte pk 11+700

Los cálculos de estabilidad realizados indican la estabilidad precaria en que se encuentra este talud, pudiendo movilizarse importantes volúmenes de roca. El análisis de dimensionado de la solución túnel, indica la existencia de problemas muy locales y de menos envergadura.

##### b) Desmorte pk 17+100

Dado que el volumen de tierra a sustentar en la ladera para la alternativa en falso túnel es importante, y puesto que el nivel de seguridad que se obtiene con esta alternativa es más precario que en la alternativa túnel, se considera mucho más adecuada la solución túnel.

Por otro lado, en la solución falso túnel la estabilidad del talud está confiada principalmente a un solo elemento, que son los anclajes, por lo que el fallo de éstos anulará la efectividad del muro anclado. Asimismo, los anclajes exigen una conservación que requiere mucha atención para evitar la degradación de los mismos por la corrosión; sin embargo, en la solución túnel el sostenimiento está repartido entre los bulones, las cerchas, y el hormigón proyectado, estando además provisto el túnel de un revestimiento que va a actuar como refuerzo del sostenimiento en caso de la degradación de los bulones.

Es por estos motivos por los que se opta por la alternativa túnel, en detrimento de la alternativa en falso túnel; ya que el grado de seguridad que se consigue con la solución túnel es totalmente satisfactorio y mucho más elevado que con la alternativa de falso túnel.



---

# **ELIMINACIÓN DE TALUDES INESTABLES DE GRAN ALTURA MEDIANTE TÚNELES EN EL EJE PIRENAICO**

**JUAN ANTONIO ROMERO, MINISTERIO DE FOMENTO**

**JOSÉ MARÍA ARIAS, INFRAES, S.A.**

**JOSÉ MIGUEL GALERA, GEOCONTROL**



## **1.- INTRODUCCIÓN-ANTECEDENTES**

- **LA UNIDAD DE CARRETERAS DE LLEIDA DE LA DEMARCACIÓN DE CARRETERAS DEL ESTADO EN CATALUÑA. DECIDIÓ LA REALIZACIÓN DE UN PROYECTO DE “MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES Y CORRECCIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL EN EL TRAMO LA POBLA-SORT DE LA N-260”**
  
- **EXISTEN TRES TALUDES DE GRAN ALTURA, MÁS DE 60 m, DE LOS QUE DOS POSEEN UN LARGO HISTORIAL DE INESTABILIDADES SIN QUE HASTA LA FECHA SE PUEDA GARANTIZAR SU ESTABILIDAD (PK 11+700 Y PK 17+100).**



## 2.- DESMONTE PK 11+700

- **GEOLOGÍA.- CONGLOMERADOS Y ARENISCAS DEL BUNT, BUZANDO 70°N HACIA LA CARA LIBRE DEL DESMONTE**
- **GEOTECNIA.-**

DIRECCIÓN (°)	BUZAMIENTO (°)	ESPACIADO (m)	CONTINUIDAD (m)	RUGOSIDAD JRC	RELLENO	APERTURA (mm)
N110E	70 N	0,20-0,60	>20	10-12	----	1-10
N086E	53 S 55 N	>1,0	1->20	10-12	----	0-10
N139E	74 W	0,40	2	12-14	----	0-5
N032E	89E 30W	0,10-1,0	2->20	12-14	----	0-5
N176E	50E	>1,0	>20	10-12	----	1-5

**Cuadro I.- Familias de discontinuidad existentes.**

LITOTIPO	RMR	C (MPa)	$\phi$ (°)	E (MPa)	v	d (gr/cm <sup>3</sup> )
Areniscas y conglomerados del Bundt	40	6	54	4.400	0,30	2,65

**Cuadro II.- Propiedades mecánicas del macizo rocoso en el túnel 11+700**





## **2.1.- ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DEL DESMONTE**

- **SE HA REALIZADO UN CÁLCULO CON EL PROGRAMA UDEC, QUE PONE DE MANIFIESTO QUE CON UNA DISMINUCIÓN DE 2° EN EL ÁNGULO DE FRICCIÓN DE LAS JUNTAS, SE DESENCADENA UNA ROTURA PLANA.**
  
- **EL VOLÚMEN DE ROCA MOVILIZADO PUEDE LLEGAR A SER MUY IMPORTANTE.**



## **2.1.- ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DEL DESMONTE**

- SE HA REALIZADO UN CÁLCULO CON EL PROGRAMA UDEC, QUE PONE DE MANIFIESTO QUE CON UNA DISMINUCIÓN DE 2° EN EL ÁNGULO DE FRICCIÓN DE LAS JUNTAS, SE DESENCADENA UNA ROTURA PLANA.**
  
- EL VOLÚMEN DE ROCA MOVILIZADO PUEDE LLEGAR A SER MUY IMPORTANTE.**



## **2.2.- DIMENSIONADO DEL TÚNEL**

– **SE HA REALIZADO UN MODELO GEOTÉCNICO RESUELTO CON EL PROGRAMA UDEC.**

– **LA SECUENCIA CONSTRUCTIVA MODELIZADA ES:**

**i.- Asentamiento**

**ii.- Avance en fases de dos metros**

**iii.- Colocación del sostenimiento (15 cm de HP-300, bulones de 4 m;  $e_r=1,2$ ;  $e_t=1,5$  m)**

**iv.- Destroza hasta sección completa**

**v.- Finalización del sostenimiento**

– **RESULTADOS**

– **Gran asimetría en los desplazamientos debido al talud inicial.**

– **El hastial izquierdo es más desfavorable por la orientación de las juntas.**

– **Las convergencias estimadas son de 13 mm para la vertical, 2 mm para la horizontal; con incrementos respectivos de 3 y 9 mm en la fase de destroza.**

– **Los coeficientes de seguridad en el sostenimiento son de 1,6 para la gunita y superior a 2 en el bulonaje.**



### **3.- DESMONTE PK 17+100**

– **GEOLOGÍA.- SE HAN DIFERENCIADO TRES FORMACIONES:**

- **Calizas tableadas**
- **Calcoesquistos y pelitas tectonizadas**
- **Ampelitas**

– **GEOTECNIA.-**

DIRECCIÓN (°)	BUZAMIENTO (°)	ESPACIADO (m)	CONTINUIDAD (m)	RUGOSIDAD JRC	RELLENO	APERTURA (mm)
N172E	50 W	0,20-1	>20	14-16	Calcita	0-20
N177E	53 E	0,40->1	2-5	12-14	Calcita	0-20
N117E	49 N	0,40-1	2-3	14-16	Calcita	0-20
N058E	61 E	>1	>5	12-14	Calcita	0-20
N093E	60 S	0,20->1	3-5	14-16	Calcita	1-10

**Cuadro III.- Familias de discontinuidad existentes**

LITOTIPO	RMR	C (MPa)	$\phi$ (°)	E (MPa)	$\nu$	D (gr/cm <sup>3</sup> )
Calizas	52	0,80	40	5.000	0,25	2,60
Calcoesquistos muy fracturados en túnel	25	0,15	31	1.185	0,25	2,40
Calcoesquistos muy fracturados en talud	25	0,10	33	850	0,30	2,40

**Cuadro IV.- Propiedades mecánicas del macizo rocoso en el túnel 17+100**



### **3.1.- ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DEL DESMONTE**

- SE HA REALIZADO UN MODELO GEOTÉCNICO RESUELTO CON EL PROGRAMA FLAC**
- LAS FASES DE CÁLCULO EN LAS QUE SE HA RESUELTO EL MODELO SON LAS SIGUIENTES:**
  - i.- Asentamiento tensional inicial del modelo**
  - ii.- Rebaje de las propiedades asignadas a los calcoesquistos, para analizar la precariedad del talud, bajando la cohesión de 10 a 4 toneladas y la fricción de 33° a 31°**
  - iii.- Recuperación del estado inicial y colocación de un muro anclado con una fila de anclajes y una pantalla de micropilotes, rebajando de nuevo las propiedades de los calcoesquistos**
  - iv.- Construcción del falso túnel tras el refuerzo del talud y colocación de los rellenos compactados**
- EL MURO ANCLADO ESTÁ SITUADO A 36 m DE ALTURA, POSEE UNA ALTURA DE 2 m Y 40 cm DE ESPESOR. LOS ANCLAJES SE COLOCAN CADA 2 m Y SON DE 37,5 m DE LONGITUD**
- LA PANTALLA DE MICROPILOTES ESTÁ COMPUESTA POR PERFILES IPN-160 EN TUBOS  $\phi$  200 DE 12 m, Y CON UN ESPACIADO DE 60 cm.**



### **3.2.- DIMENSIONADO DEL TÚNEL**

– **SE HA REALIZADO UN MODELO GEOTÉCNICO RESUELTO CON EL PROGRAMA FLAC**

– **LAS FASES DE CÁLCULO SON LAS SIGUIENTES:**

**i.- Excavación en avance en pases de 1,5 m**

**ii.- Colocación del sostenimiento y avance del frente (15 cm HP y bulones de 4 m  $e_r=1,5$  m;  $e_t=1$  m; cerchas TH-29 a 1 m)**

**iii.- Endurecimiento del HP y excavación de la destroza en pases de 2,5 m**

**iv.- Colocación del sostenimiento en destroza. Avance del frente.**

– **RESULTADOS**

– **La convergencia vertical es de 26 mm, mientras que la convergencia horizontal es de 12 mm**

– **La destroza incrementa estos valores unos 2 mm.**

– **Los coeficientes de seguridad son de 2,17 para el bulonaje, justificándose las cerchas por el momento flector de 1,88 mt.**



## **4.- CONCLUSIONES**

### **a) DESMONTE 11+700**

- **Los cálculos efectuados indican una precaria estabilidad en el desmonte mientras que en la solución túnel los problemas son locales y de escasa envergadura**

### **b) DESMONTE 17+100**

- **El volumen de tierra inestable así como el precario estado de estabilidad que se obtiene mediante un importante refuerzo, aconseja la solución túnel.**
- **En la solución desmonte-falso túnel la estabilidad se confía básicamente a los anclajes, que exigen una conservación esmerada.**
- **En el túnel el sostenimiento se reparte entre bulones, HP y cerchas, además del revestimiento final.**