



JORNADA SOBRE
ESTABILIDAD DE TALUDES
Y SU IMPORTANCIA
EN LA RESTAURACIÓN
DE EXPLOTACIONES MINERAS



“La inestabilidad de los taludes de explotaciones mineras:
prevención, corrección y control”



Itziar (Guipúzcoa)



Sierra Puerta (Murcia)

28 enero de 2020



Prevención a través del adecuado desarrollo de los trabajos para realizar

INFORMES GEOTÉCNICOS: Su objetivo es comprobar la compatibilidad entre la **geometría de la explotación y la resistencia mecánica del macizo** de roca y **garantizar la seguridad de las operaciones mineras.**

- Procedimientos establecidos, según geometría, materiales y cargas. (*)
- Conocer las direcciones favorables de excavación.
- Establecimiento de taludes finales orientativos.

SEGUIMIENTO GEOTÉCNICO: **Inspección de campo** (bermas superiores) y labor **de saneo de bloques inestables.** Análisis de incidentes, accidentes y control de movimientos.

Decisiones en relación con la **evolución del estado de los frentes** en las diferentes zonas explotadas cuando se hayan realizado los primeros 3/4 bancos.

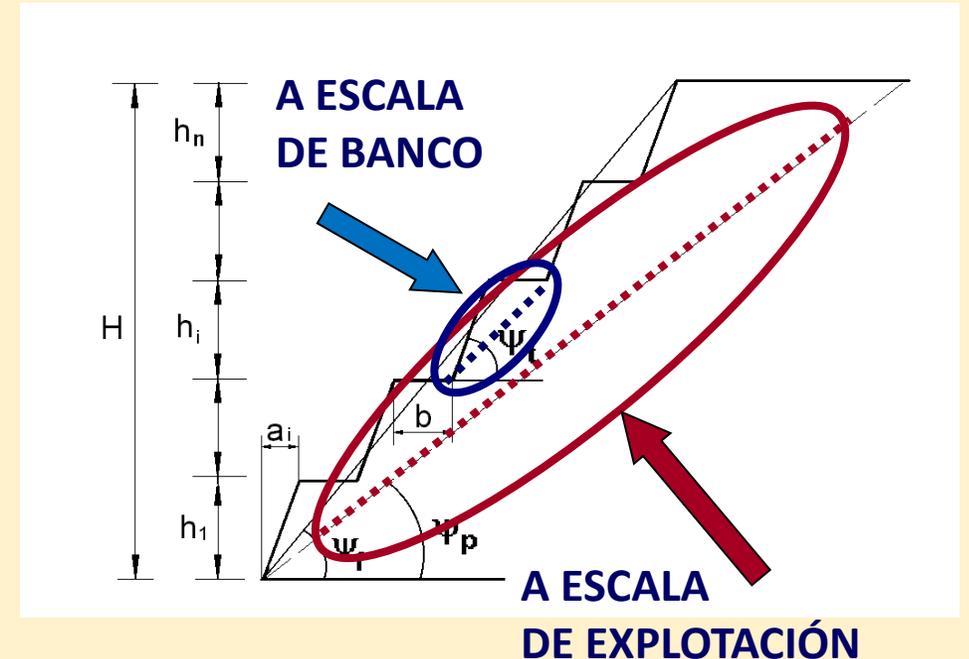
INFORME GEOTÉCNICO DE ABANDONO: Diseño y estabilidad del talud definitivo (utilizando toda la experiencia). Medidas de mantenimiento de la estabilidad (formas de excavación, drenajes, revestimientos, sostenimientos, bermas y protección ante desprendimientos) y de adecuación con el uso final (revegetación, vallado...)

() Estabilidad de taludes en la práctica: conceptos básicos y aplicación de los métodos de diseño y evaluación de la estabilidad*



Índice Informe Geotécnico

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO
2. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL MACIZO
3. CARACTERÍSTICAS **MECÁNICAS DE LA ROCA**
4. CARACTERÍSTICAS **GEOMÉTRICAS DEL DIACLASADO**
 - GEOMETRÍA DE LAS FRACTURAS: MAPAS DE DENSIDAD
 - GEOMETRÍA DE LAS FRACTURAS: EXTENSIÓN
 - INESTABILIDADES POTENCIALES: BLOQUES DIAGRAMA PARA CADA ORIENTACIÓN DE FRENTES.**
5. CONDICIONES **MECÁNICAS DE LAS JUNTAS**: ECUACIÓN DE BARTON
6. COMPORTAMIENTO **MECÁNICO DEL MACIZO DE ROCA**: ECUACIÓN DE HOEK
7. CONDICIONES MECÁNICAS DE LAS **ROCAS DEL TECHO y MURO**
8. CONDICIONES MECÁNICAS DE **RELLENOS Y ESCOMBRERAS**.
9. EVALUACIÓN DE LAS **INESTABILIDADES PRODUCIDAS POR EL DIACLASADO**
 - EVALUACIÓN DE ROTURAS PLANAS: MÉTODO DE CÁLCULO
 - EVALUACIÓN DE ROTURAS PLANAS: **CARGAS APLICADAS**
 - EVALUACIÓN DE **ROTURAS PLANAS**: RESULTADOS
 - EVALUACIÓN DE **ROTURAS EN CUÑA**: RESULTADOS
 - EVALUACIÓN DE BANCOS DEL CONTRA-TALUD
10. **TALUD FINAL (SECCIONES POR ZONAS)**
 - RESULTADOS SECCIÓN 1/10
 - TALUDES DE EXPLOTACIÓN SEGUROS
 - TALUDES FINALES EXPLOTACIÓN
 - ANÁLISIS DE DESPRENDIMIENTOS/SISTEMAS DE DRENAJE/SOSTENIMIENTOS
11. **CONCLUSIONES DEL ESTUDIO**
 - SOBRE LA NATURALEZA DE LA ROCA, EL DIACLASADO Y LOS BLOQUES
 - SOBRE LA ESTABILIDAD DE BLOQUES Y CUÑAS
 - SOBRE LOS TALUDES FINALES
 - SOBRE ESCOMBRERAS Y RELLENOS
12. **SEGURIDAD DEL LABOREO EN LA CANTERA**: MEDIDAS Y RECOMENDACIONES
13. ANEXO I SONDEOS y ENSAYOS MECÁNICOS
14. ANEXO II MEDIDAS DE DIACLASADO
15. PLANOS





LOS PROCEDIMIENTOS GEOTÉCNICOS SE BASAN EN EL CONOCIMIENTO DE LA INESTABILIDAD (ISRM-SEMR)

Causas de inestabilidad

Onda 2008 (Castellón)



Excavación a favor de la estratificación





Contacto con filitas
alteración de la dolomía a siderita y limonita



Cabezo Gordo 2001 (Cartagena)

Descalce grandes fragmentos



Macael 2009 (Almería)

Material blando dorso de excavación y planos de discontinuidad

Regente 2019 (Cartagena)

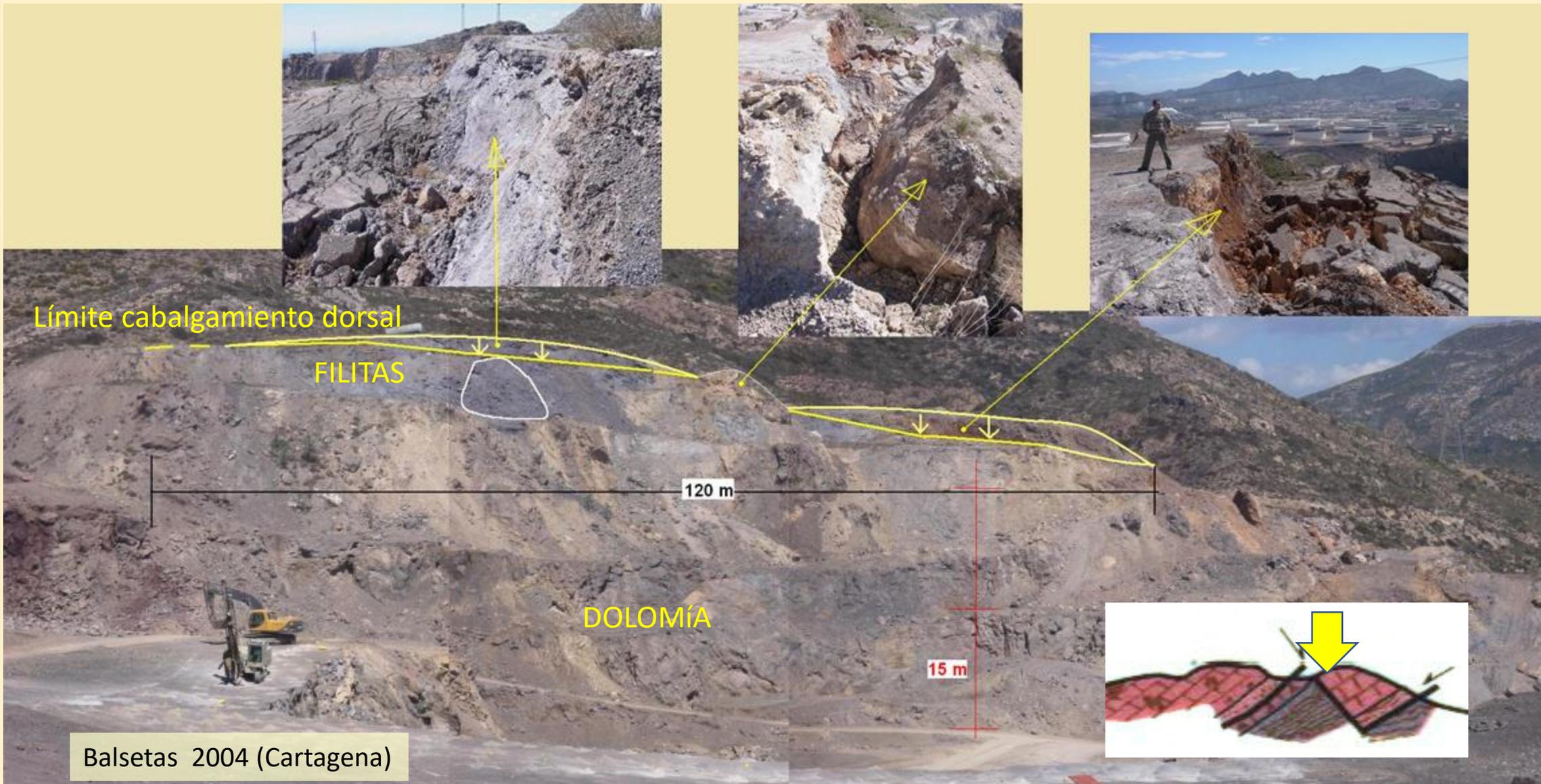


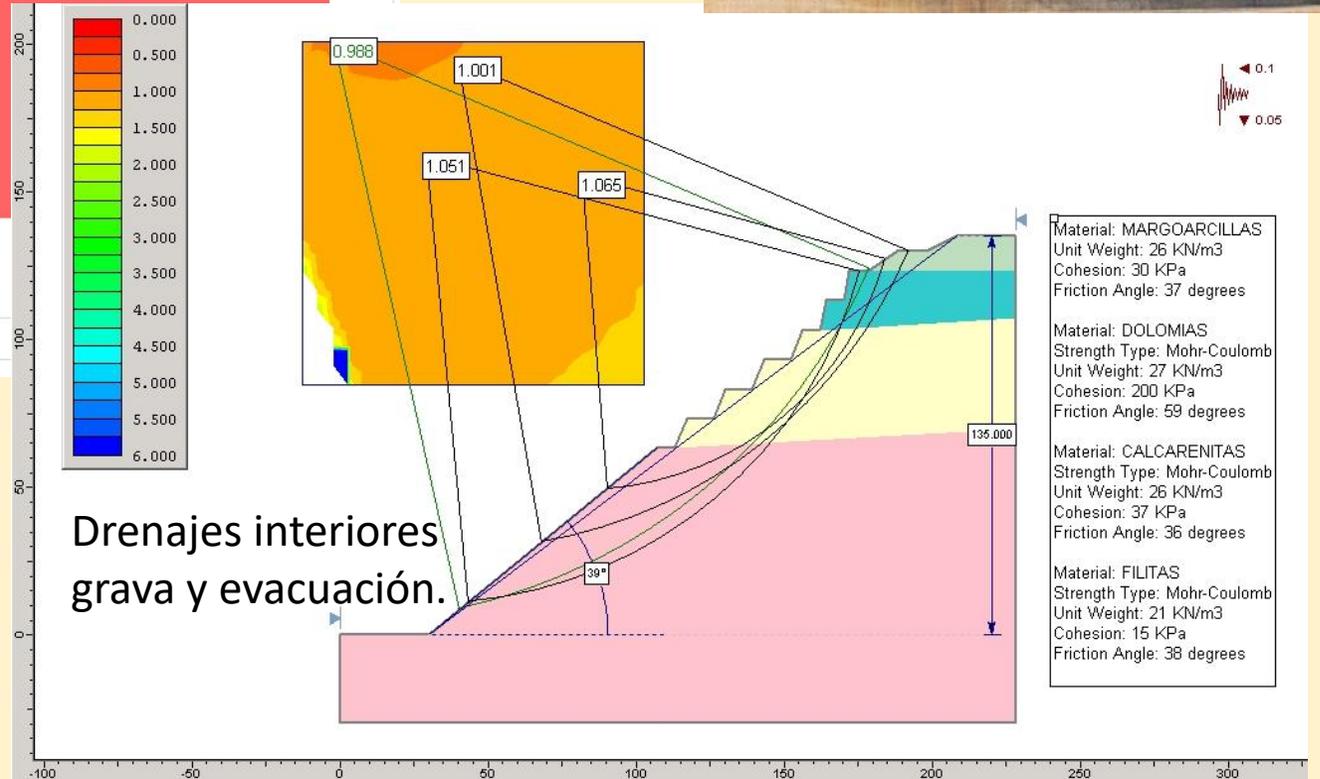
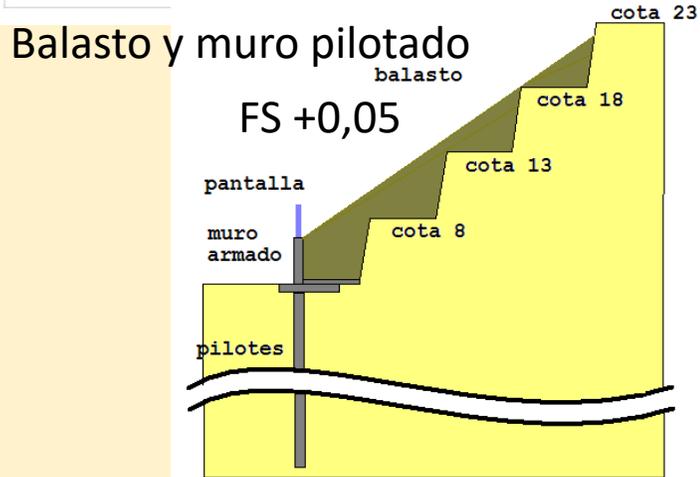
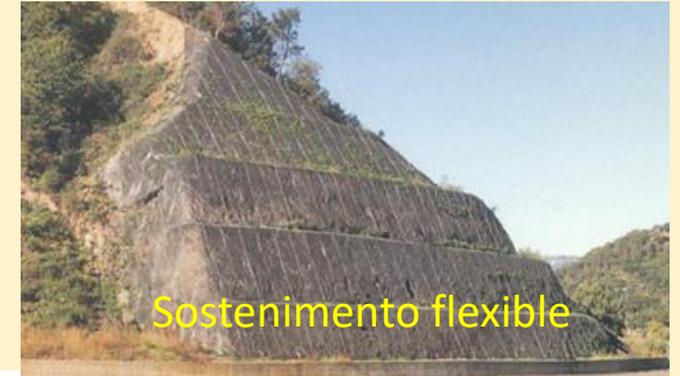
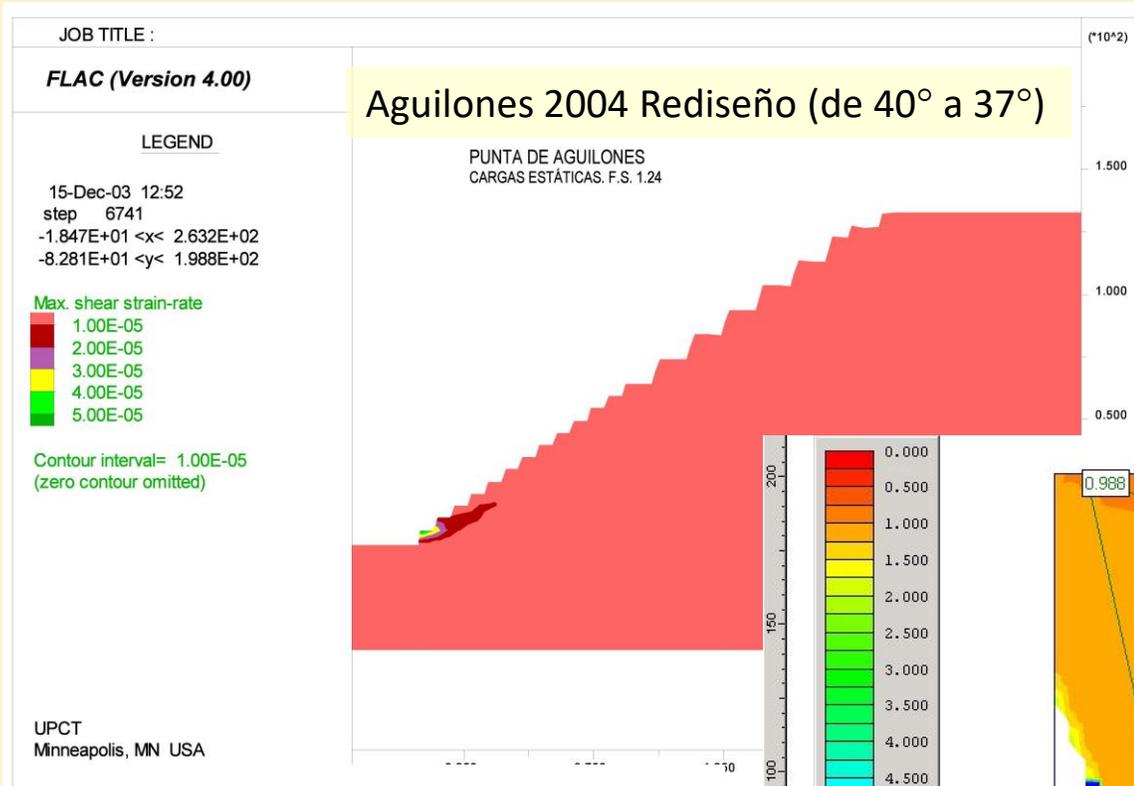
Construcción camino en cabecera





Material blando dorso de excavación y planos de discontinuidad







Precorte 70 m superiores

Aguilones 2009 Ejecución



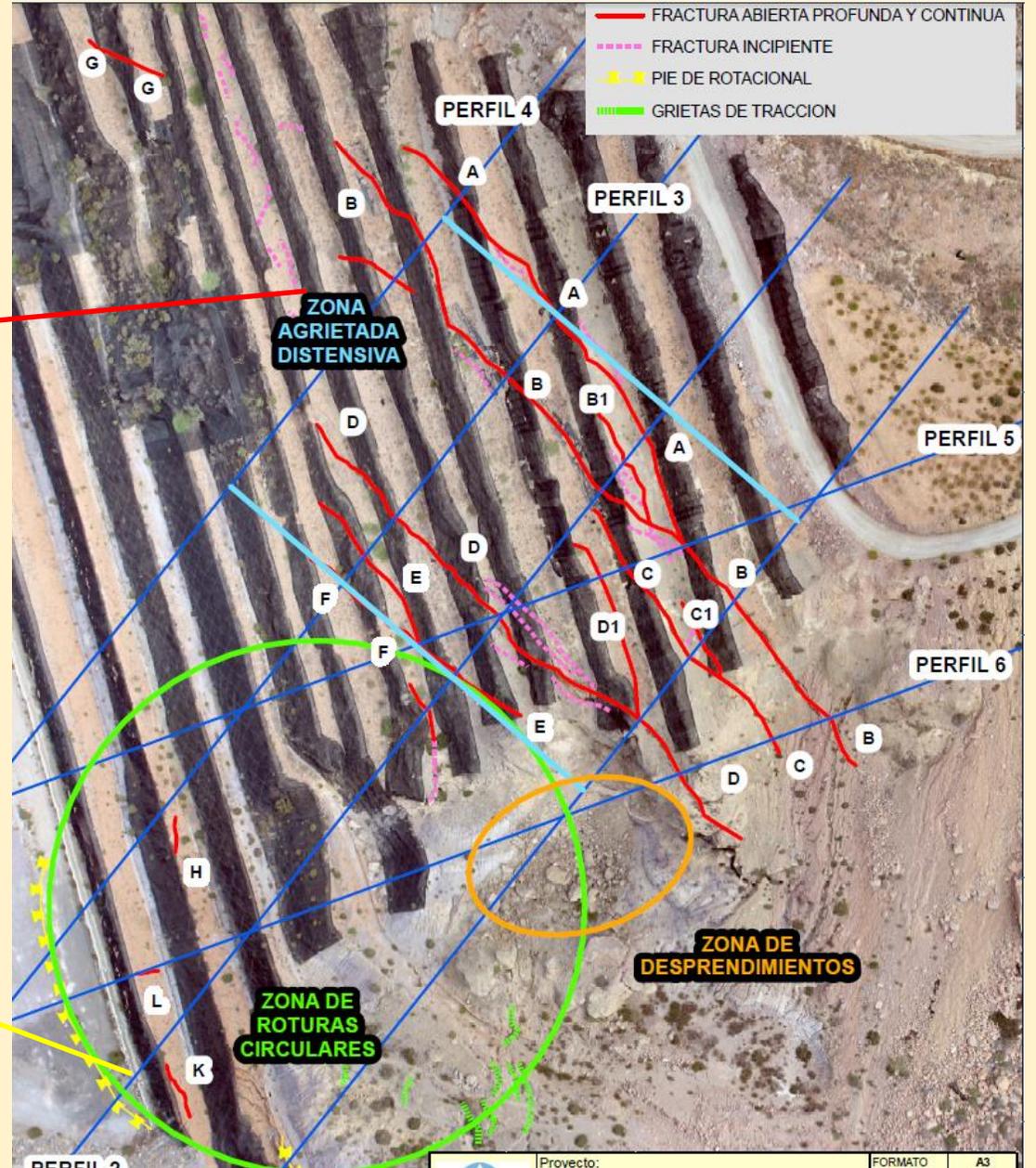
135

Filitas 10 m (60°)



Sin Pilotes

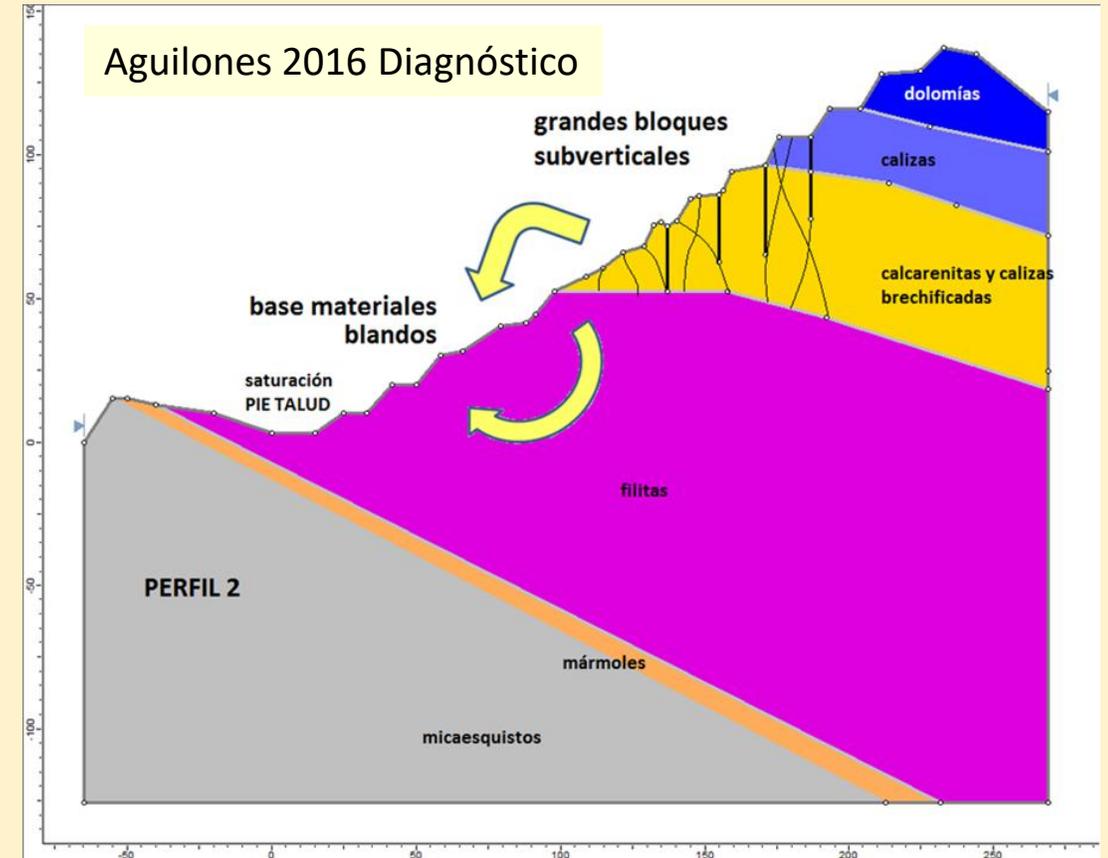
Aguilones 2016 Deterioro





En el extremo sur, los bancos de filitas recogen la escorrentía de todo el talud, hasta la cota 40. La **saturación de las filitas** reduce a la mitad su resistencia por la pérdida de tensiones efectivas.

Su rotura y deformación permite la apertura de las **grandes grietas de caliza** , cuyos **bloques van cayendo hacia el sur** .



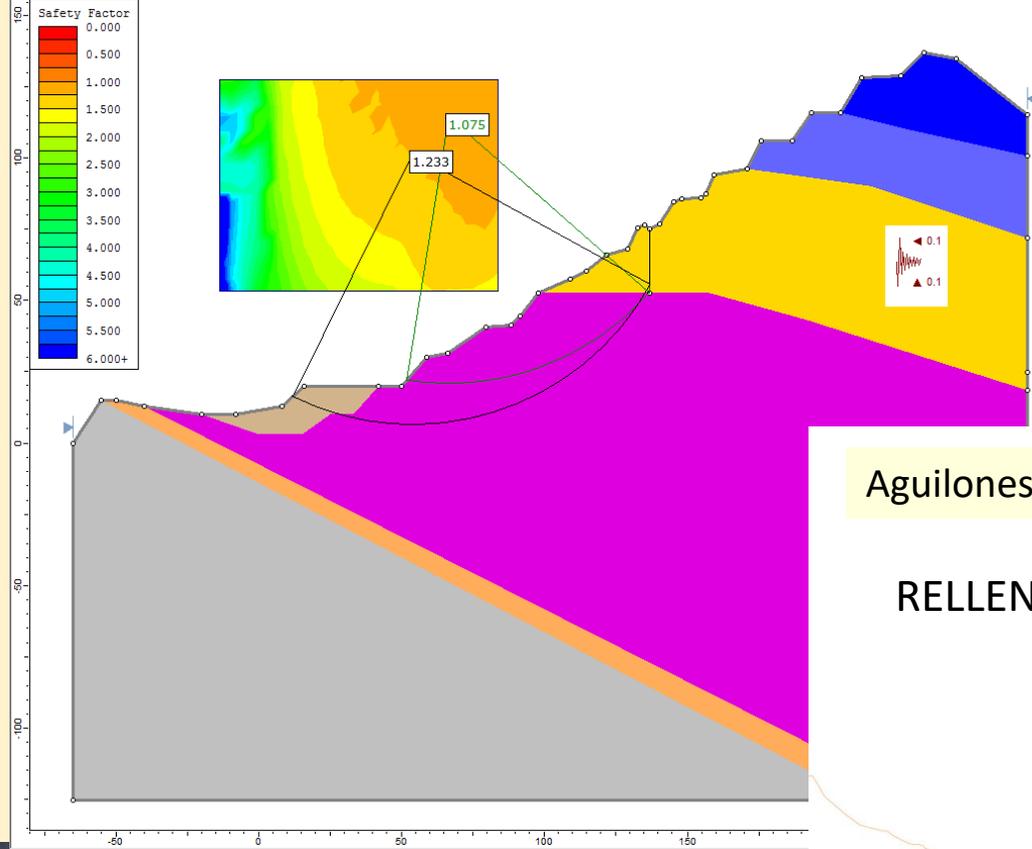


Aguilones 2016 Alternativas

MEDIDA	Interés/Objetivo	Dificultades/Costes	Riesgos
1. SELLADO GRIETAS	Aumento de la cohesión entre los labios de las grietas.	Mal acceso de la lechada al interior de la grieta. Bolsas de acumulación de agua y aparición de sobrepresiones. Coste Alto.	Maquinaria semi-pesada trabajando en las bermas intermedias, deterioradas. Desprendimiento y deslizamiento de bloques.
2. CABLES DE SOSTENIMIENTO	Cosido y sostenimiento de bloques.	Difícil ejecución. Complejo y Coste Alto.	Maquinaria semi-pesada trabajando en las bermas intermedias, deterioradas. Desprendimiento y deslizamiento de bloques.
3. SANEAMIENTO Y REPERFILADO	Eliminar los bloques potencialmente inestables.	Uso de explosivos, por el tamaño de los bloques. Complejo y Coste Alto. Mayores molestias Ambientales. Mayores pendientes en la cabecera del talud.	Maquinaria semi-pesada trabajando en las bermas intermedias, deterioradas. Desprendimiento y deslizamiento de bloques.
4. RELLENO PIE	Estabilización por aumento de pesos. Aumento del espacio de bermas anti-desprendimientos.	Coste Moderado.	No se trabaja en la zona de riesgo.
5. REGULACIÓN DRENAJE	Evitar la saturación de los primeros bancos.	Coste Moderado. Ejecución simultánea con el relleno.	No se trabaja en la zona de riesgo.
6. REFUERZO CON PILOTES O MICROPILOTES	Protección adicional preventiva de la coronación del talud y camino o en la zona del relleno de pie.	Coste Moderado.	No se trabaja en la zona de riesgo.
7. REVEGETACIÓN	Integración paisajística y aumento de valor ambiental.	Coste bajo.	Se puede controlar bien el riesgo con medios de trabajo en altura.
8. CONTROL DE MOVIMIENTOS	Seguimiento del deterioro. Prevención.	Coste bajo.	Se puede controlar bien el riesgo con medios de trabajo en altura.

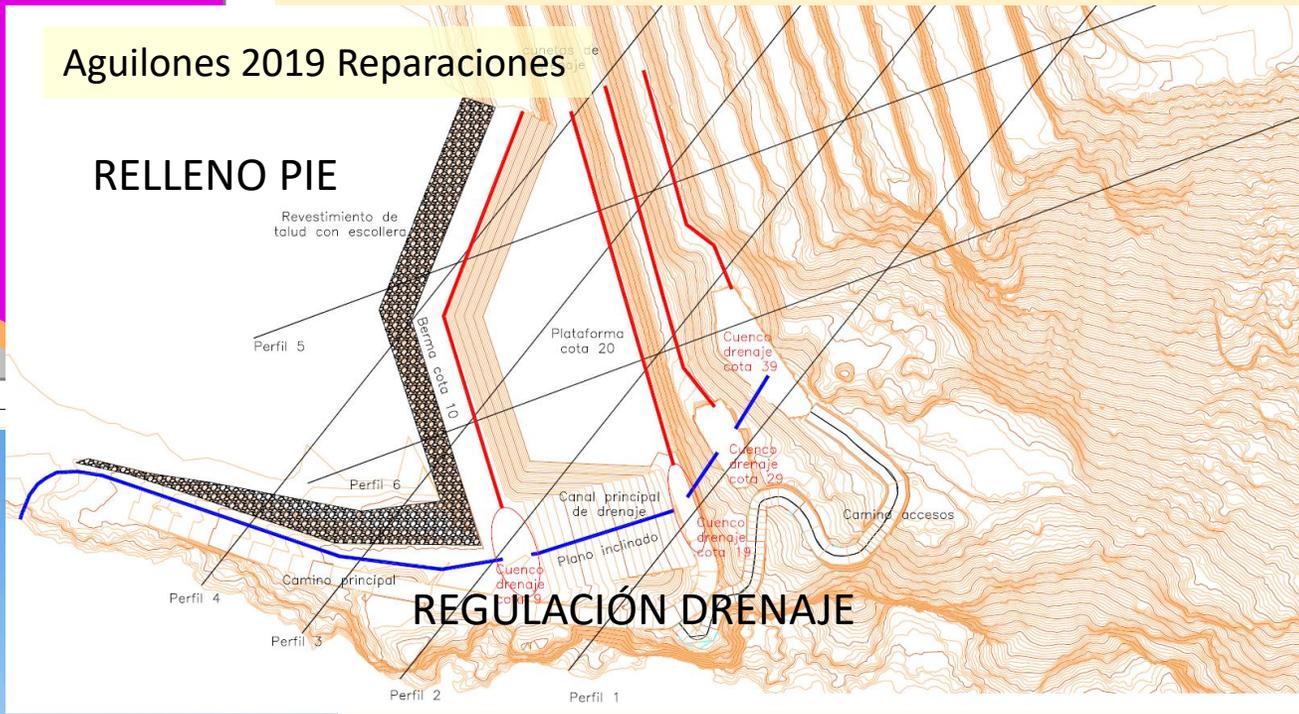


Universidad Politécnica de Cartagena



Aguilones 2019 Reparaciones

RELLENO PIE



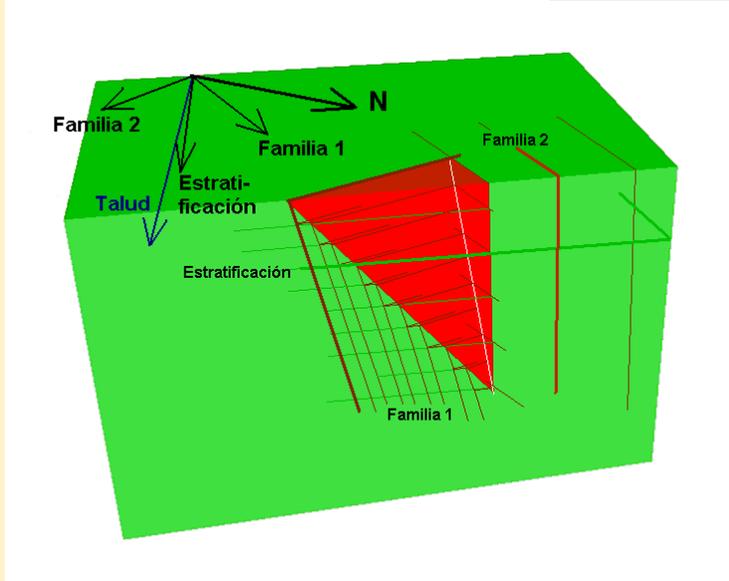
REGULACIÓN DRENADJE



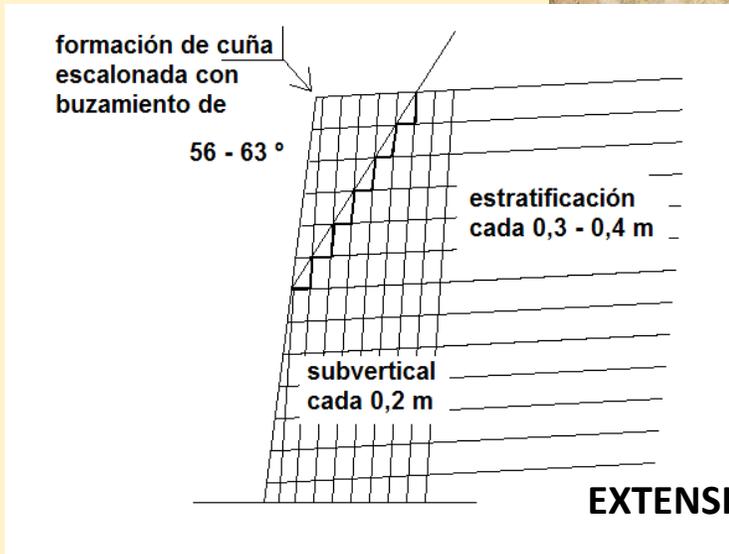


Control de la Estabilidad y diseño de una operación minera segura

Macondo (Zaragoza) 2009



Explotación banco único de 35 m.



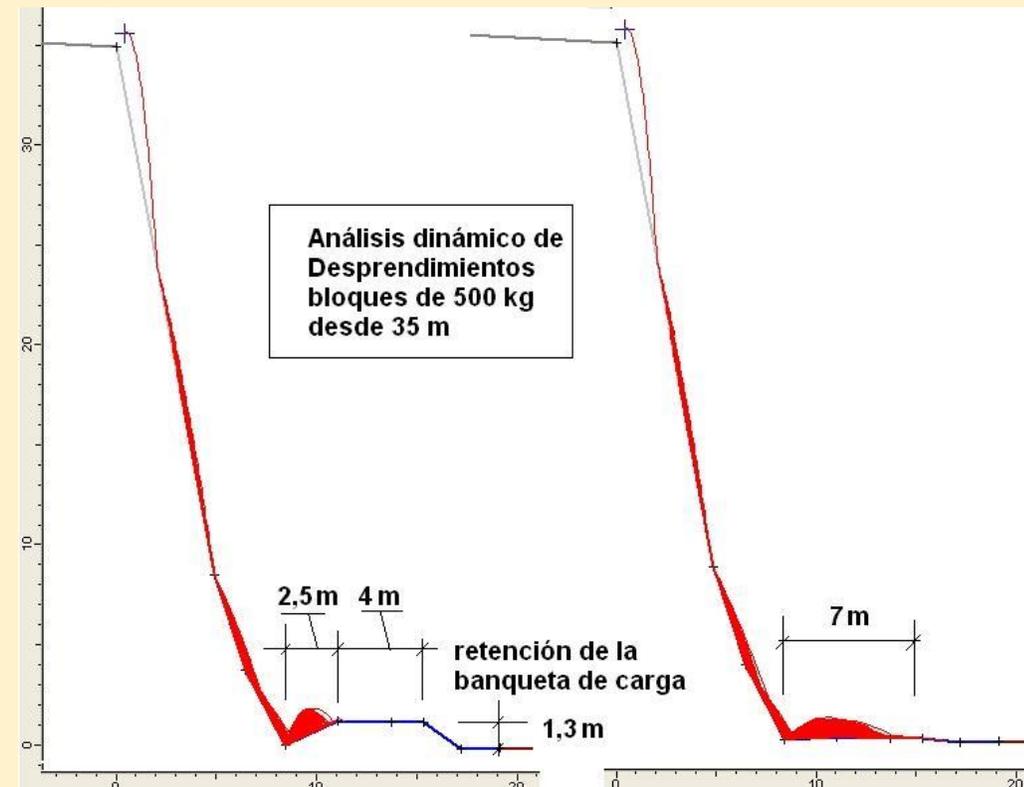
EXTENSIÓN MEDIA juntas subverticales 20 m.



1) Controlar con el diseño de las voladuras la **pendiente del talud entre los 75° y 80°**, tal como se hace hasta el momento (la señal es que quedan marcadas las **cañas de los barrenos**). Por debajo de dichos ángulos pueden aparecer más bloques en la cara de banco, propiciando su vuelco, y por encima de esos ángulos aumenta el peso de las cuñas.

2) No dejar esquinas interiores durante mucho tiempo, acompañar lo más que se pueda una voladura y otra hasta completar todo el frente. **Si queda una esquina y se forma cuña no apurar la carga en su zona de base.**

3) Tras las voladuras se procederá a la inspección del borde de las bermas, en la parte alta de los bancos para **identificar posibles bloques inestables** para el saneo y vigilar la aparición de grietas de tracción. Se adoptarán las medidas oportunas si quedaran contrataludes.



4) Conviene incorporar a las medidas de seguridad DIS que la zona cercana al talud, es una zona exclusivamente de carga. No debe situarse **ninguna persona, sin un vehículo que la proteja, a menos de 20 metros del pie de talud.**

5) Ya que la distancia hasta la tolva hace recomendable la utilización de unidades de transporte, realizar la maniobra de carga con una **cargadora de mayor envergadura**, el uso de una **excavadora con equipo retro permitiría trabajar con una banqueta de carga** que impediría el progreso de algún bloque desprendido. En la figura se simula la caída de bloques de 500 kg desde 35 m. de altura y se comprueba la eficacia de la banqueta de carga.



Inestabilidad en el diseño de Talud final

Monte Coto (1999)



**MVTO
GRAN
BLOQUE**

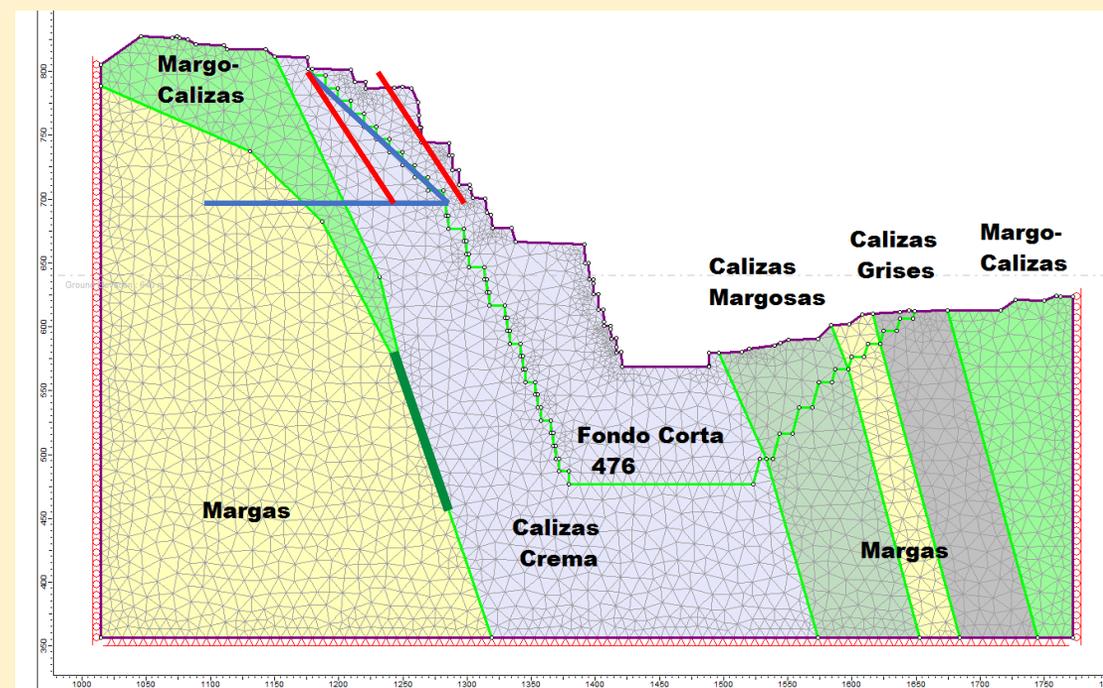
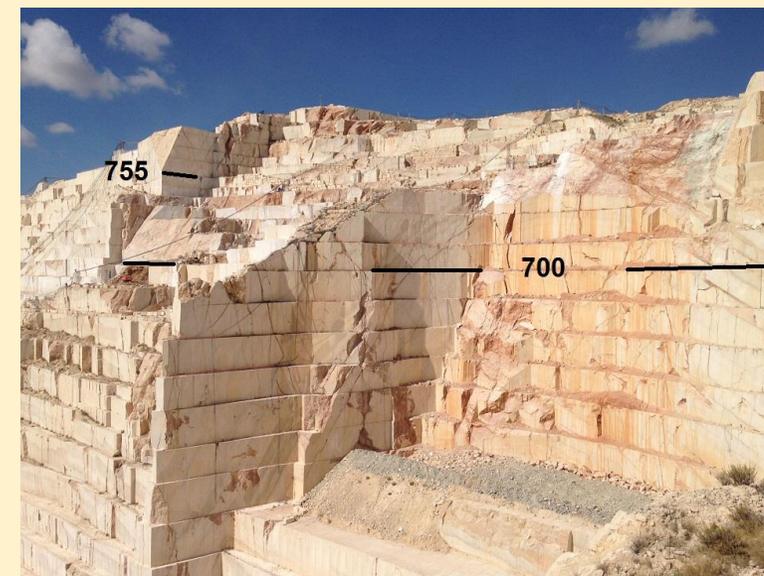
MEDIDAS: incorporación de **materiales de relleno** a cota 702 para estabilizar el pie del bloque, desarrollo de un **plan de auscultación de la fisura** en una serie de puntos, establecimiento de un **área de protección inferior** en la que no se explota, **limitación de las cargas operantes** en las voladuras..

En 2005 se comprobó que se había “readaptado”, estableciendo un protocolo para ir eliminándolo hasta cota 748.



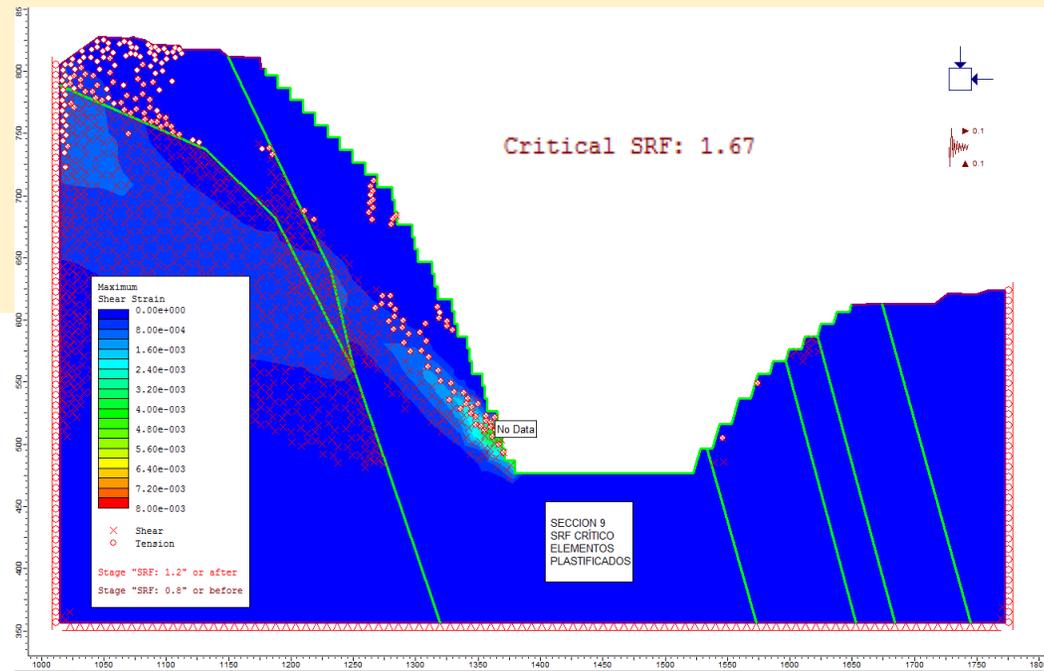
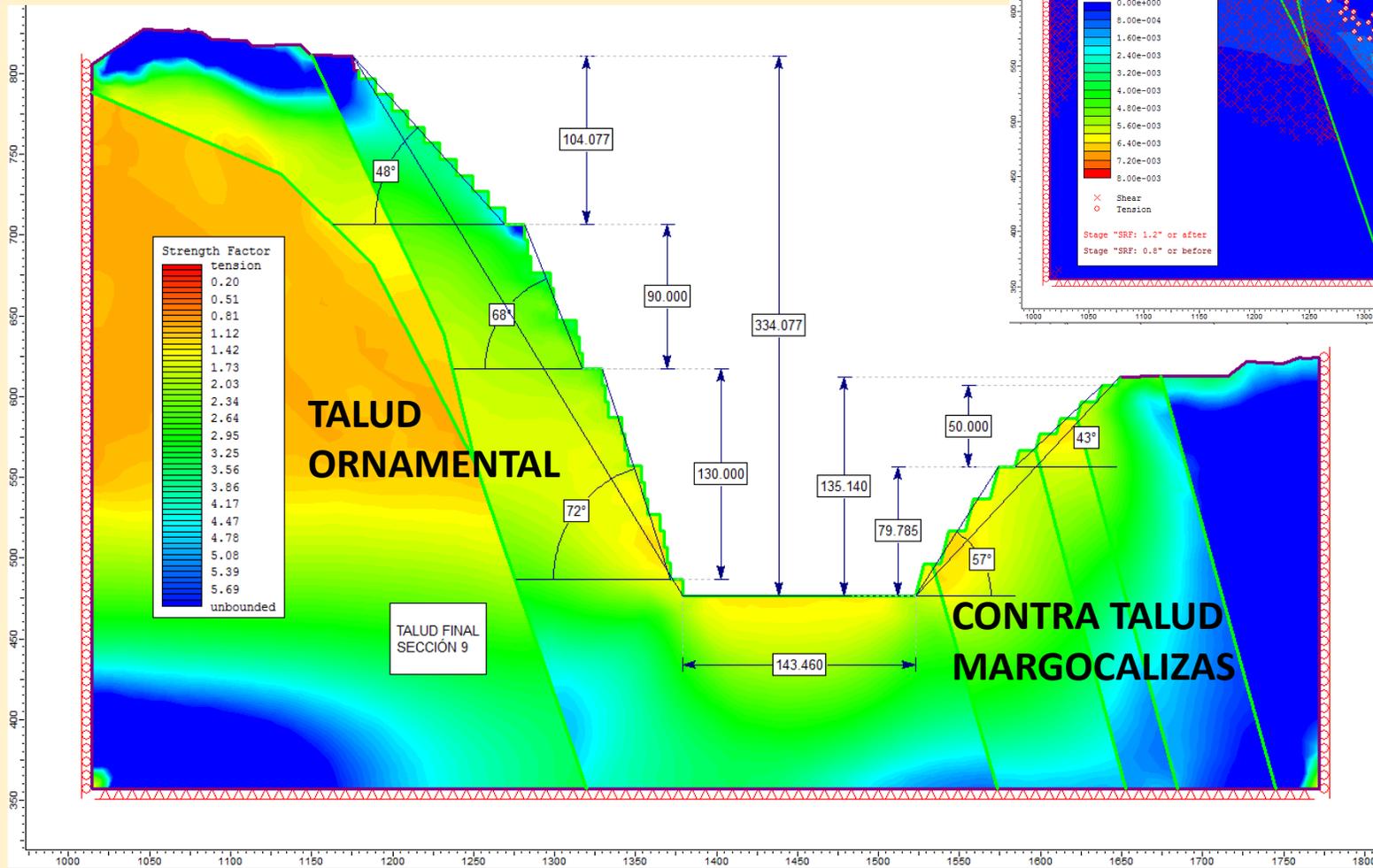
Inestabilidad en el diseño de Talud final

- Tramo superior con pendiente menor que las superficies de deslizamiento.
- Descarga de peso cabecera talud.
- Espesor protección hasta contacto.





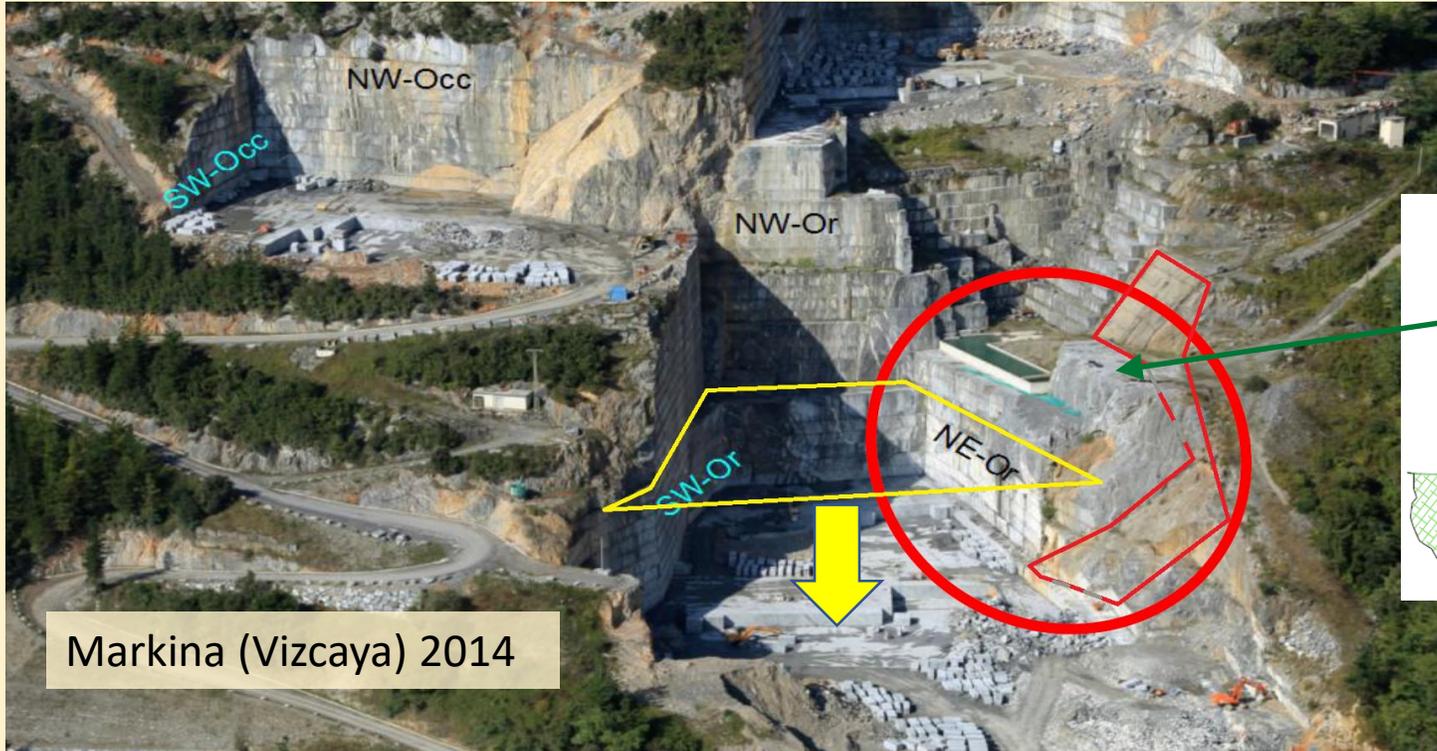
Inestabilidad en el diseño de Talud final



Estéril de Muro

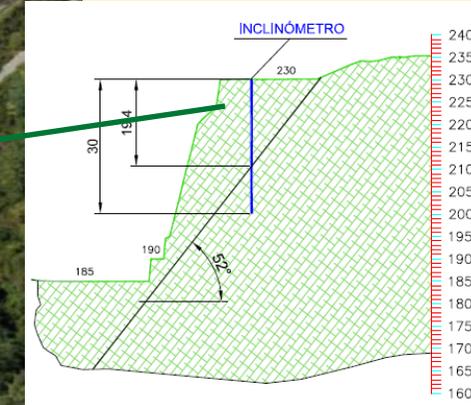


Inestabilidad favorecida por descalce

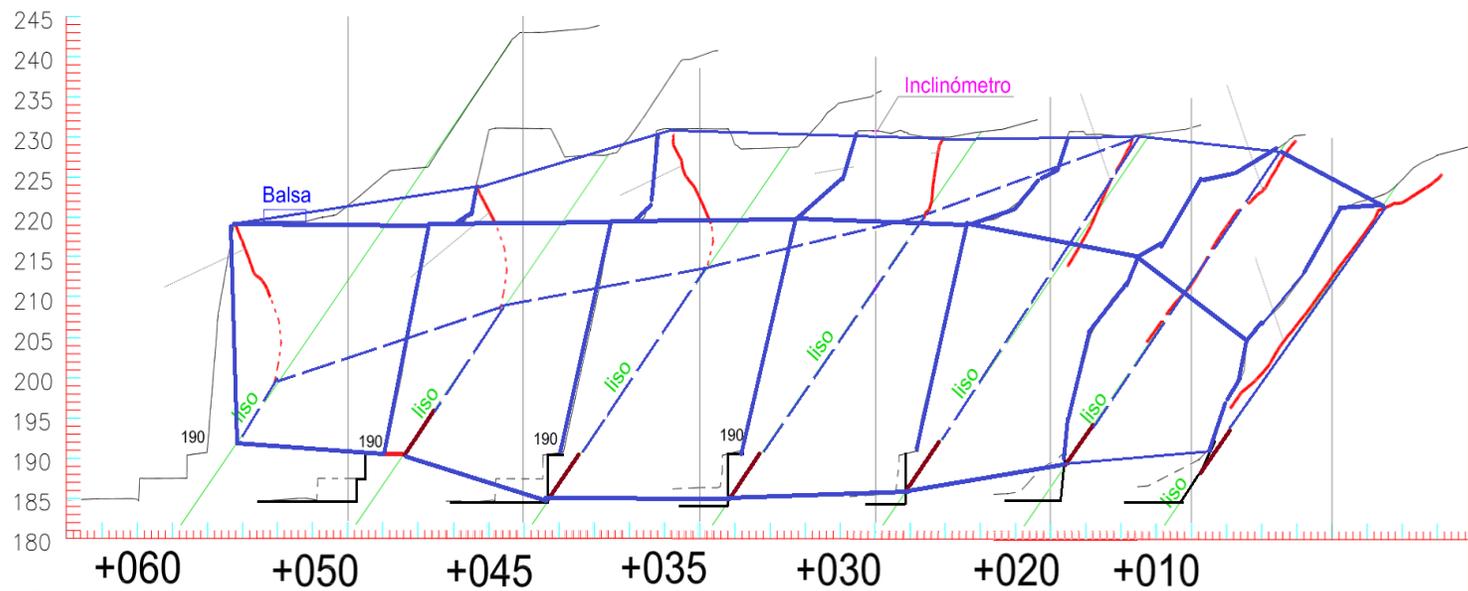


Markina (Vizcaya) 2014

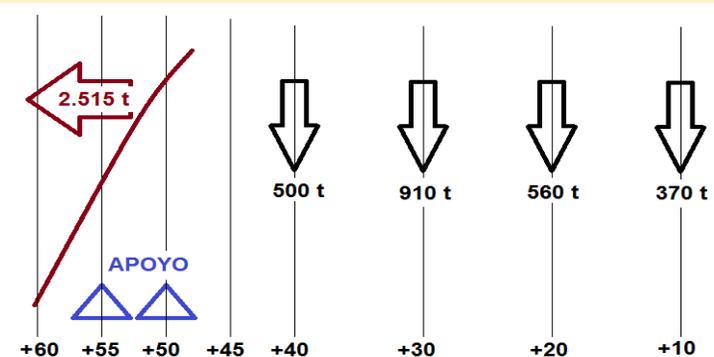
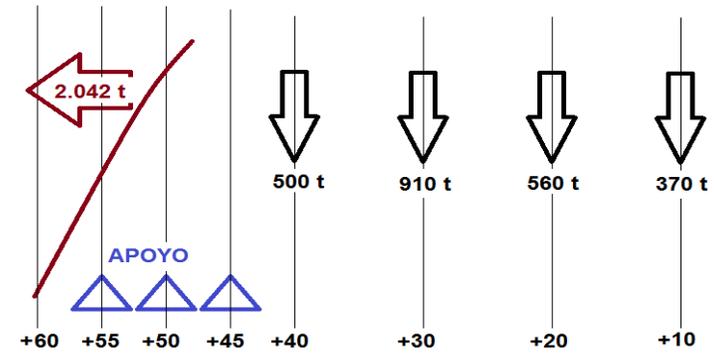
- 1) Movimiento en la base al descender la explotación.
- 2) Auscultación de grieta.



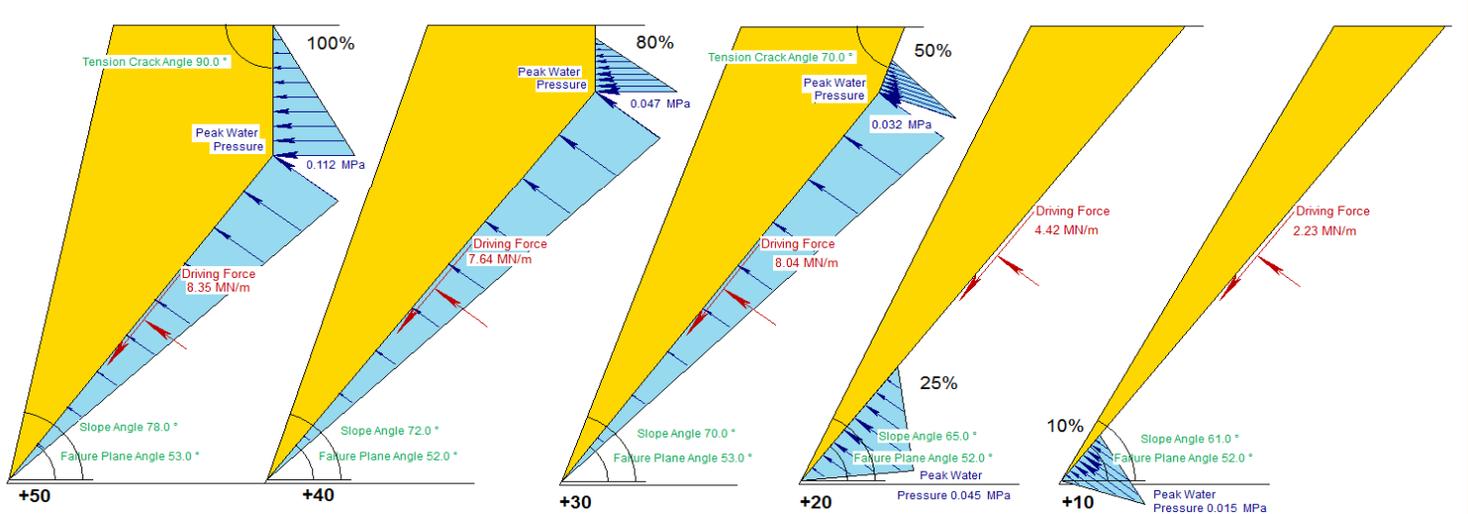
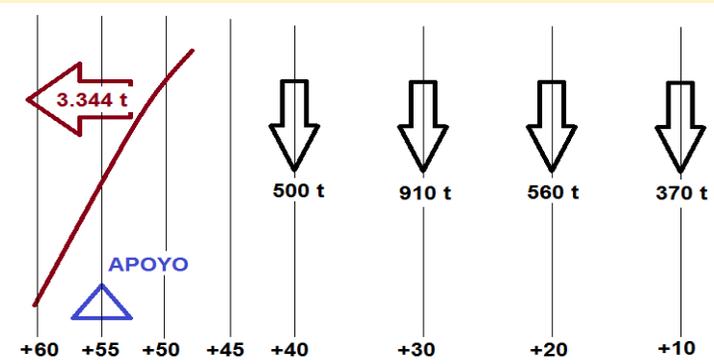
- 3) Voladuras en cabecera para eliminar peso.
- 4) Se sigue con la explotación al pie.
- 5) Movimiento de 10 mm. en abril 2016.



ANÁLISIS BLOQUE POR SECCIONES



EFFECTO MECÁNICO ROZADO BASE



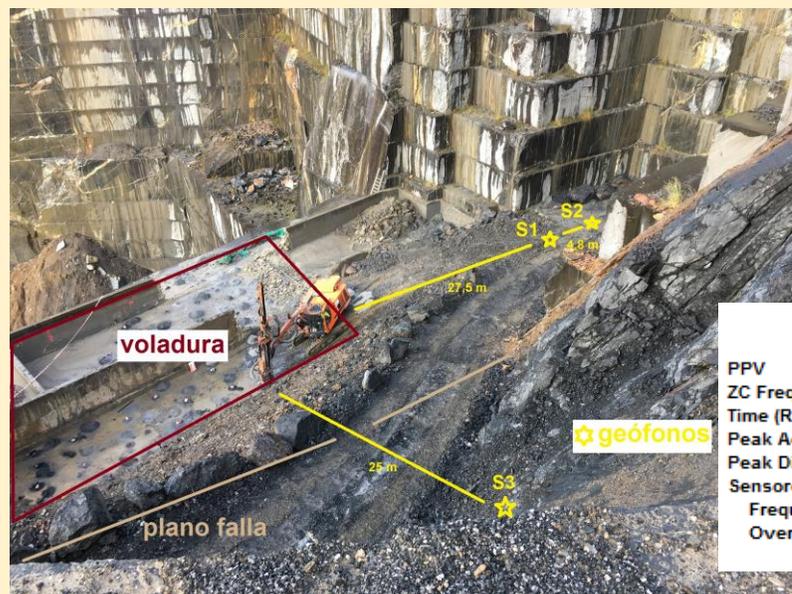
Modelo de Rotura Plana del bloque por secciones



ROTURA JUNTA TRANSVERSAL



Markina (Vizcaya) sep 2016



	Tran	Vert	Long	
PPV	33.5	49.8	48.8	mm/s
ZC Freq	N/A	N/A	>100	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.526	0.438	0.433	sec
Peak Acceleration	3.87	3.66	4.30	g
Peak Displacement	0.0290	0.0541	0.0618	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.7	8.1	8.1	Hz
Overswing Ratio	3.8	3.4	3.8	



Inestabilidad Materiales alterables por saturación y descompresión

Las Cruces (Sevilla) 2009



Las Cruces (enero 2019)



Las Cruces (enero 2020)





Depth (m)	σ_{ci} (kp/cm ²)	c (kp/cm ²)	ϕ (°)
0-10	3.5	1.10	22
10-23	3.8	1.50	21
23-31	3.8	1.50	21
31-80	4.0	2.1	20
80-110	4.0	2.7	18
115-130	6.0	2.8	18

MARGAS AZULES

Algunas juntas subverticales y los planos de estratificación buzando 3° al sur.

Episodio de lluvias constantes 2018

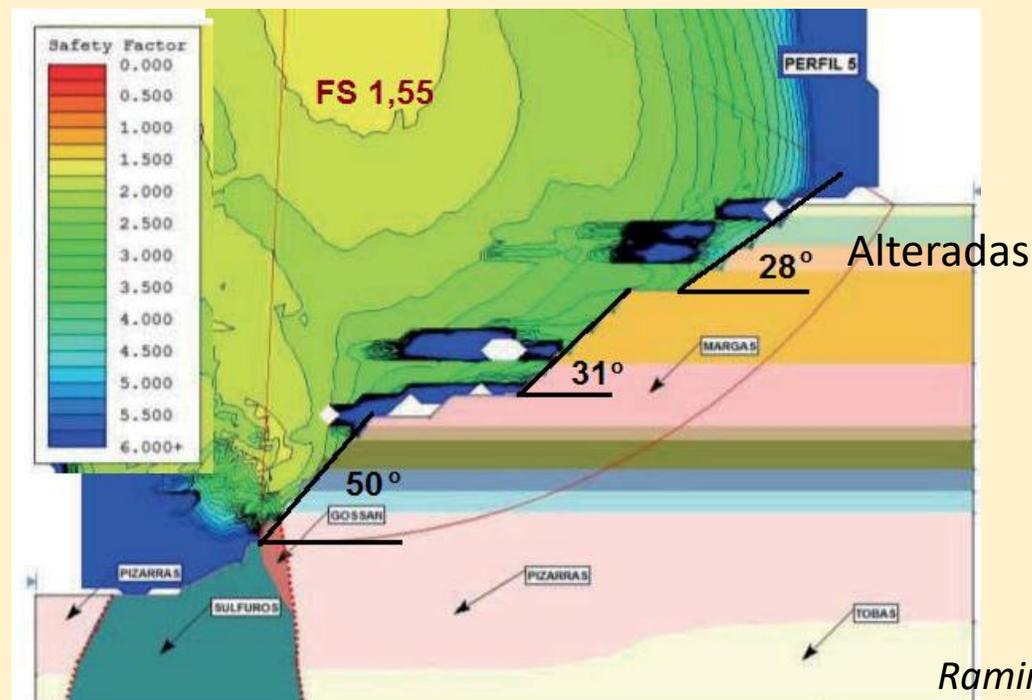
Movimiento circular de 3 bancos en la zona norte monitorizado y regresivo (2011).



Grietas cabecera (-10)



Levantamiento (-42)



Ramirez, P. (2018). SLOPE STABILITY PROBLEMS AT THE IBERIAN PIRITIC BELT AND THE OSSA MORENA GEOLOGICAL ZONES. Slope Stability 2018.



Universidad
Politécnica
de Cartagena

GRACIAS POR SU ATENCIÓN
emilio.trigueros@upct.es