

**INVESTIGACIÓN Y ORDENACIÓN MINERO-AMBIENTAL DE LOS  
RECURSOS DE ROCA ORNAMENTAL EN LA REGIÓN DE MURCIA**



**CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE EXPLOTACIONES SEGURAS  
Y DE MÍNIMO IMPACTO AMBIENTAL**

**Investigación y Ordenación Minero-Ambiental  
de los recursos de roca ornamental  
de la Región de Murcia**

Documento 5

**CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE  
EXPLOTACIONES SEGURAS  
Y DE MÍNIMO IMPACTO AMBIENTAL**

Junio de 2005

El presente documento forma parte de los trabajos contemplados en el Convenio entre la Consejería de Ciencia, Tecnología, Industria y Comercio (actualmente Consejería de Industria y Medio Ambiente), el Instituto de Fomento de la Región de Murcia, el Instituto Geológico y Minero de España, y la Universidad Politécnica de Cartagena, en materia de "INVESTIGACIÓN Y ORDENACIÓN MINERO-AMBIENTAL DE LOS RECURSOS DE ROCA ORNAMENTAL EN LA REGIÓN DE MURCIA",

---

#### PERSONAL QUE HA INTERVENIDO EN ESTE DOCUMENTO

El presente documento ha sido realizado por la empresa GEOCONTROL, S.A., bajo normas, dirección y supervisión del IGME. Han intervenido los siguientes técnicos superiores:

- CAPÍTULOS 1 y 2, y APÉNDICES:
  - D. JOSÉ MIGUEL GALERA FERNÁNDEZ  
Dr. Ingeniero de Minas  
Director del proyecto por GEOCONTROL, S.A.
  - D<sup>a</sup> PALOMA BARÓN RUBIO  
Lda. en Ciencias Geológicas
  - D. MARIO FERNÁNDEZ PÉREZ  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
  - D. DAVID AGUADO NOGUERAS  
Ldo. en Ciencias Geológicas.
  - D<sup>a</sup>. VICTORIA PÉREZ GOTARDA  
Ingeniera Geóloga
  
- CAPÍTULO 4:
  - D. MIGUEL MARÍA MARTÍNEZ DÍEZ  
Ingeniero de Minas (CRN)
  - D. MANUEL MARTÍNEZ PELAYO  
Ingeniero de Minas (CRN)
  - D. JUAN LEÓN COULLAUT SAENZ DE SICILIA  
Ingeniero de Minas (CRN)
  
- DIRECCIÓN Y SUPERVISIÓN POR PARTE DEL IGME
  - D. BRUNO MARTÍNEZ PLÉDEL  
Ingeniero de Minas.  
Director del proyecto por el IGME

## ÍNDICE

<b>1.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2.- CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<b>2</b>
2.1.- ENCUADRE GEOLÓGICO GENERAL	2
2.2.- ESTUDIO GEOLÓGICO DE LAS ZONAS	4
2.2.1.- Geología de la Sierra de la Puerta	5
2.2.2.- Geología de la Sierra de Burete	7
2.2.3.- Geología de la Sierra de Quípar	9
2.2.4.- Geología de la Sierra del Almirez	11
2.3.-SISMICIDAD	13
2.4.- ESTUDIO DE LA FRACTURACIÓN	17
2.4.1.- Patrón de fracturación en la Sierra de la Puerta	18
2.4.2.- Patrón de fracturación en la Sierra de Burete	26
2.4.3.- Patrón de fracturación en la Sierra de Quípar	34
2.4.4.- Patrón de fracturación en la Sierra del Almirez	42
2.5.- PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ROCA INTACTA	50
2.5.1.- Metodología	50
2.5.2.- Resultados obtenidos a nivel de roca intacta	53
2.6.- PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO	61
2.6.1.- Metodología aplicada	61
2.6.2.- Resultados obtenidos	64
2.7.- PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS DISCONTINUIDADES	67
2.7.1.- Metodología	67
2.7.2.- Resultados obtenidos	73
<b>3.- ANÁLISIS DE ESTABILIDAD</b>	<b>81</b>
3.1.- ESTABILIDAD DE LOS TALUDES DE EXPLOTACIÓN	81
3.1.1.- Análisis previo de estabilidad. Rotura estructural de taludes	81
3.1.2.- Análisis tensodeformacional	100
3.2.- ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE LAS ESCOMBRERAS	111
3.2.1.- Análisis de la estabilidad de las escombreras mediante métodos de equilibrio límite	111
3.2.2.- Análisis tensodeformacional de la estabilidad de las escombreras	137
3.2.3.- Conclusiones	150
<b>4.- ESCOMBRERAS</b>	<b>154</b>
4.1.- INTRODUCCIÓN	154
4.2.- PROYECTO CONSTRUCTIVO DE NUEVAS ESCOMBRERAS	154
4.3.- TIPO DE ESTÉRILES MINEROS Y PROPIEDADES	156
4.3.1.- Granulometría	156
4.3.2.- Resistencia al corte	158
4.3.3.- Angulo de rozamiento interno de los materiales de la escombrera	159
4.3.4.- Conductividad hidráulica	160
4.3.5.- Consolidación y asentamiento	160
4.4.- DISEÑO TIPO DE LAS ESCOMBRERAS	161
4.4.1.- Métodos y sistemas constructivos	161

4.4.2.- Proceso constructivo	162
4.5.- MÉTODO OPERATIVO	164
4.5.1.- Introducción	164
4.5.2.- Preparación del cemento y sistemas de drenaje	165
4.5.3.- Control de la calidad de los materiales	167
4.5.4.- Operaciones de vertido	169
4.6.- MANTENIMIENTO Y CONTROL DE LA ESCOMBRERA	172
4.7.- OCUPACIÓN TERRITORIAL DE LAS NUEVAS ESCOMBRERAS	173
4.8.- AUSCULTACIÓN DE ESCOMBRERAS	177
4.8.1.- Inspecciones visuales	178
4.8.2.- Auscultación acústica	180
4.8.3.- Auscultación instrumental	180
4.9.- MEDIDAS ANTIEROSIÓN DE LAS ESCOMBRERAS	181
4.10.- PROYECTO DE ABANDONO	183

## APÉNDICES

### I. ESTACIONES GEOMECÁNICAS

- I.1. Estaciones geomecánicas realizadas en la Sierra de la Puerta
- I.2. Estaciones geomecánicas realizadas en la Sierra de Burete
- I.3. Estaciones geomecánicas realizadas en la Sierra de Quipar
- I.4. Estaciones geomecánicas realizadas en la Sierra del Almírez
- I.5. Situación de las estaciones geomecánicas

### II. ENSAYOS DE RESISTENCIA A CARGA PUNTUAL MEDIANTE PRENSA FRANKLIN

### III. CÁLCULOS DE ESTABILIDAD DE ESCOMBRERAS

- III.1. Escombreras sobre terreno horizontal
- III.2. Escombreras sobre terrenos inclinados 15°
- III.3. Escombreras sobre terrenos inclinados 30°

## **1.- INTRODUCCIÓN**

La integración de cuestiones técnicas, de seguridad y ambientales en la explotación de roca ornamental en la Región de Murcia pasa necesariamente por la caracterización geotécnica (roca intacta, macizo rocoso y discontinuidades) y por el análisis de estabilidad de taludes finales y escombreras. En responder a esta necesidad se han centrado los esfuerzos del presente documento. Se han seleccionado cuatro zonas para la modelización del diseño de las explotaciones y escombreras desde el punto de vista de la estabilidad de las mismas. Las tres primeras están localizadas en la *Zona 1- Cehegín* y corresponden a las Sierras de la Puerta, Burete y Quípar. La cuarta está situada en la *Zona 2- Valdeinfierno*, y se corresponde con la Sierra del Almírez.

Los métodos y tecnologías de arranque, carga y transporte, son cuestiones que consideramos ya resueltas de hecho en la actualidad. Respecto a pistas, accesos y drenajes, sólo indicar que consideramos sería suficiente la estricta aplicación de la normativamente vigente, en especial la derivada del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. Sin embargo, sí hemos considerado muy necesario abordar la grave problemática derivada del vertido de estériles, especialmente por estar actualmente muy generalizada la práctica del a nuestro juicio inaceptable vertido libre desde pié de hueco ladera abajo. Por ello se ha incluido en este documento un capítulo que hemos procurado sirva para establecer unas exigencias mínimas a considerar para todo proyecto de escombrera. Estos proyectos, por otro lado, deben realizarse a partir de un estudio geotécnico y modelos de cálculo aplicados para determinar geometrías estables a partir de la caracterización geomecánica de los estériles.

## **2.- CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA**

En el presente capítulo se realiza primeramente una descripción geológica de las zonas en estudio, un estudio de la sismicidad del área y de la fracturación de los materiales presentes, para determinar posteriormente las propiedades mecánicas de estos a nivel de roca intacta, macizo rocoso y discontinuidades.

### **2.1.- ENCUADRE GEOLÓGICO GENERAL**

La Comunidad Autónoma de la Región de Murcia está situada en el ámbito de las cordilleras béticas y están representados en ella todos los materiales característicos de la misma.

La Cordillera Bética (o Cordilleras Béticas) constituye el extremo más occidental del conjunto de cadenas alpinas del Mediterráneo. Esta cordillera presenta una estructura en grandes mantos de corrimiento y en ella han tenido lugar, además, importantes traslaciones laterales, de modo análogo a otras cadenas alpinas como los Alpes, Apeninos, Cárpatos y Rif.

Dentro de la Cordillera Bética se diferencian dos grandes conjuntos según la litología, edad y grado de deformación de los materiales: *Zonas Externas* y *Zonas Internas*, con diversas unidades dentro de cada una de ellas.

Las Zonas externas, adyacentes al antepaís y apenas afectadas por metamorfismo alpino y las Zonas internas, en posiciones más alejadas del antepaís e intensamente afectadas por procesos metamórficos del ciclo alpino (**Figura 2.1**).

Además de los conjuntos anteriormente citados, habría que referirse a una unidad situada paleogeográficamente entre ambos: el Complejo del Campo de Gibraltar, que sin sufrir metamorfismo alpino, ocuparía posiciones paleogeográficas más relacionadas con las Zonas Internas, y que está formado por materiales depositados en una cuenca marina profunda. Por otro lado, los materiales neógenos postorogénicos, que rellenaron bien cuencas marginales (Depresión del Guadalquivir) bien cuencas intramontañosas (Depresiones de Granada, Guadix-Baza, Murcia, etc.), ocuparían amplias extensiones.

Las Zonas Externas constituían durante el Mesozoico la cobertera sedimentaria del margen continental meridional de la placa Ibérica. En ellas se distinguen a su vez dos grandes conjuntos: la *Zona Prebética* y la *Zona Subbética*.

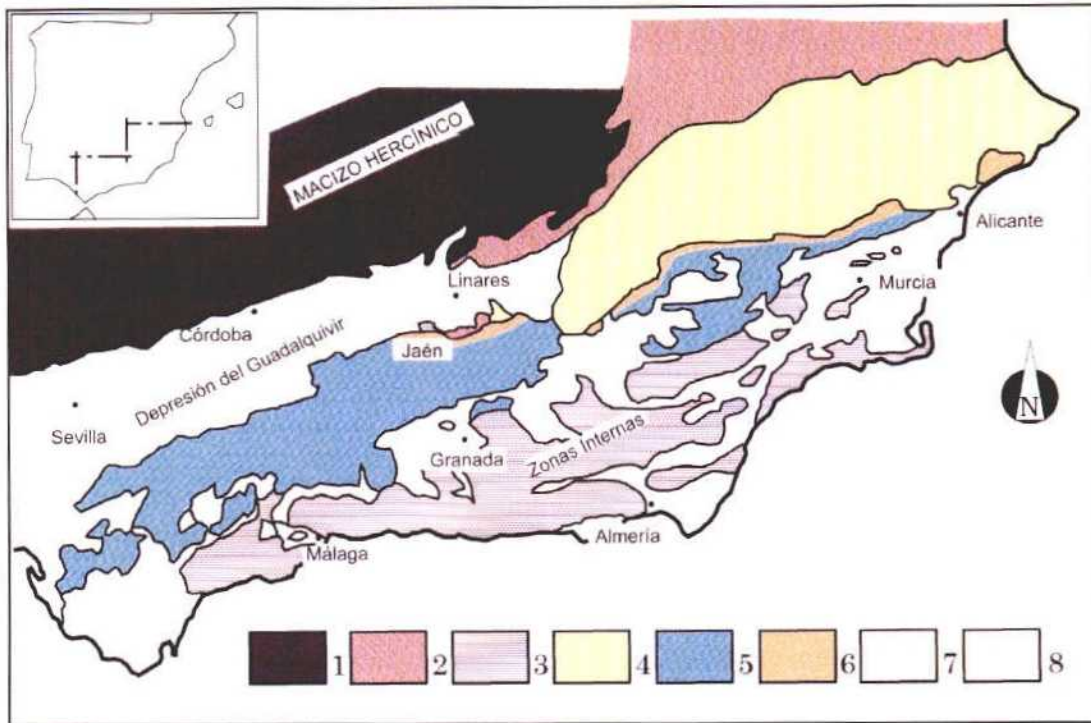


Figura 2.1.- Unidades Geológicas del sur de España.

**Leyenda:**

1. Macizo Hercínico de la Meseta.
2. Cobertera tabular de la Meseta ( Trías) y cobertera Mesozoica de la Cordillera Ibérica.
3. Zonas Internas de las Cordilleras Béticas.
- 4,5,6: Zonas Externas de las Cordilleras Béticas.
4. Zona Prebética.
5. Zona Subbética.
6. Dominio Intermedio.
7. Complejo del Campo de Gibraltar.
8. Materiales Neógenos.

La Zona Prebética (Blumenthal, 1927 *vide* Azéma et al., 1979), más próxima al antepaís, constituiría durante un largo intervalo de la historia de la cuenca una plataforma anexa al continente. En ella predominó una sedimentación marina somera durante el Jurásico y Cretácico, para quedar en parte emergida durante el Paleógeno.

La Zona Subbética (*sensu* Fallot, 1945), en posiciones más meridionales a las del dominio anterior, constituiría a partir del Carixiense superior una cuenca pelágica con morfología de fondo muy accidentada.



Años más tarde, Foucault (1960-02, *fide* Azema et al., 1979) acuñó el término de “*Unidades intermedias*” para referirse a un conjunto de secciones estratigráficas que ocuparían posiciones paleogeográficas y tectónicas entre la Zona Prebética y la Zona Subbética, caracterizadas por la presencia en el Jurásico superior y en parte del Cretácico (Aptiense-Cenomaniense) de materiales turbidíticos. Ruiz-Ortiz (1980) consideró que estas unidades tendrían su propia entidad por lo que las englobó bajo la denominación de “Dominio Intermedio”. De este modo aludió a un medio sedimentario de pendientes y/o cuenca anexa. Las facies turbidíticas se nutrirían básicamente desde la plataforma adyacente por el norte (Zona Prebética).

Básicamente existen dos modelos con el fin de explicar la estructura de la región. El primero de ellos, basado en ideas de Fallot (1945), Fernex (1968) y Paquet (1969), considera la región estructurada en un conjunto de mantos de corrimiento superpuestos con vergencia generalmente hacia el Norte. En el sector meridional las vergencias son hacia el Sur, por lo que los autores aludieron a una fase de “retrocabalgamientos”.

Basado en las ideas de Lowel (1972) o Crowel (1974), en los últimos años se ha propuesto un nuevo modelo que intenta explicar la configuración tectónica de esta cordillera a favor del movimiento de un sistema anastomosado de estructuras de desgarre dextrosas (Hermes, 1978). A partir de estas ideas se elaboró el modelo de “estructura en flor” (Van de Fliert et al., 1980 y De Smet, 1984a, b), asociado a movimientos de desgarre.

El carácter más relevante de las Cordilleras Béticas es sin duda la existencia de una tectónica compleja que ha dado lugar a la morfología actual. Hay tres sistemas predominantes de fracturación en las Cordilleras Béticas, cuyas direcciones aproximadas son: N70°E, a veces localmente E-O; N120°E a N150°E; y N10-30°E. Existen otras direcciones algo desviadas de las anteriores, pero en conjunto corresponden a uno de los tres sistemas.

Las principales estructuras que aparecen en la región de Murcia originadas a partir del Tortoniense, siendo muchas de ellas aún activas, son a grandes rasgos, tres juegos de fallas importantes, NE-SO a OOE-SSO, E-O a N60° y NO-SE. Existen también fallas N-S, algunas importantes.

## **2.2.- ESTUDIO GEOLÓGICO DE LAS ZONAS**

A continuación se describen las principales características geológicas de las cuatro zonas estudiadas.

### **2.2.1.- Geología de la Sierra de la Puerta**

La geología regional de la zona es relativamente complicada, debido a que está situada entre las zonas Subbética y Prebética de las Cordilleras Béticas, formando un dominio intermedio. Afloran en esta zona rocas sedimentarias del Mesozoico (Cretácico) y del Cenozoico (Terciario), plegadas y fracturadas por la orogenia alpina, además de sedimentos del Neógeno y del Cuaternario, que no están tan afectados por la misma.

#### **a) Litoestratigrafía**

A continuación se describirá la capa explotable y las capas que están por encima y por debajo de esta, para poder diferenciar unas de otras.

##### **a.1) Eoceno Medio**

Está compuesto por una alternancia de margas blancas, que al corte fresco son grises, y calizas areniscosas. En esta capa se pueden observar fenómenos de slumping. El contacto entre esta capa y la siguiente es un contacto neto, que se aprecia perfectamente debido a la diferencia de color y de competencia entre las dos capas.

##### **a.2) Eoceno Superior**

Calizas color crema, masivas con algas, numerosos restos de erizos y otros microfósiles como Discociclinas, Actinociclinas, Heterostegina, etc. Este es el miembro explotable en la Sierra de la Puerta.

Constituyen un resalte rocoso sobre las zonas adyacentes, más bajas, constituidas en su mayoría por materiales de carácter margoso arenoso, más blandos. La continuidad de la capa se ve alterada por varias fallas normales perpendiculares a la dirección de la misma que desplazan partes de la capa explotable. Esta capa está dispuesta con una orientación N40°E y con un buzamiento medio de 30° al SE. La potencia media es de 40 metros, siendo la zona de mayor potencia, la zona central de la Sierra.

En la zona más al Este existen pequeñas bolsadas rellenas de arenas versicolores con algunos cantos redondeados, procedentes de formaciones superiores.

En la zona central existe una falla de dirección N30°E, a partir de la cual, al Este de la misma no se encuentra la Caliza Crema, sino que encontramos cantos de diferente tamaño (hasta de 10m de ancho) en una matriz arenoso-arcillosa.

##### **a.3) Oligoceno**

Calizas blancas tableadas en pequeños bancos (20-25 cm) con restos de lepidociclinas.

## b) Tectónica

La Sierra de la Puerta, orientada de Suroeste a Noreste, es paralela durante más de 8 kilómetros a la carretera Caravaca – Calasparra. Por el Sureste, a 1 kilómetro de la carretera, se observa el frente de cabalgamiento del Trías Subbético.

La Sierra presenta una estructura bastante homogénea. Está formada por una serie de naturaleza invertida, con una pendiente de 40° hacia el SE, empezando en el Albiense, que está situado sobre las margas con yeso triásicas cabalgantes, y acabando en el Burdigaliense, al NO de la Sierra. Éste forma el borde sureste de la cuenca de Moratalla. No se observa ninguna discontinuidad tectónica entre el Prebético y esta serie. La posición invertida de las capas es debida al cabalgamiento del Subbético situado más al Sur.

La cresta de calizas Eocenas y Oligocenas que forma el eje orográfico de la Sierra de la Puerta se interrumpe bruscamente hacia el Noreste, a unos 12 kilómetros de la carretera de Caravaca – Calasparra.

En la zona Nororiental, esta sierra acaba en una falla, que desplaza 5 Kilómetros hacia el Norte (llanos de la Carrasca) los afloramientos de la unidad. (Figura 2.2).

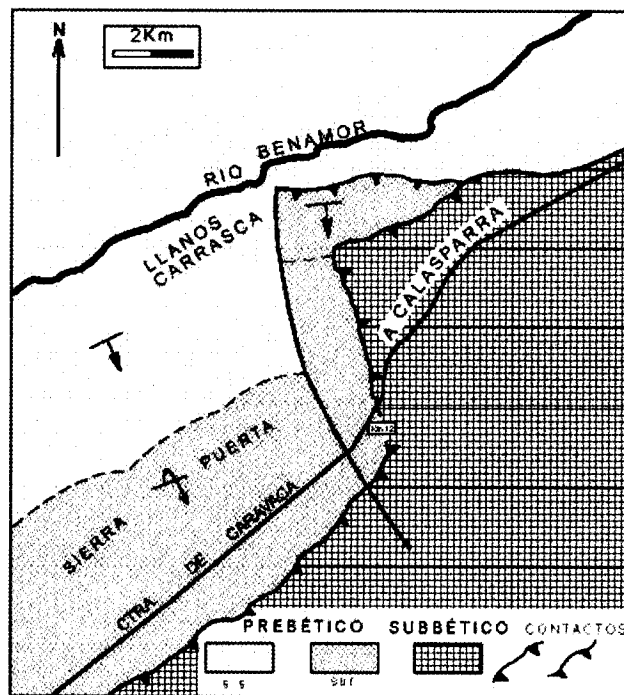


Figura 2.2.- Posición esquemática de las Unidades Intermedias (SUD) y del cabalgamiento sobre el Subbético. (Tomado de Paquet, 1969).

En general, la Sierra de la Puerta está constituida por una serie monoclinas de naturaleza invertida. Existen varias fallas normales importantes con dirección NE-SO que dividen la sierra, y desplazan varios metros los contactos. El buzamiento de la capa oscila según la zona entre los 30 y los 50 grados.

Cabe destacar una fractura que actúa en la zona central de la Sierra de la Puerta, con una dirección aproximada de N30° y que tiene una especial incidencia en el desarrollo de las explotaciones situadas en esa zona. Al Oeste de esta falla, se encuentra la capa explotable (las calizas de color crema), y al Este de la misma, “bolos” de diferente tamaño (hasta 10m de ancho) que no son explotables, puesto que no forman un nivel continuo.

### **2.2.2.- Geología de la Sierra de Burete**

La geología regional de la zona es relativamente sencilla. Está situada en las zonas externas de las Cordilleras Béticas, y más concretamente en el Subbético Externo. Afloran en esta zona rocas sedimentarias del Mesozoico (Liásico, Jurásico y Cretácico), plegadas y fracturadas por la orogenia alpina, además de sedimentos del Neógeno y del Cuaternario, que no están tan afectados por la misma.

#### **a) Litoestratigrafía**

##### **a.1) Formación Gavilán**

Esta formación es de edad *Liásica*. En ella se pueden diferenciar en tres miembros. El miembro inferior está constituido por laminitas criptalgales, superando el centenar de metros de espesor. Los dos miembros suprayacentes presentan escasa potencia, por lo que pueden llegar a ser inexistentes. Son unas calizas blancas, a veces dolomitizadas, de escasos metros de potencia.

##### **a.2) Formación Veleta**

Esta formación pertenece al *Dogger* y está representada por las calizas con sílex. Está depositada en bancos bien diferenciados de 10 a 20 cm., con algunos niveles de margas intercalados. La potencia máxima puede superar los 75 m.

##### **a.3) Formación Burete**

La edad estimada es Bathoniense inferior, y se encuentra actualmente en explotación en la Sierra.

Es una caliza masiva rosada con textura brechoide. Los cantos son heterométricos (de centímetros a metros) y angulosos, la matriz escasa y azoica. No existe una orientación preferente. En muchas ocasiones esta formación parece estar constituida por litologías masivas, intensamente cortadas por diques, lo que supondría que en su depósito han sufrido un transporte nulo, por lo que esta brecha podría ser interpretada como material de "desplome", es decir, caída a diferente altura aprovechando saltos de falla.

La Formación Burete tiene unos 150 metros de espesor máximo en el flanco normal del pliegue (vertiente SE de la Sierra), llegando casi a desaparecer en el flanco inverso del mismo. Esta formación tiene a muro unas calizas con sílex del Dogger y a techo están las calizas rojas del Ammonítico Rosso Superior.

La formación Burete se encuentra delimitada lateralmente por dos contactos mecánicos de dirección N30° O y separados entre si 1,4 Km., fuera de esta zona, la Formación Ammonítico Rosso Superior reposa directamente sobre la Formación Veleta, por lo que desaparece de forma brusca.

#### **a.4) Formación Ammonítico Rosso Superior**

Encima de la Formación Burete se deposita la Formación Ammonítico Rosso Superior (Dogger – Malm), en la que se diferencian tres miembros: el primero de ellos lo constituyen *calizas nodulosas rojas*, el segundo *margocalizas nodulosas “grumosas”* y el tercero de *calizas masivas grises o rosadas*, que es donde están situadas algunas de las explotaciones de la sierra.

Se ha estudiado el tercer miembro de esta formación, es decir, unas calizas masivas con textura brechoide. Estas calizas han sido depositadas en un ambiente somero, en condiciones de tasas de sedimentación muy bajas, con frecuentes interrupciones sedimentarias, a lo que habría que añadir unas condiciones ambientales oxidantes. Las variaciones en la potencia de las mismas se asocian a oscilaciones del nivel del mar.

Las calizas masivas de la Formación Ammonítico Rosso Superior tienen unos 50 m de espesor, y se conservan en uno y otro flanco del pliegue. Estas calizas están fosilizadas por la Formación Carretero y, a su vez fosilizan a los dos miembros inferiores de esta formación y a la Formación Burete.

#### **a.5) Formación Carretero**

Esta formación pertenece al Cretácico (Valangiense Inferior). Es una ritmita de margas y margocalizas blancas. Los afloramientos son escasos y con unas calidades muy deficientes.

#### **a.6) Cuaternario**

Existen recubrimientos cuaternarios restringidos, sobre todo, a los barrancos formados por arroyos estacionales.

### **b) Tectónica**

En esta zona existen numerosos cabalgamientos de unas unidades sobre otras. La Sierra de Burete cabalga sobre “unidad jurásica-cretácica del Charco”, y a su vez, es cabalgada por margas y yesos del Keuper. La Unidad de Burete está constituida por un pliegue sinclinal con el flanco Norte invertido. La dirección del eje del pliegue es NE - SO.

Tanto la inversión del pliegue, como el contacto anormal con la unidad del Charco, tienen origen en movimientos tangenciales dirigidos del NO hacia el SE. Este cabalgamiento es de sentido inverso a los cabalgamientos generales del Subbético dirigidos hacia el NO. También existen varias fallas normales importantes que dividen la sierra con dirección N-S.

En la zona más al Norte de la sierra, debido a la topografía, se pueden observar ambos flancos del pliegue que está bastante apretado (en cuestión de unos diez metros se pasa de un flanco al otro), de lo que se deduce que los materiales más cercanos al núcleo del pliegue estén bastante más fracturados y deformados. Esto se traduce en la existencia de fracturas y diaclasas en los materiales más competentes y masivos de la sierra, es decir, las formaciones Burete y Calizas masivas de la FARS.

### **2.2.3.- Geología de la Sierra de Quípar**

La geología regional de la zona es bastante similar a la de Burete, con algunos cambios de facies, espesores, omisiones, etc., que la hacen ligeramente diferente. Sigue correspondiendo al Subbético Externo de las Cordilleras Béticas. No se observan pliegues a mediana escala, aunque sí a gran escala, es decir, esta serie aparece como una serie monoclinial, aunque forma parte del flanco SE de un gran pliegue sinclinal con un eje en la dirección NE – SO.

#### **a) Litoestratigrafía**

Este afloramiento de la Sierra de Quípar se encuentra dentro de otro de mayor entidad denominado como el Afloramiento de la Loma de la Solana, junto a la Loma del Ganso, Umbría de Alarcón, Peña Rubia y Cerro de Mai-Valera; todos ellos con características equivalentes y formando todos un amplio sinclinal cuyo eje se orienta de noreste a suroeste, con un buzamiento suave hacia el suroeste. La morfología accidentada de los relieves jurásicos periféricos contrasta con aquella suave que aparece en su núcleo, constituido básicamente por margas y margocalizas del Cretácico.

#### **a.1) Formación Gavilán**

En el Liásico infradomeriense se han diferenciado tres miembros, todos ellos pertenecientes a la Formación Gavilán: uno inferior de laminas criptalgales, uno medio de calizas oolíticas y oncolíticas y uno superior, con facies variadas según el sector (calcarenitas, calizas bioclásticas o calizas con sílex)

### **a.2) Formación Zegrí**

Se deposita en los últimos pisos del Liásico (Domeriense y Toarciense,) y el primero del Dogger (Aalenense), la formación Zegrí. Esta formación se caracteriza por una alternancia de margas y margocalizas. Se distinguen dos miembros, que de más antiguo a más moderno son: miembro de margocalizas y miembro de calizas rojas.

### **a.3) Formación Veleta**

En el Dogger medio (Aalenense - Bajociense) se deposita la Formación Veleta, constituida por calizas y margocalizas con sílex, bien estratificadas en bancos con espesores en torno a los 20 cm., que alternan con margas. En la Sierra del Quípar se dispone de forma discordante sobre la unidad infrayacente (Fm. Zegrí).

### **a.4) Formación Ammonítico Rosso Superior**

La Formación Ammonítico Rosso Superior se deposita desde el Bajociense hasta el primer piso del Cretácico, el Berriasiense. Se trata de calizas y margocalizas nodulosas rojas o rosadas. Se da una variabilidad importante de estructuras, texturas y microfacies, tanto en la vertical como lateralmente, siempre bajo facies nodulosas. Se distinguen tres miembros, que de muro a techo son: miembro de calizas nodulosas, miembro de margocalizas nodulosas rojas y miembro de calizas "Rojo Caravaca".

Las calizas masivas de la Formación Ammonítico Rosso Superior constituyen el nivel explotable de la Sierra de Quípar.

Esta formación tiene unos 50 metros de espesor medio, alcanzando el máximo espesor en la zona central de la sierra (75 m). La formación se puede continuar durante unos 6,1 Km. en la dirección NE- SO.

A muro tiene las calizas grises, que pertenecen al mismo miembro, dentro de la Formación Ammonítico Rosso Superior. A techo están las margas y margocalizas del Cretácico (Valangiense).

### **a.5) Cretácico**

A partir del Valangiense se instala ya definitivamente la ritmita de margas y margocalizas de la Formación Carretero. Aunque generalmente presenta potencias considerables, éstas son muy variables. Dada la litología eminentemente margosa de esta formación, las mejores observaciones se realizan en los barrancos.

## **b) Tectónica**

La estructura geológica de esta Sierra resulta bastante sencilla si entendemos de antemano la estructura a gran escala antes descrita. En un primer reconocimiento de la zona observamos una estructura monoclinial buzante al NO, y donde en las zonas más altas se dan varios repliegues que alteran la simplicidad de la estructura. Más a fondo se encuentran estructuras más complicadas, como *slumping*, repliegues, cambios de espesor y de buzamiento, Hardgrounds, etc.

El Triásico se comporta como nivel de despegue de los cabalgamientos que se dan en esta zona (Subbético de las Cordilleras Béticas). Esta zona, que pertenece a la Unidad de la Solana forma un gran pliegue sinclinal, cuya dirección del eje es NE - SO y cuyo núcleo se sitúa en la Loma de la Solana, y está ocupado por terrenos cretácicos. La vergencia es al SE, lo que indica la posible existencia de retrocabalgamientos, es decir, cabalgamientos opuestos a los movimientos generales del Subbético. Aparecen ambos flancos y lo que sería la charnela del mismo al NE (Peña Rubia y Mai Valera), es decir el Eje del pliegue hunde hacia el SO.

### **2.2.4.- Geología de la Sierra de Almírez**

La geología regional de esta zona es bastante compleja debido a la cantidad de formaciones que aparecen, y a la gran superficie a la que afectan. En su conjunto, pertenece a las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas, y más concretamente al Subbético Interno. La serie, compuesta principalmente de calizas oolíticas, está dispuesta de forma mecánica (mediante un cabalgamiento) sobre margas y margocalizas cretácicas. Afloran en esta zona rocas sedimentarias del Mesozoico y del Terciario poco deformadas, además de sedimentos Neógenos.

#### **a) Litoestratigrafía**

##### **a.1) Formación Gavilán**

Esta formación aparece mediante un cabalgamiento sobre materiales margosos cretácicos, y no sobre el Triásico, como en otras ocasiones. Constituye el término más antiguo de esta serie. En esta zona aparece poco representada. Está constituida por diferentes miembros. Esta formación es de edad *Liásica*.

Está formada, en esta zona, esencialmente por calizas micríticas blancas o rosadas; y por dolomías.



### **a.2) Formación Camarena**

Esta es la formación más extensamente representada en esta zona. Está constituida esencialmente por calizas oolíticas de color entre blanco y crema. Se hace bastante difícil la medición de buzamientos, debido al aspecto masivo de la roca, ya que no ofrece buenos planos de estratificación.

La Formación Camarena tiene unos 250 - 300 metros de potencia y su edad es *Dogger*. Está representada ampliamente en todas las sierras que comprenden esta zona. A muro de esta formación encontramos las calizas y dolomías de la Fm. Gavilán, y a techo, tenemos las crinoiditas, de color rosado.

Existen unas secuencias de depósito elementales, en las que de muro a techo se observan: *facies de oncoïdes, facies de oolitos, facies de filamentos, y crinoiditas.*

Esta formación se deposita a lo largo de casi 20 kilómetros de largo, por unos 5 kilómetros de ancho.

Las Crinoiditas del techo de la Fm. Camarena tienen unos 30m de espesor, muy variable dependiendo de la zona. Se presentan en afloramientos restringidos y, a veces, condicionados por fallas normales.

Es una de las facies de la Fm. Camarena, que se describe a parte por constituir en sí misma una unidad de importancia minera de características diferentes al grueso esta formación (calizas oolíticas). Está constituida por un *grainstone* de crinoides, oolitos, lamelibránquios, braquiópodos, cantos micríticos y algunos intraclastos.

### **a.3) Formación Ammonítico Rosso Superior**

Esta compuesta por calizas nodulosas rojas, con unos 5 metros de potencia. Se trata de *wackestone-packstone* con fragmentos de *Saccocoma* sp., radiolarios, lamelibranquios, artejos de crinoides, foraminíferos bentónicos y embriones de ammonites.

### **a.4) Formación Marín**

Esta formación está compuesta por una megabrecha compuesta principalmente por clastos Jurásicos (calizas oolíticas con pequeñas cantidades de calizas nodulosas) y, ocasionalmente calizas Terciarias. La matriz es escasa y está principalmente compuesta por margas verdes

Esta formación, donde hay o ha habido explotaciones, está asociada a una paleofalla con dirección N30°E. Es de edad Burdigaliense (Mioceno inferior).

#### **a.5) Formación Carretero**

Está constituida por una alternancia de margas y margocalizas de colores grisáceos en corte fresco, y blancos o amarillentos por alteración.

Los afloramientos son muy escasos y están intensamente deformados.

#### **a.6) Cuaternario**

Existen recubrimientos cuaternarios bastante desarrollados en toda la sierra, debido a las fuertes pendientes existentes. Pueden llegar a tener hasta 20 metros de espesor.

#### **b) Tectónica**

Geológicamente hablando nos encontramos en las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas, más concretamente en el Subbético Interno. Es una zona estructuralmente complicada, ya que se producen cabalgamientos de unas unidades sobre otras, e incluso en esta zona aparecen *Olistolitos*, por delante del frente del cabalgamiento.

Los materiales Jurásicos objeto de estudio, cabalgan sobre materiales Cretácicos e incluso Terciarios. Las vergencias por lo general son hacia el NE, debido a empujes del Sur, pero existe vergencias hacia el Sur que podrían ser debidas a los retrocabalgamientos de origen transpresivo. Esta estructura de movimientos de desgarre puede asemejarse a la estructura en Flor.

En la configuración final de la zona, se observan fallas normales de dirección casi perpendicular a la orientación de las Sierras. Estas fallas hacen descender materiales que estratigráficamente estaban por encima.

Hay que destacar la existencia de una paleofalla con dirección N30°E en la vertiente Este de las Sierras generando en distintos puntos la "Formación Marín", una brecha sinsedimentaria, con cantos de naturaleza caliza, provenientes de las formaciones que forman el grueso de la sierra.

### **2.3.- SISMICIDAD**

Las sierras de la Puerta, Burete, Quípar y Almírez se encuentran al Noroeste y Oeste de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, lo que supone afecciones sísmicas altas dentro del contexto de la Península Ibérica.

### a) Generalidades y ámbito de aplicación

Los criterios que han de seguirse dentro del territorio español para la consideración de la acción sísmica en la elaboración de proyectos se recogen en la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02.

La citada norma delimita la peligrosidad sísmica de cada punto del territorio nacional en base a lo que denomina aceleración sísmica básica, cuyo valor se representa en relación al valor de la gravedad,  $g$ , e indica un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno. La **Figura 2.3** muestra el mapa de peligrosidad sísmica, contenido en la NCSE-02, para el territorio español.

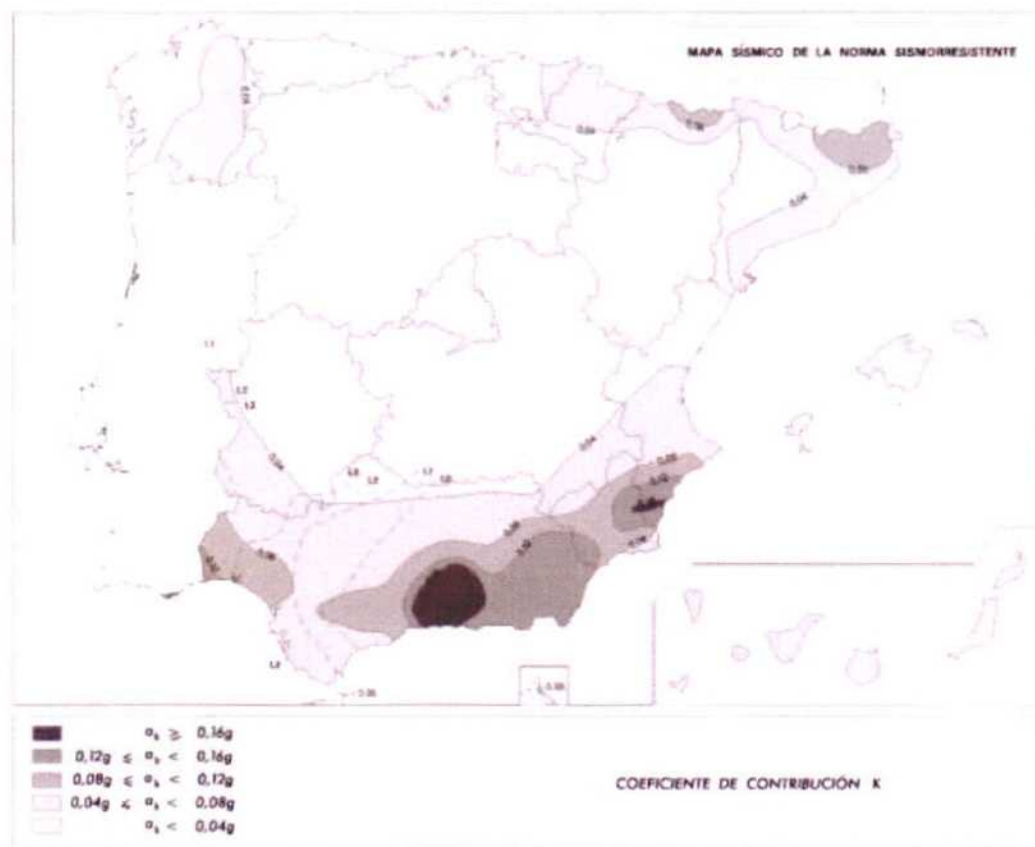


Figura 2.3.- Mapa de peligrosidad sísmica.

El mapa suministra también el coeficiente de contribución  $K$ , que tiene en cuenta la influencia de los distintos tipos de terremotos esperados en la peligrosidad sísmica de cada punto.

Como criterio de partida para la aplicación del sismo en la elaboración de estudios, se parte de la citada aceleración sísmica básica y de la clasificación que establece la normativa en base a la importancia de la construcción estudiada.

A los efectos de la NCSE-02, de acuerdo con el uso a que se destinan, con los daños que puede ocasionar su destrucción e independientemente del tipo de obra de que se trate, las construcciones se clasifican en:

1.- De importancia moderada

Aquellas con probabilidad despreciable de que su destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario, o producir daños económicos significativos a terceros.

2.- De importancia normal

Aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos.

3.- De importancia especial

Aquellas cuya destrucción por el terremoto, pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos. En este grupo se incluyen las construcciones que sí se consideren en el planteamiento urbanístico y documentos públicos análogos así como en reglamentaciones más específicas.

La norma sismorresistente desarrolla esta última categoría de modo más detallado en el artículo 1.2.2 del capítulo primero.

Conforme a lo anterior, la NCSE-02 dicta que habrá de tenerse en cuenta el efecto del sismo cuando la aceleración sísmica básica sea igual o mayor de 0,04g a no ser que se trate de una construcción de importancia moderada.

Desde el punto de vista de la Norma, la explotación de canteras se considera de importancia moderada, si bien, en el caso de escombreras situadas en las proximidades de carreteras, se pueden considerar de importancia normal por su posible afección a las carreteras, pudiendo llegar a interrumpir su servicio.

El Anejo 1 incluido en la NCSE facilita los valores de la aceleración sísmica básica ( $a_b/g$ ) para los términos municipales comprendidos dentro de la zona de estudio, variando los valores entre  $a_b/g < 0,04$  a  $a_b/g = 0,12$ .

Por tanto, para aquellos términos municipales con aceleración sísmica básica  $\geq 0,04$  g, habrá de ser tenido en cuenta el efecto sísmico en el diseño de las escombreras que según la Norma se consideren de importancia normal.

## b) Aceleración sísmica de cálculo

La base del diseño es la aceleración de cálculo  $a_c$ , que se define como el producto:

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b$$

donde:

$a_b$ : aceleración sísmica básica

$\rho$ : coeficiente adimensional de riesgo, función de la probabilidad aceptable de que se exceda  $a_c$ , en el período de vida para el que se proyecta la construcción.

Toma los siguientes valores:

Construcciones de importancia normal  $\rho = 1,0$

Construcciones de importancia especial  $\rho = 1,3$

S: Coeficiente de amplificación del terreno. Toma el valor:

$$\text{Para } \rho \cdot a_b < 0,1 \text{ g } S = \frac{C}{1,25}$$

$$\text{Para } 0,1 \text{ g} < \rho \cdot a_b < 0,4 \text{ g } S = \frac{C}{1,25} + 3,33 \left( \rho \cdot \frac{a_b}{g} - 0,1 \right) \left( 1 - \frac{C}{1,25} \right)$$

$$\text{Para } 0,4 \text{ g} < \rho \cdot a_b S = 1,0$$

Siendo:

C: Coeficiente de terreno. Depende de las características geotécnicas del terreno de cimentación (se detalla en el apartado 2.4 de la normativa en función de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en los 30 primeros metros bajo la superficie).

Para el caso que nos ocupa se ha considerado una construcción de importancia normal ( $\rho = 1,0$ ) y un terreno tipo II ( $C = 1,3$ ).

En estas condiciones resulta un valor del coeficiente de amplificación del terreno (S) de 1,04 para  $\rho \cdot a_b < 0,1 \text{ g}$ , y de 1,037336 para  $0,1 \text{ g} < \rho \cdot a_b < 0,4 \text{ g}$ .

Los valores de aceleración sísmica básica y aceleración de cálculo de las diferentes zonas estudiadas se muestran en el **Cuadro 2.1**.

Cuadro 2.1.- Aceleración sísmica básica y aceleración de cálculo.

ZONA	TÉRMINO MUNICIPAL	ACELERACIÓN SÍSMICA BÁSICA ( $a_b/g$ )	ACELERACIÓN DE CÁLCULO ( $a_c/g$ )
SIERRA DE LA PUERTA	Caravaca de la Cruz	0,07	0,0728
	Cehégín	0,08	0,0832
	Moratalla	0,07	0,0728
SIERRA DE BURETE	Cehégín	0,08	0,0832
	Caravaca de la Cruz	0,07	0,0728
	Coy	<0,04	-
SIERRA DE QUÍPAR	Cehégín	0,08	0,0832
	Caravaca de la Cruz	0,07	0,0728
SIERRA DE ALMÍREZ	Lorca	0,12	0,1244

#### 2.4.- ESTUDIO DE LA FRACTURACIÓN

Para el estudio de la configuración estructural de las cuatro zonas en estudio se realizaron mediciones de las discontinuidades estructurales existentes en cada una de ellas, quedando recopiladas mediante las estaciones geomecánicas realizadas que se presentan en el Apéndice I.

De cada discontinuidad se han obtenido los principales parámetros que caracterizan geomecánicamente la fracturación, concretamente:

- Dirección y buzamiento
- Espaciado (mm)
- Continuidad (m)
- Rugosidad (JRC)
- Apertura (mm)
- Relleno
- Presencia de agua
- Rebote del martillo de Schmidt

Todas estas medidas han sido analizadas en conjunto para cada una de las zonas, con el fin de definir los polos medios de las familias de juntas (así como la estratificación) que determinan el comportamiento del macizo.

El análisis se ha realizado utilizando el programa DIPS desarrollado por el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Toronto, que por medio de la representación estereográfica permite visualizar isóneas de densidad de polos y las direcciones medias de fracturación.

#### 2.4.1.- Patrón de fracturación en la Sierra de la Puerta

Para la caracterización de la fracturación en el macizo rocoso calcáreo de la Sierra de la Puerta se cuenta con 15 estaciones geomecánicas que proporcionan un total de 225 medidas de discontinuidades, cuyos contornos de polos medios en proyección estereográfica se muestran en la **Figura 2.4**.

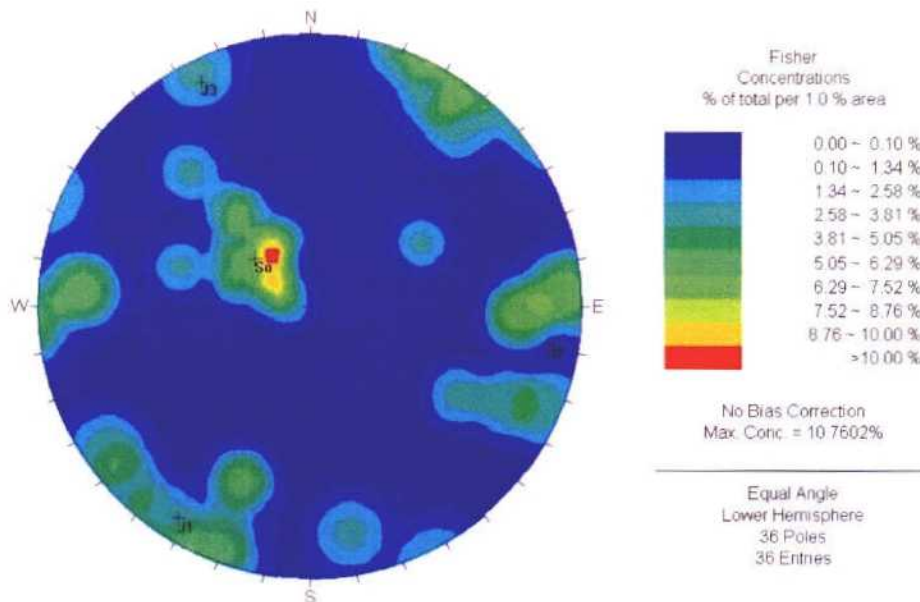


Figura 2.4.- Contornos de polos medios en la Sierra de la Puerta.

El patrón de fracturación se muestra homogéneo a lo largo de los puntos de medida en toda la Sierra, siendo posible agrupar los polos medidos en 4 familias principales, la estratificación (S0) y 3 juntas (J1, J2 y J3), como se muestra en la **Figura 2.5**.

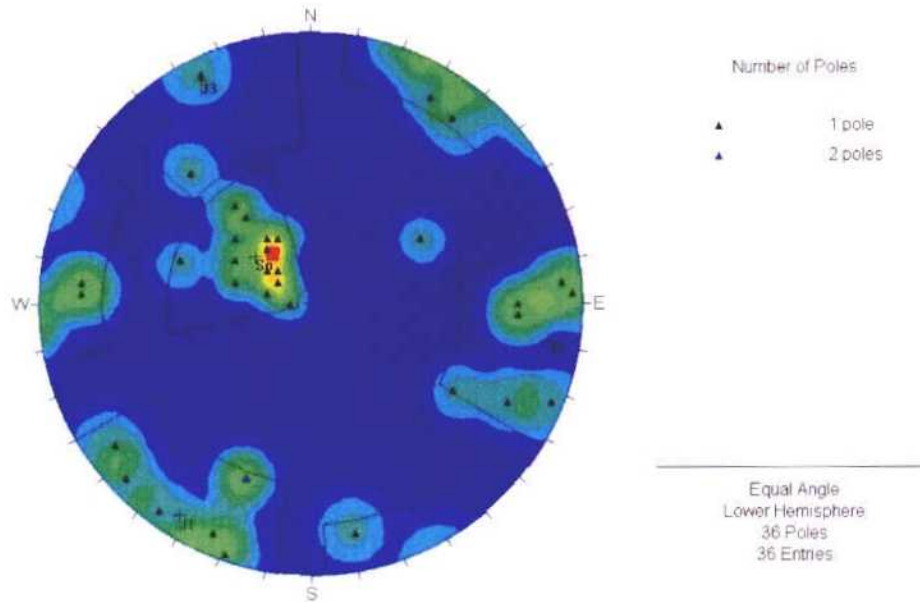


Figura 2.5.- Agrupación de los polos de la Sierra de la Puerta en cuatro familias principales.

En los siguientes apartados se muestran las características de las 4 familias principales de discontinuidades presentes en la Sierra de la Puerta.

#### a) Familia S0

Corresponde a la estratificación y se ha medido en 14 estaciones geomecánicas (97% del total), presentando una alta representatividad.

El buzamiento medio de la familia es de  $30^\circ$  (máximo de  $50^\circ$  y mínimo de  $9^\circ$ ), y la dirección media de buzamiento  $130^\circ$  (máximo de  $244^\circ$  y mínimo de  $101^\circ$ ). La dispersión en la orientación de la estratificación es en general baja, a excepción de las medidas tomadas en una estación situada junto a una falla. Los materiales explotados en la Sierra de la Puerta se incluyen dentro de una serie de naturaleza invertida, con suaves buzamientos hacia el SE.

El espaciado medio de la estratificación es de 1 m (máximo de 2,5 m y mínimo de 0,3 m), mostrando predominio de bancos métricos.

La continuidad lateral de la S0 es elevada, con media de 15 m (máxima de 20 m y mínima de 2 m).

La apertura de la estratificación varía generalmente de 1 a 5 mm (57% de los planos observados) con predominio de rellenos arcillosos y/o margosos (50% del total).

En el **Cuadro 2.2** se muestran las características medias y de cada junta medida en la familia S0.



Cuadro 2.2.- Características de la familia S0.

FAMILIA (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de la Puerta)	ESTACIÓN GEOMECÁNICA	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
S0 (93%)	EG-19	23	131	2,0	8	1-5	Marga
	EG-SM	30	157	1,0	15	1-5	Arena y arcilla
	EG-22a	35	244	1,2	20	1-5	Calcita
	EG-22b	31	107	0,5	2	1-5	Sin relleno
	EG-23a	36	116	2,5	20	1-5	Marga
	EG-23b	22	136	1,5	10	<1	Sin relleno
	EG-23c	9	101	2,0	12	>5	Calcita
	EG-24a	17	105	0,5	20	>5	Arena
	EG-24b	16	127	0,6	20	>5	Arena y calcita
	EG-1	30	142	0,3	20	1-5	Sin relleno
	EG-2	50	140	0,4	20	1-5	Marga
	EG-4	45	145	0,3	20	>1	Arcilla
	EG-5	30	148	0,5	10	1-5	Arcilla
	EG-6	40	130	0,3	10	>5	Arcilla
	Media	30	130	1,0	15	1-5 (57%)	Arcilla o marga (50%)
	Máximo	50	244	2,5	20	-	-
Mínimo	9	101	0,3	2	-	-	

### b) Familia J1

Se ha identificado en 13 estaciones geomecánicas (87% del total), mostrando un alta representatividad.

El buzamiento medio de la familia es de 85° (máximo de 89° y mínimo de 52°) y la dirección de buzamiento media de 32° (máximo de 219° y mínimo de 5°) mostrando una dispersión baja en cuanto a la dirección y más elevada en lo referente al buzamiento.

La orientación NO-SE de esta familia de diaclasas es coincidente con la de las fallas normales que afectan a los materiales de la Sierra de la Puerta.

El espaciado medio entre los planos de la familia es de 1,4 m (máximo de 4,5 m y mínimo de 0,3 m) y la continuidad lateral media de 4 m (máximo de 10 m y mínimo de 1 m).

Un 46% de las discontinuidades de la familia J1 presentan aperturas mayores de 5 mm, predominantemente rellenas de arcilla o marga (77%).

En el **Cuadro 2.3** se presentan las características medias y de cada junta medida en la familia J1.

Cuadro 2.3.- Características de la familia J1.

FAMILIA (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de la Puerta)	ESTACIÓN GEOMECÁNICA	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
J1 (87%)	EG-19	85	22	1,5	4	>5	Arcilla
	EG-22a	86	47	4,5	2	>5	Marga
	EG-22b	81	219	0,6	1	<1	Calcita
	EG-23a	52	213	0,5	5	1-5	Marga
	EG-23b	64	5	0,4	2	1-5	Arcilla
	EG-23c	68	22	2,5	10	>5	Arena y arcilla
	EG-24a	87	35	1,0	3	>5	Arena
	EG-24b	68	213	2,0	2	1-5	Arena
	EG-1	89	20	2,0	4	>5	Arena y arcilla
	EG-2	84	55	0,8	4	1-5	Marga
	EG-3	84	210	0,3	5	1-5	Marga
	EG-5	61	201	2,0	10	>5	Marga
	EG-6	70	21	0,4	5	1-5	Arcilla
	Media	85	32	1,4	4	>5 (46%) 1-5 (46%)	Arcilla o marga (77%)
	Máximo	89	219	4,5	10	-	-
Mínimo	52	5	0,3	1	-	-	

**c) Familia J2**

La familia se identificó en 9 estaciones geomecánicas (60% del total), mostrando una representatividad media o alta.

El buzamiento medio de la familia es de 83° (máximo de 88° y mínimo de 53°) y la dirección de buzamiento media de 279° (máximo de 301° y mínimo de 93°) presentando una dispersión baja en el área de estudio.

El espaciado medio de la familia es de 2 m (máximo de 5 m y mínimo de 0,4 m) y su continuidad lateral media de 4 m (máximo de 8 m y mínimo de 2 m).

La apertura de las juntas varía de 1 a 5 mm en un 50% de los casos, con rellenos arcilloarenosos en un 67% de las observaciones realizadas.

En el **Cuadro 2.4** se presentan las características medias y de cada junta, medidas en la familia J2.

Cuadro 2.4.- Características de la familia J2.

FAMILIA (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de la Puerta)	ESTACIÓN GEOMECÁNICA	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
J2 (60%)	EG-SM	73	93	3,0	5	<1	Arcilla y arena
	EG-22b	77	296	5,0	3	>5	Arcilla y arena
	EG-23a	64	301	3,5	7	<1	Sin relleno
	EG-23b	85	266	0,4	5	1-5	Arena
	EG-23c	53	107	1,5	8	>5	Arcilla
	EG-24a	88	267	0,5	3	>5	Arena
	EG-1	80	95	1,5	3	1-5	Arcilla y arena
	EG-3	84	210	1,0	3	<1	Sin relleno
	EG-4	75	271	2,0	2	1-5	Sin relleno
	Media	83	279	2,0	4	1-5 (33%)	Arcilla y o arena (67%)
	Máximo	88	301	5,0	8	-	-
Mínimo	53	93	0,4	2	-	-	

**d) Familia J3**

La familia presenta una representatividad media a alta, observándose en 9 estaciones geomecánicas (60% del total).

El buzamiento medio es de 79° (máximo de 87° y mínimo de 63°) y la dirección media de buzamiento es de 149° (máximo de 350° y mínimo de 127°), presentando una dispersión media a baja entre los distintos puntos de medición.

El espaciado medio de la familia es de 1,8 m (máximo de 3 m y mínimo de 0,5 m) y su continuidad lateral media es de 4 m (máximo de 8 m y mínimo de 1 m).

El 67% de las discontinuidades de la familia presenta aperturas superiores a 5 mm, presentándose vacías en el 55% de los casos.

En el **Cuadro 2.5** se presentan las características medias y de cada junta, medidas en la familia J3.

Cuadro 2.5.- Características de la familia J3.

FAMILIA (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de la Puerta)	ESTACIÓN GEO MECÁNICA	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
J3 (60%)	EG-19	67	138	1	4	<1	Sin relleno
	EG-SM	63	127	3	2	<1	Sin relleno
	EG-22a	75	147	2	8	<1	Sin relleno
	EG-22b	83	349	0,8	1	1-5	Sin relleno
	EG-23b	87	154	1,5	1,5	>5	Sin relleno
	EG-24a	74	155	3	2	>5	Arena
	EG-24b	67	135	0,5	6	>5	Arena y arcilla
	EG-1	80	350	2,0	4	1-5	Arena y arcilla
	EG-5	85	139	2,0	4	>5	Marga
	Media	79	149	1,8	4	>5 (44%)	Sin relleno (55%)
	Máximo	87	350	3,0	8	-	-
Mínimo	63	127	0,5	1	-	-	

- A modo de resumen, se presenta el **Cuadro 2.6** donde se muestran las características medias de las 4 familias de juntas identificadas en la Sierra de la Puerta, la **Figura 2.6** donde se presentan en proyección estereográfica los polos y planos medios de cada familia y las **Figuras 2.7, 2.8 y 2.9** donde se muestra gráficamente la representatividad, espaciado medio y continuidad lateral media de cada familia.

Cuadro 2.6.- Características medias de las 4 familias de juntas presentes en la sierra de La Puerta.

FAMILIA	REPRESENTATIVIDAD (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de Almírez)	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
So	93%	30	130	1,0	15	1-5 (57%)	Arcilla o marga (50%)
J1	87%	85	32	1,4	4	>5 (46%) 1-5 (46%)	Arcilla o marga (77%)
J2	60%	83	279	2,0	4	1-5 (33%)	Arcilla y o arena (67%)
J3	60%	79	149	1,8	4	>5 (44%)	Sin relleno (55%)

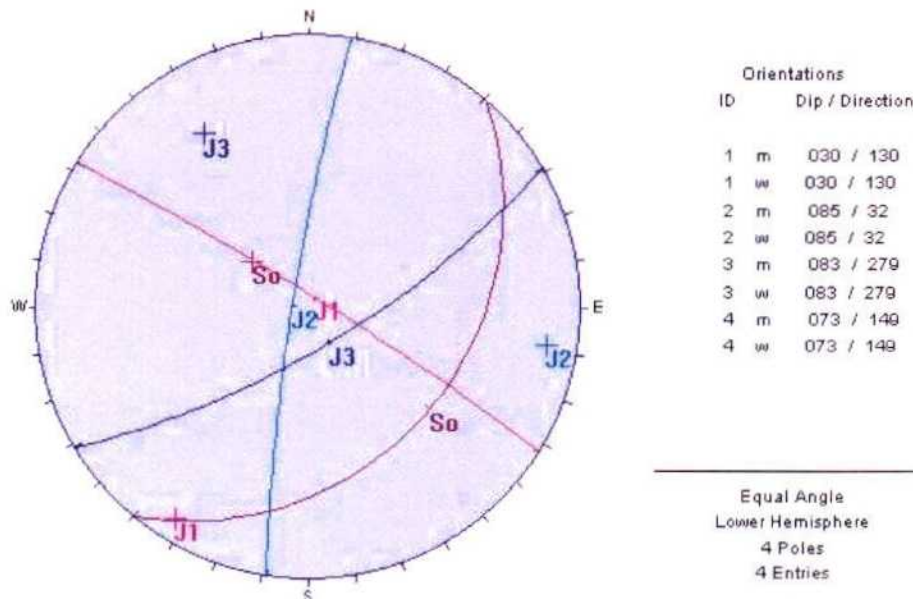


Figura 2.6- Polos y planos medios de las 4 familias de juntas.

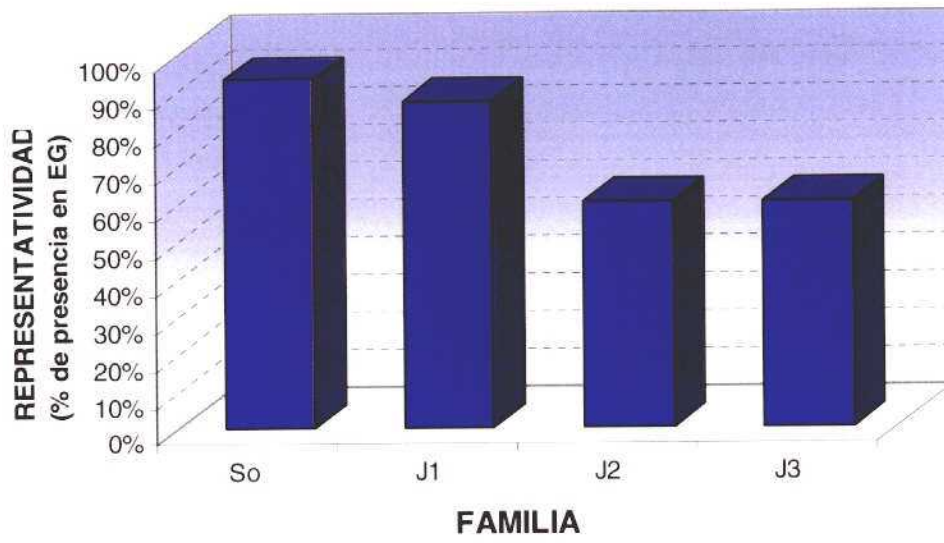


Figura 2.7.- Representatividad de cada familia en la Sierra de la Puerta.

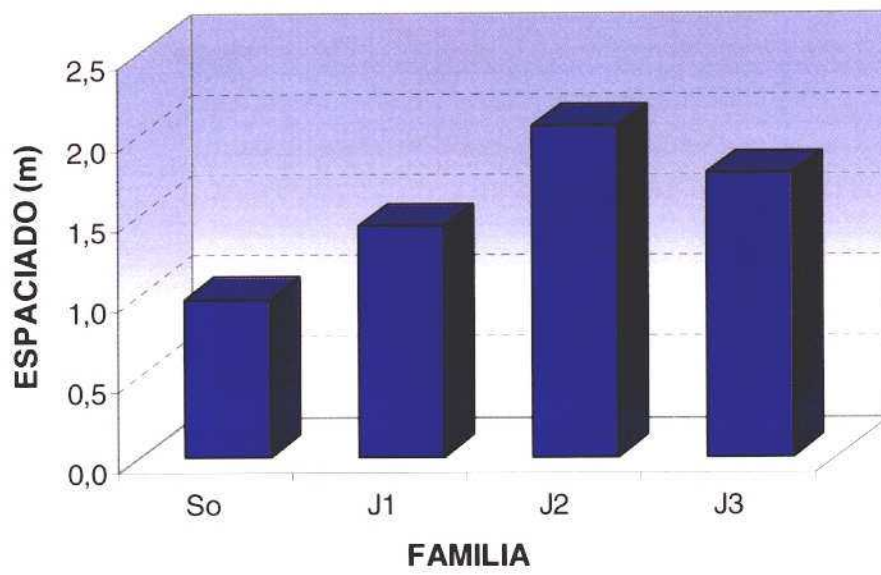


Figura 2.8.- Espaciado medio de cada familia.

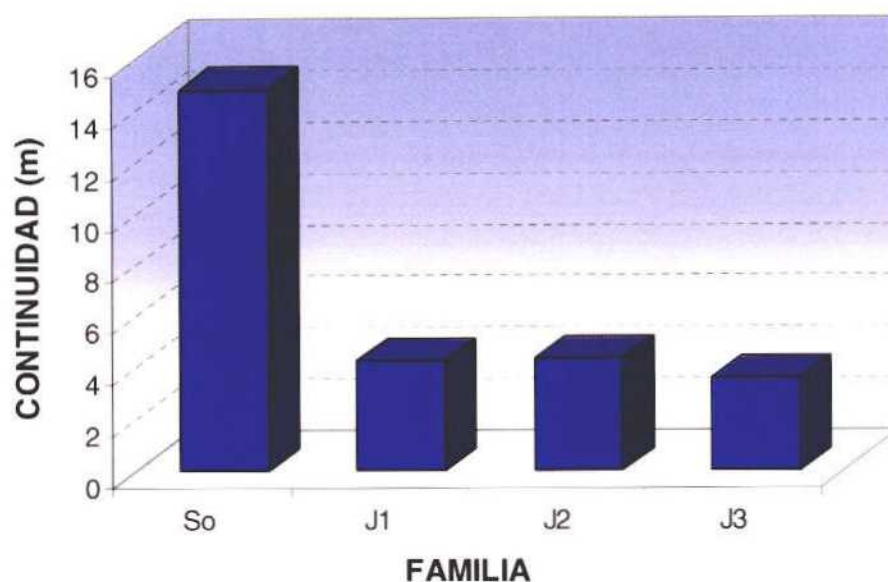


Figura 2.9.- Continuidad lateral media de cada familia.

#### **2.4.2.- Patrón de fracturación de la Sierra de Burete**

El estudio de la fracturación en la Sierra de Burete se ha realizado a partir de 6 estaciones geomecánicas distribuidas a lo largo de la Serranía que han proporcionado un total de 90 medidas de discontinuidades, cuyos contornos de polos principales se muestran en proyección estereográfica en la **Figura 2.10**.

El patrón de fracturación se muestra homogéneo en el área estudiada, siendo posible agrupar los polos medidos en 4 familias principales con dispersiones y grados de representatividad variables, estas son la estratificación (So) y 3 juntas (J1, J2 y J3).

En la **Figura 2.11** se muestra la sectorización realizada en los polos medidos, agrupándolos en 4 familias principales.

En los siguientes apartados se muestran las características de las 4 familias de discontinuidades presentes en la Sierra de Burete.

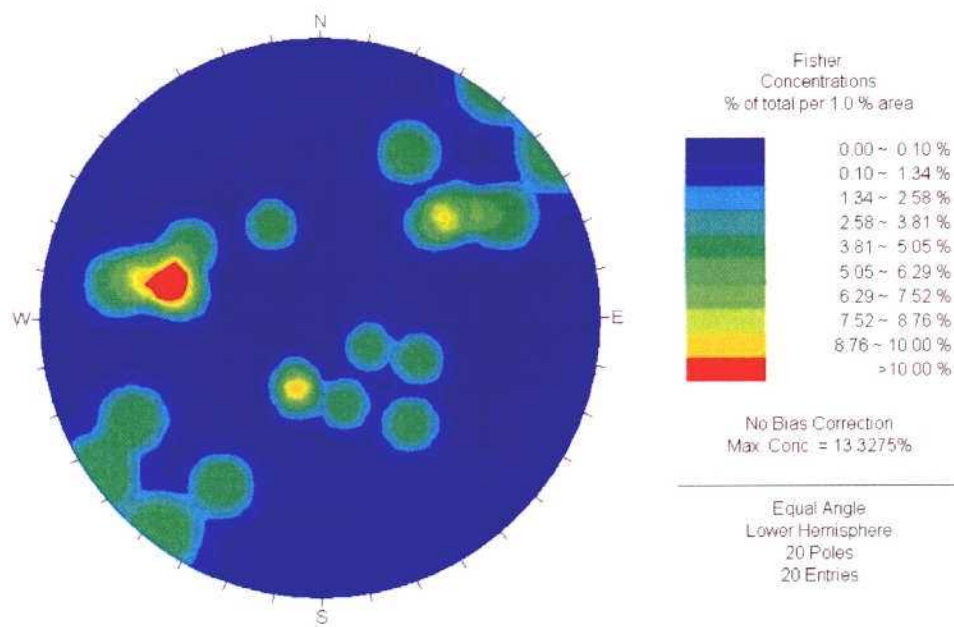


Figura 2.10.- Contornos de polos medios en la Sierra de Burete.

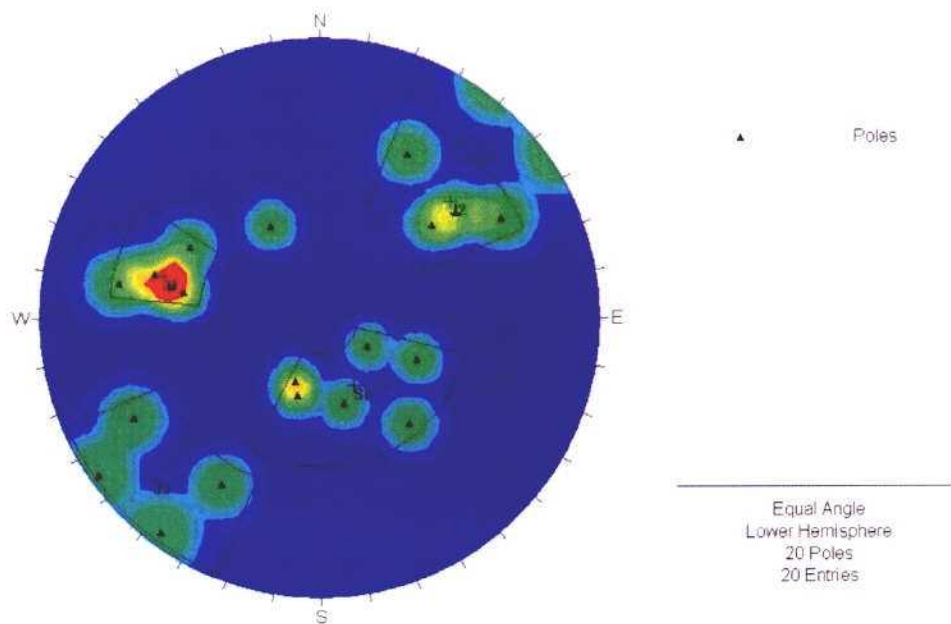


Figura 2.11.- Agrupación de los polos de la Sierra de Burete en 4 familias principales.

**a) Familia S0**

Corresponde a la estratificación y se ha medido en las 6 estaciones geomecánicas realizadas, mostrando una representatividad muy alta.



El buzamiento medio de la estratificación es de 30° (máximo de 52° y mínimo de 22°) y la dirección media de buzamiento es de 334° (máximo de 22° y mínimo de 293°). La dispersión en la orientación de la familia es elevada, especialmente en lo que respecta al buzamiento, indicando un suave plegamiento de la formación carbonatada.

El espaciado medio de la estratificación es de 1,0 m (máximo de 2,0 m y mínimo de 0,3 m), predominando los bancos decimétricos a métricos. La continuidad lateral es elevada, con media de 12 m (máximo de 20 m y mínimo de 4 m).

La apertura de la estratificación se sitúa generalmente entre 1 y 5 mm (50% de los casos observados) presentándose generalmente rellenos de naturaleza margoarcillosa (67% de los casos).

En el Cuadro 2.7 se muestran las características medias y de cada junta, medidas en la familia S0.

Cuadro 2.7.- Características de la familia S0.

FAMILIA (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de Burete)	ESTACIÓN GEOMECAÁNICA	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
S0 (100%)	EG-16	32	17	1,5	6	>5	Arcilla
	EG-113A	27	22	2,0	4	>5	Calcita
	EG-112	41	293	1,5	4	1-5	Arcilla
	EG-113B	52	320	0,3	20	1-5	Marga
	EG-25	22	301	0,3	20	<1	-
	EG-21	35	345	0,4	20	1-5	Arcilla
	Media	30	334	1,0	12	1-5 (50%)	Marga y arcilla (67%)
	Máximo	52	345	2,0	20	-	-
	Mínimo	22	17	0,3	4	-	-

## b) Familia J1

Se ha identificado en 5 estaciones geomecánicas (83% del total), mostrando una representatividad alta.

El buzamiento medio de la estratificación es de 60° (máximo de 72° y mínimo de 53°) y la dirección media de buzamiento es de 105° (máximo de 119° y mínimo de 100°) mostrando una dispersión baja en ambos parámetros a lo largo de la Sierra de Burete.

El espaciado entre los planos de la familia es de 0,6 m (máximo de 1,0 m y mínimo de 0,2 m), y la continuidad lateral media es de 4 m (máximo de 8 m y mínimo de 1 m).

Un 60% de las discontinuidades de la familia J1 presentan aperturas entre 1 y 5 mm predominantemente sin rellenos (60%).

En el **Cuadro 2.8** se muestran las características medias y de cada junta medida en la familia J1.

Cuadro 2.8.- Características de la familia J1.

FAMILIA (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de Burete)	ESTACIÓN GEO MECÁNICA	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
J1 (83%)	EG-16	72	100	0,8	6	1-5	-
	EG-112	53	101	0,2	8	1-5	Arcilla
	EG-113B	57	102	0,3	1	<1	-
	EG-25	56	119	0,5	2	1-5	-
	EG-21	63	105	1,0	4	>5	Arcilla
	Media	60	105	0,6	4	1-5 (60%)	Sin relleno (60%)
	Máximo	72	119	1,0	8	-	-
	Mínimo	53	100	0,2	1	-	-

**c) Familia J2**

La familia se identificó en 4 estaciones geomecánicas (67% del total), mostrando una representatividad alta.

El buzamiento medio de la familia es de 64° (máximo de 73° y mínimo de 55°) y la dirección media de buzamiento es de 228° (máximo de 241° y mínimo de 208°) presentando una dispersión baja en el área de estudio.

El espaciado medio de la familia es de 1,7 m (máximo de 2,0 m y mínimo de 0,6 m), y su continuidad lateral media de 6 m (máximo de 10 m y mínimo de 3 m).

La apertura de las juntas es superior a 5 mm en un 50% de los casos, con rellenos arcillosos en un 80% de las observaciones realizadas.

En el **Cuadro 2.9** se muestran las características medias y de cada junta, medidas en la familia J2.

Cuadro 2.9.- Características de la familia J2.

FAMILIA (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de Burete)	ESTACIÓN GEO MECÁNICA	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
J2 (67%)	EG-16	73	241	2,0	3	1-5	Arcilla
	EG-113A	63	232	2,0	6	>5	Arcilla
	EG-112	67	208	2,0	10	>5	Arcilla
	EG-21	55	230	0,6	3	1-5	Calcita y arcilla
	Media	64	228	1,7	6	>5 (50%)	Arcilla (80%)
	Máximo	73	241	2,0	10	-	-
	Mínimo	55	208	0,6	3	-	-

#### d) Familia J3

La familia presenta una representatividad alta, observándose en 4 estaciones geomecánicas (67% del total).

El buzamiento medio es de 79° (máximo de 88° y mínimo de 69°) y la dirección media de buzamiento es de 46° (máximo de 62° y mínimo de 31°), presentando una dispersión baja entre los distintos puntos de medición.

El espaciado medio de la familia es de 1,5 m (máximo de 2 m y mínimo de 1 m) y su continuidad lateral media es de 3 m (máximo de 6 m y mínimo de 1 m).

El 75% de las discontinuidades de la familia presenta aperturas entre 1 y 5 mm, presentándose rellenos de naturaleza arcillosa en un 50% de los casos.

En el Cuadro 2.10 se presentan las características medias y de cada junta, medidas en la familia J3.

Cuadro 2.10.- Características de la familia J3.

FAMILIA (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de Burete)	ESTACIÓN GEOMECÁNICA	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
J3 (67%)	EG-16	69	31	1,5	4	1-5	Arcilla
	EG-113A	74	62	1,5	6	1-5	Calcita
	EG-25	87	37	1,0	1	1-5	-
	EG-21	88	55	2,0	2	>5	Arcilla
	Media	79	46	1,5	3	1-5 (75%)	Arcilla (50%)
	Máximo	88	62	2,0	6	-	-
	Mínimo	69	31	1,0	1	-	-

- A modo de resumen, se presenta el **Cuadro 2.11** donde se muestran las características medias de las 4 familias de juntas identificadas en la Sierra de Burete, la **Figura 2.12** donde se presentan en proyección estereográfica los polos y planos medios de cada familia y las **Figuras 2.13, 2.14 y 2.15** donde se muestra gráficamente la representatividad, espaciado medio y continuidad lateral media de cada familia.

Cuadro 2.11.- Características medias de las 4 familias de juntas presentes en la Sierra de Burete.

FAMILIA	REPRESENTATIVIDAD (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de Burete)	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
S0	100%	30	334	1,0	12	1-5 (50%)	Marga y arcilla (67%)
J1	83%	60	105	0,6	4	1-5 (60%)	Sin relleno (60%)
J2	67%	64	228	1,7	6	>5 (50%)	Arcilla (80%)
J3	67%	79	46	1,5	3	1-5 (75%)	Arcilla (50%)

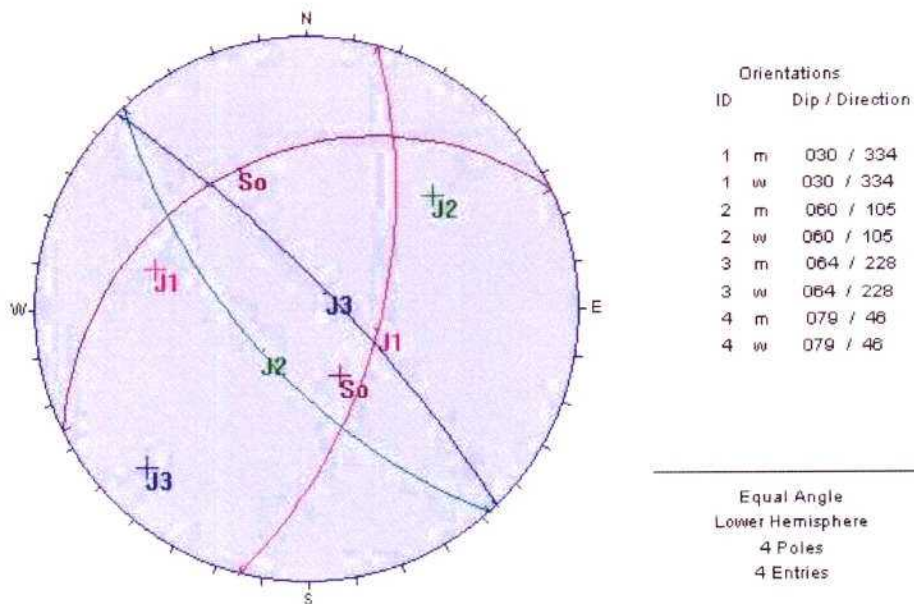


Figura 2.12- Polos y planos medios de las 4 familias de juntas.

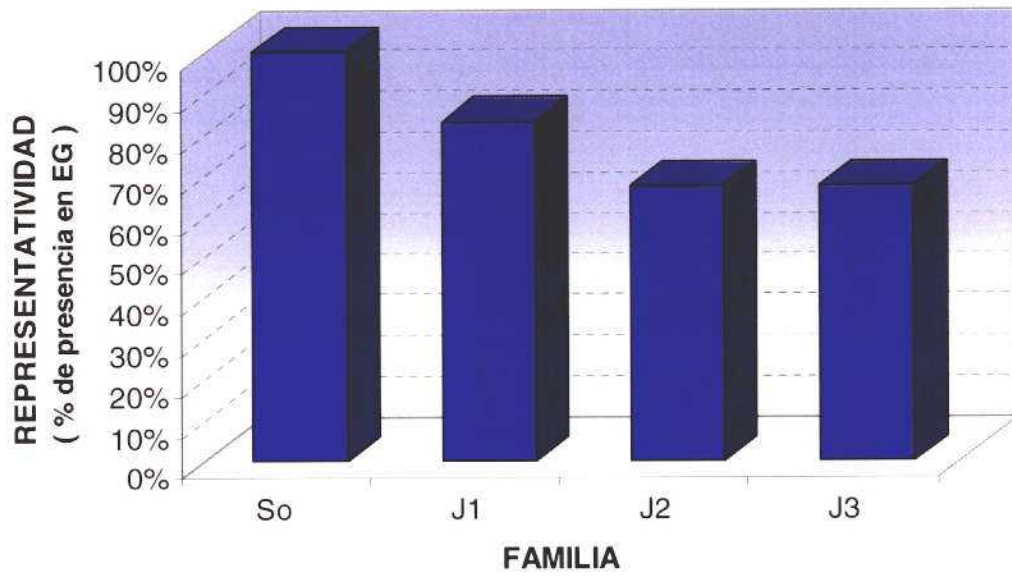


Figura 2.13.- Representatividad de cada familia en la Sierra de Burete.

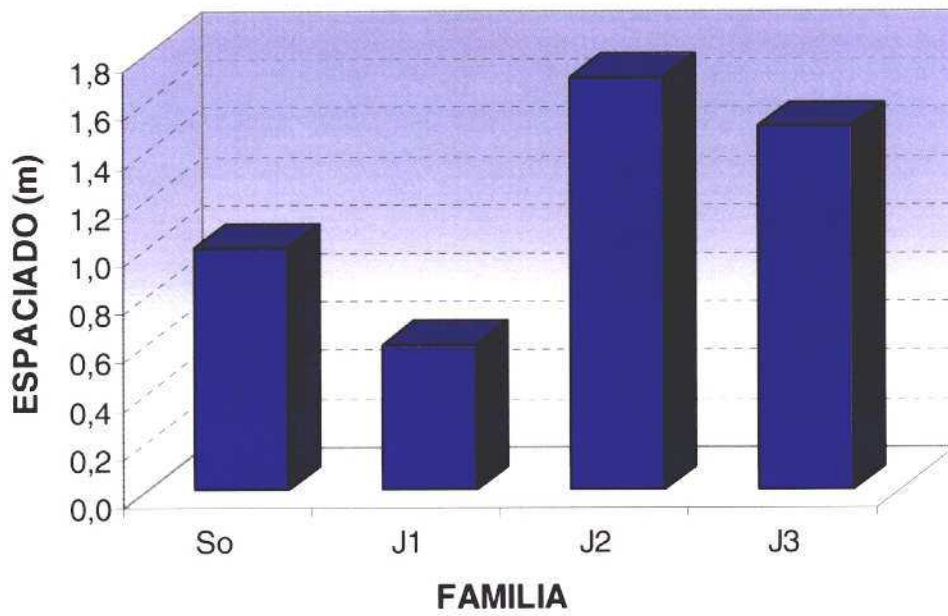


Figura 2.14.- Espaciado medio de cada familia.

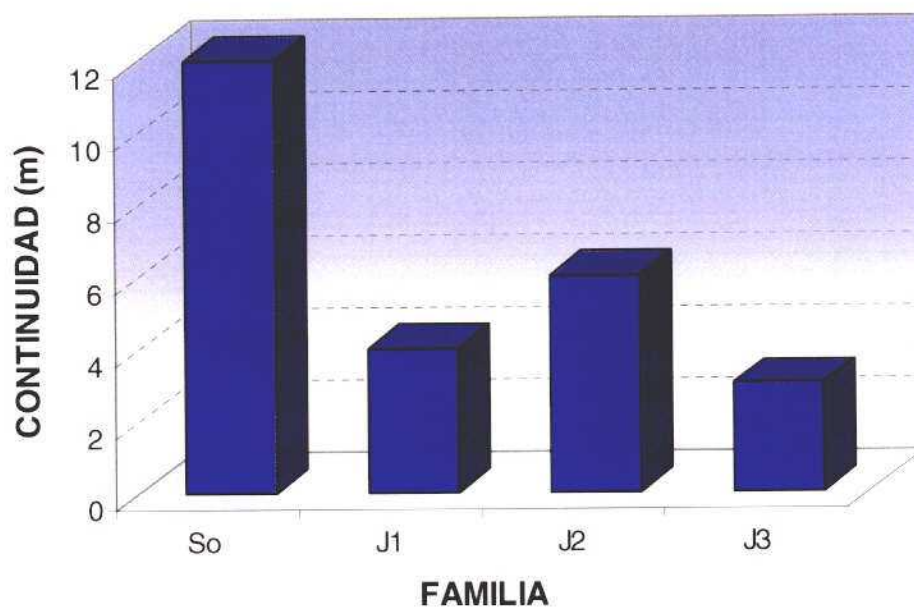


Figura 2.15.- Continuidad lateral media de cada familia.

### 2.4.3.- Patrón de fracturación de la Sierra de Quípar

Para la caracterización de la fracturación en el macizo rocoso calcáreo de la Sierra Quípar se cuenta con 13 estaciones geomecánicas que proporcionan un total de 195 medidas de discontinuidades, cuyos contornos de polos medios en proyección estereográfica se muestran en la **Figura 2.16**.

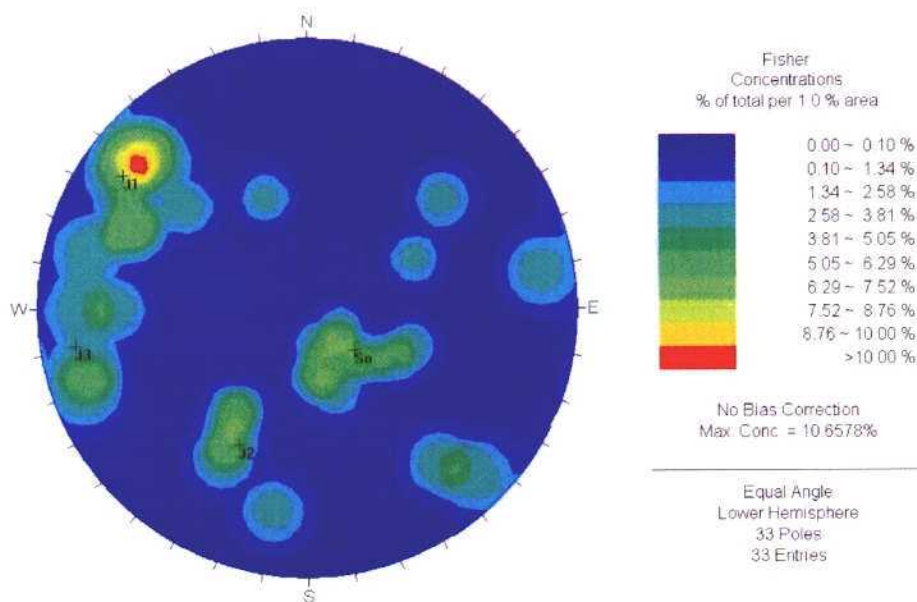


Figura 2.16.- Contornos de polos medios en la Sierra de Quípar.

El patrón de fracturación se muestra homogéneo a lo largo de los puntos de medida en toda la Sierra, siendo posible agrupar los polos medidos en 4 familias principales, la estratificación (S0) y 3 juntas (J1, J2 y J3), como se muestra en la **Figura 2.17**.

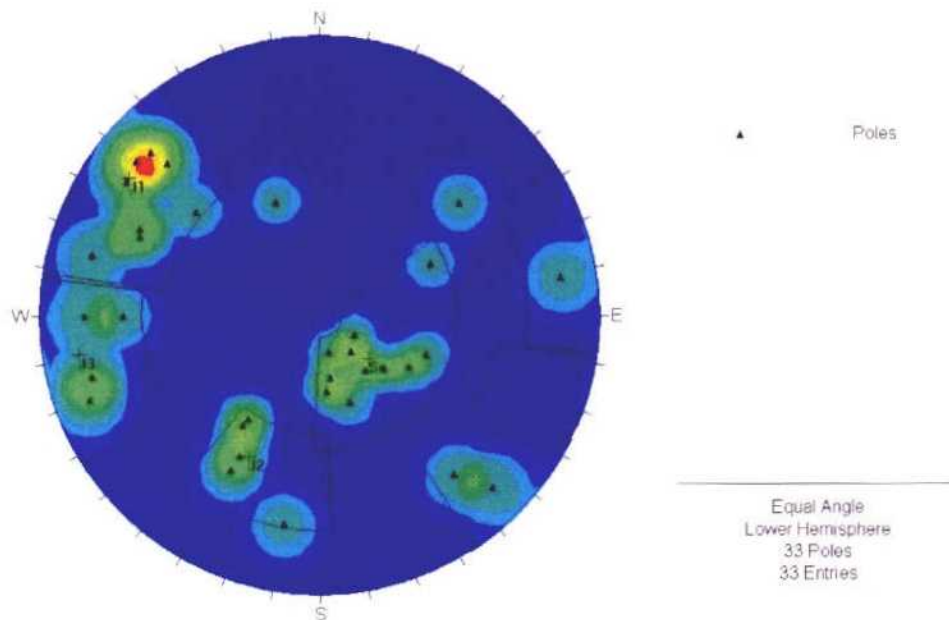


Figura 2.17.- Agrupación de los polos de la Sierra de Quípar en 4 familias principales.

En los siguientes apartados se muestran las características de las 4 familias de discontinuidades presentes en la Sierra de Quípar.

**a) Familia S0**

Corresponde a la estratificación y se ha medido en 11 estaciones geomecánicas (85% del total), presentando una alta representatividad.

El buzamiento medio de la familia es de  $26^\circ$  (máximo de  $47^\circ$  y mínimo de  $15^\circ$ ), y la dirección media de buzamiento  $312^\circ$  (máximo de  $355^\circ$  y mínimo de  $245^\circ$ ). La dispersión en la orientación de la familia es elevada, sobre todo en lo que respecta a la dirección de buzamiento.

El espaciado medio de la estratificación es de 0,7 m (máximo de 1 m y mínimo de 0,3 m).

La continuidad lateral de la S0 es elevada, con media de 9 m (máxima de 20 m y mínima de 1 m).



La apertura de la estratificación generalmente varía de 1 a 5 mm (55% de los planos observados) con predominio de rellenos arcillosos (55% del total).

En el Cuadro 2.12 se muestran las características medias y de cada junta, medidas en la familia S0.

Cuadro 2.12.- Características de la familia S0.

FAMILIA (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de Quipar)	ESTACIÓN GEOMECÁNICA	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
S0 (85%)	EG-111	25	351	0,6	20	>5	Arcilla y arena
	EG-16a	19	319	0,6	10	1-5	Arcilla
	EG-16b	28	320	1,0	2	<1	Arcilla
	EG-106	16	299	0,5	10	1-5	Sin relleno
	EG-106B	47	245	0,3	5	1-5	Arcilla
	EG-109	30	355	0,6	1	<1	Sin relleno
	EG-108a	40	300	1,0	2	<1	Sin relleno
	EG-108b	44	290	1,0	3	1-5	Arcilla
	EG-105a	15	347	1,0	3	1-5	Calcita o arcilla
	EG-105b	36	341	0,3	20	>5	Arcilla
	EG-107	33	310	0,4	20	1-5	Marga
	Media	26	312	0,7	9	1-5 (55%)	Arcilla (55%)
	Máximo	47	355	1,0	20	-	-
Mínimo	15	245	0,3	1	-	-	

## b) Familia J1

Se ha identificado en 10 estaciones geomecánicas (77% del total), mostrando un alta representatividad.

El buzamiento medio de la familia es de 80° (máximo de 82° y mínimo de 60°) y la dirección de buzamiento media de 126° (máximo de 320° y mínimo de 105°) mostrando una dispersión baja sobre todo en cuanto a la dirección de buzamiento.

El espaciado medio entre los planos de la familia es de 1,5 m (máximo de 2 m y mínimo de 0,8 m) y la continuidad lateral media de 3 m (máximo de 10 m y mínimo de 1 m).

Un 60% de las discontinuidades de la familia J1 presentan aperturas mayores de 5 mm, predominantemente con rellenos arcillosos (70%).

En el Cuadro 2.13 se presentan las características medias y de cada junta, medidas en la familia J1.

Cuadro 2.13.- Características de la familia J1.

FAMILIA (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de Quipar)	ESTACIÓN GEOMECÁNICA	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
J1 (77%)	EG-111	75	135	2,0	2	>5	Arcilla
	EG-16a	71	116	1,0	4	>5	Arcilla
	EG-16b	80	105	2,0	1	>5	Arcilla
	EG-106	73	320	1,0	2	1-5	Arcilla
	EG-106B	80	125	2,0	3	>5	Arcilla
	EG-108a	60	130	1,5	2	>5	Arcilla
	EG-12	82	315	2,0	2	1-5	Sin relleno
	EG-13	81	130	0,8	2	<1	Calcita
	EG-105a	70	114	1,5	10	>5	Arcilla y arena
	EG-105b	80	134	1,0	3	<1	Sin relleno
	Media	80	126	1,5	3	>5 (60%)	Arcilla (70%)
Máximo	82	320	2,0	10	-	-	
Mínimo	60	105	0,8	1	-	-	

**c) Familia J2**

La familia se identificó en 5 estaciones geomecánicas (38% del total), mostrando una representatividad media.

El buzamiento medio de la familia es de 59° (máximo de 74° y mínimo de 48°) y la dirección de buzamiento media de 27° (máximo de 35° y mínimo de 10°) presentando una dispersión baja en el área de estudio.

El espaciado medio de la familia es de 2,1 m (máximo de 4 m y mínimo de 0,5 m) y su continuidad lateral media de 2 m (máximo de 5 m y mínimo de 1 m).

La apertura de las juntas es mayor de 5 mm en todos los casos, con rellenos arcillosos y arenosos en un 70% de las observaciones realizadas.

En el **Cuadro 2.14** se presentan las características medias y de cada junta, medidas en la familia J2.

Cuadro 2.14.- Características de la familia J2.

FAMILIA (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de Quipar)	ESTACIÓN GEOMECÁNICA	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
J2 (38%)	EG-111	65	30	4,0	2	>5	Arcilla y arena
	EG-106B	74	10	2,0	2	>5	Arcilla
	EG-108a	60	30	3,0	5	>5	Arcilla
	EG-12	51	35	0,5	1	>5	Sin relleno
	EG-13	48	25	1,0	1	>5	Arcilla y arena
	Media	59	27	2,1	2	>5(100%)	Arcilla y o arena (80%)
	Máximo	74	35	4,0	5	-	-
	Mínimo	48	10	0,5	1	-	-

#### d) Familia J3

La familia presenta una representatividad media a alta, observándose en 7 estaciones geomecánicas (54% del total).

El buzamiento medio es de 82° (máximo de 82° y mínimo de 60°) y la dirección media de buzamiento es de 81° (máximo de 285° y mínimo de 70°), presentando una dispersión baja entre los distintos puntos de medición.

El espaciado medio de la familia es de 1,3 m (máximo de 2 m y mínimo de 1 m) y su continuidad lateral media es de 3 m (máximo de 8 m y mínimo de 2 m).

El 71% de las discontinuidades de la familia presenta aperturas superiores a 5 mm, presentándose con rellenos arcillosos en el 86% de los casos.

En el **Cuadro 2.15** se presentan las características medias y de cada junta, medidas en la familia J3.

Cuadro 2.15.- Características de la familia J3.

FAMILIA (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de Quípar)	ESTACIÓN GEOMECÁNICA	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
J3 (54%)	EG-111	70	90	1	2	>5	Arcilla
	EG-106B	64	285	1	2	>5	Arcilla
	EG-109	82	261	1	2	1-5	Arena y arcilla
	EG-108a	82	70	2	4	>5	Arcilla
	EG-108b	60	266	1,5	8	>5	Arcilla
	EG-105b	80	90	1,5	2	>5	Arcilla
	EG-107	80	75	1,0	2	1-5	Calcita
	Media	82	81	1,3	3	>5 (71%)	Arcilla (86%)
	Máximo	82	285	2,0	8	-	-
	Mínimo	60	70	1,0	2	-	-

- A modo de resumen, se presenta el **Cuadro 2.16** donde se muestran las características medias de las 4 familias de juntas identificadas en la sierra de Quípar, la **Figura 2.18** donde se presentan en proporción estereográfica los polos y planos medios de cada familia y las **Figuras 2.19, 2.20 y 2.21** donde se muestra gráficamente la representatividad, espaciado medio y continuidad lateral media de cada familia.

Cuadro 2.16.- Características medias de las 4 familias de juntas presentes en la sierra de Quípar.

FAMILIA	REPRESENTATIVIDAD (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de Almírez)	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
So	85%	26	312	0,7	9	1-5 (55%)	Arcilla (55%)
J1	77%	80	126	1,5	3	>5 (60%)	Arcilla (70%)
J2	38%	59	27	2,1	2	>5(100%)	Arcilla y o arena (80%)
J3	54%	82	81	1,3	3	>5 (71%)	Arcilla (86%)

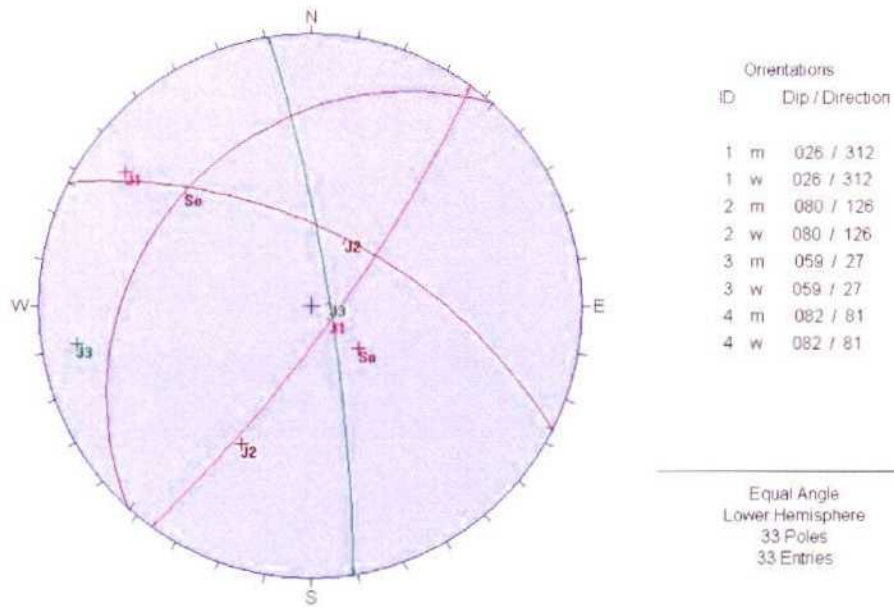


Figura 2.18.- Polos y planos medios de las 4 familias de juntas.

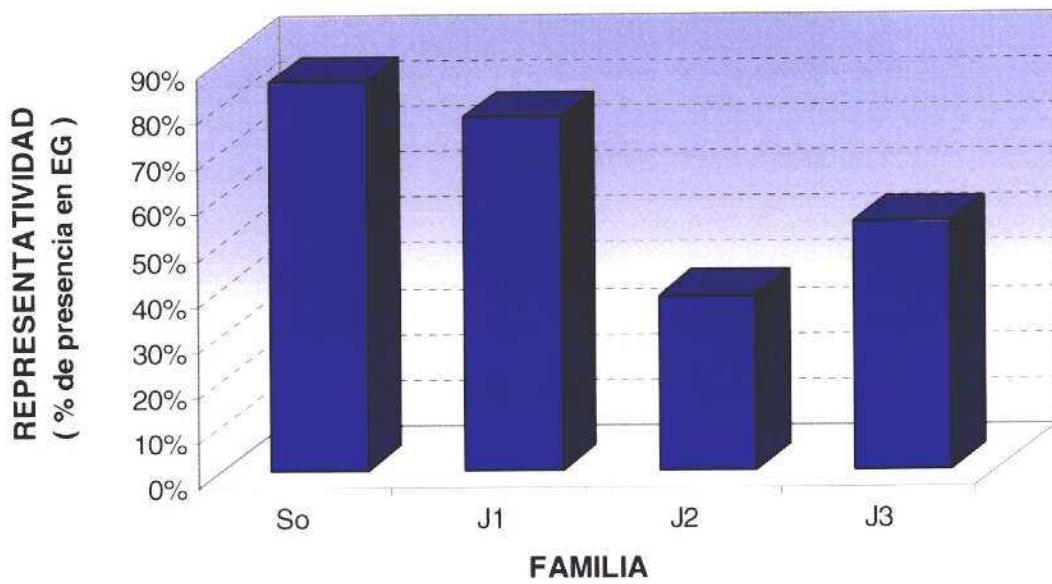


Figura 2.19.- Representatividad de cada familia en la sierra de Quipar.

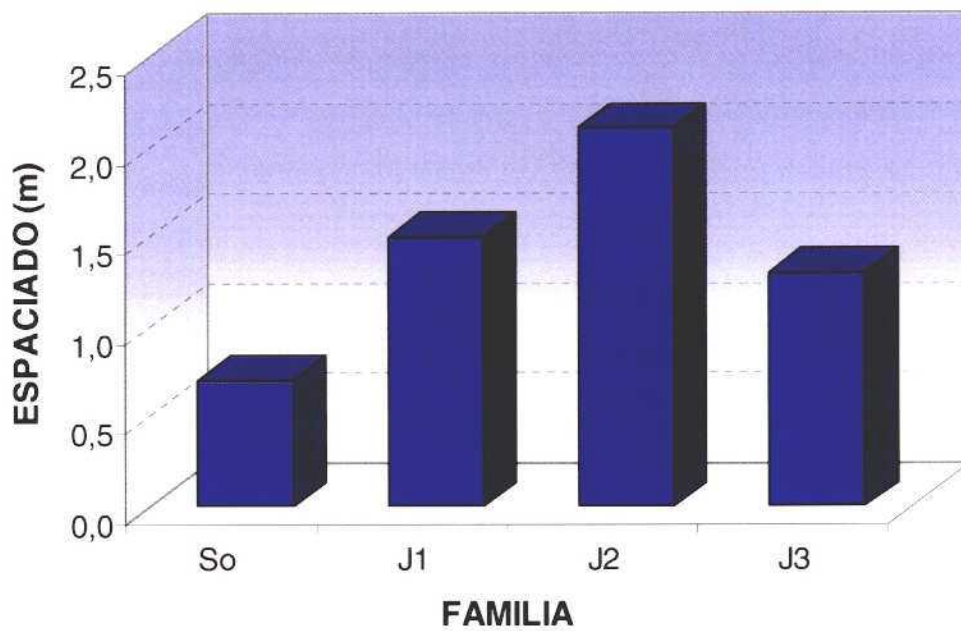


Figura 2.20.- Espaciado medio de cada familia.

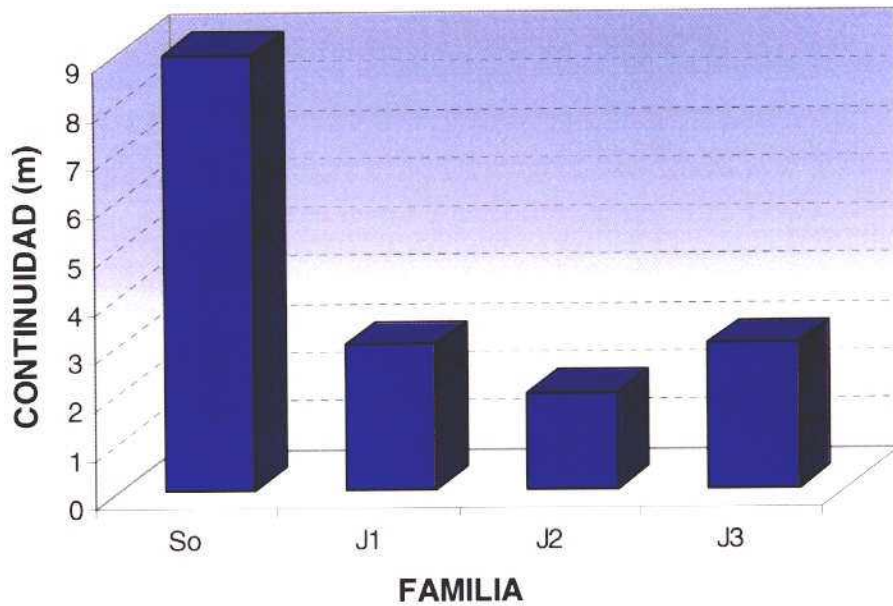


Figura 2.21.- Continuidad lateral media de cada familia.

#### 2.4.4.- Patrón de fracturación en la sierra de Almírez

Para la caracterización de la fracturación en el macizo rocoso calcáreo de la sierra de Almírez se cuenta con 15 estaciones geomecánicas que proporcionan un total de 225 medidas de discontinuidades, cuyos contornos de polos medios en proyección estereográfica se muestran en la **Figura 2.22**.

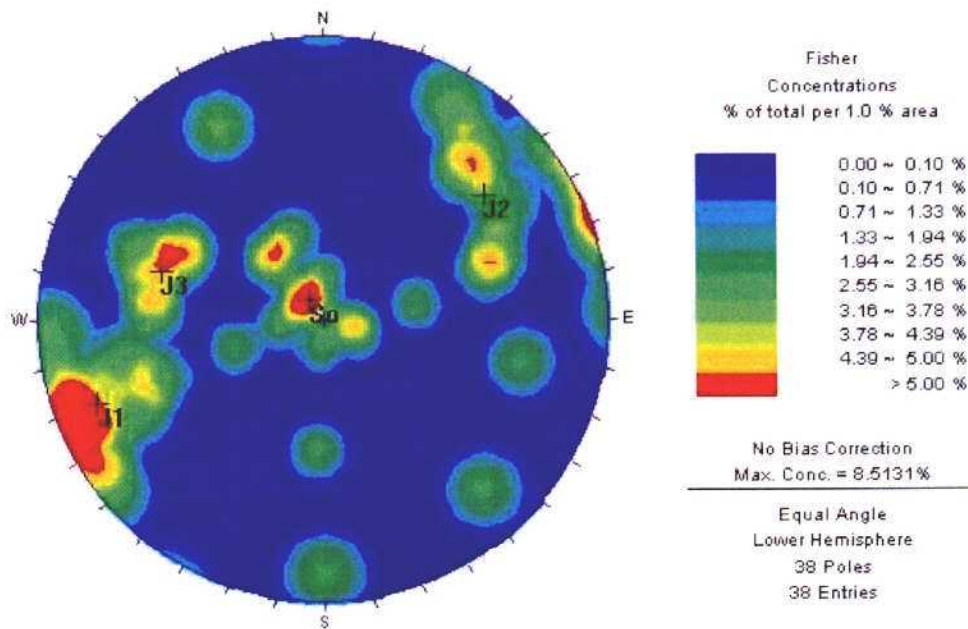


Figura 2.22.- Contornos de polos medios en la sierra de Almírez.

El patrón de fracturación se muestra homogénea a lo largo de los puntos de medida en toda la sierra, siendo posible agrupar los polos medidos en 4 familias principales, la estratificación (S0) y 3 juntas (J1, J2 y J3), como se muestra en la **Figura 2.23**.

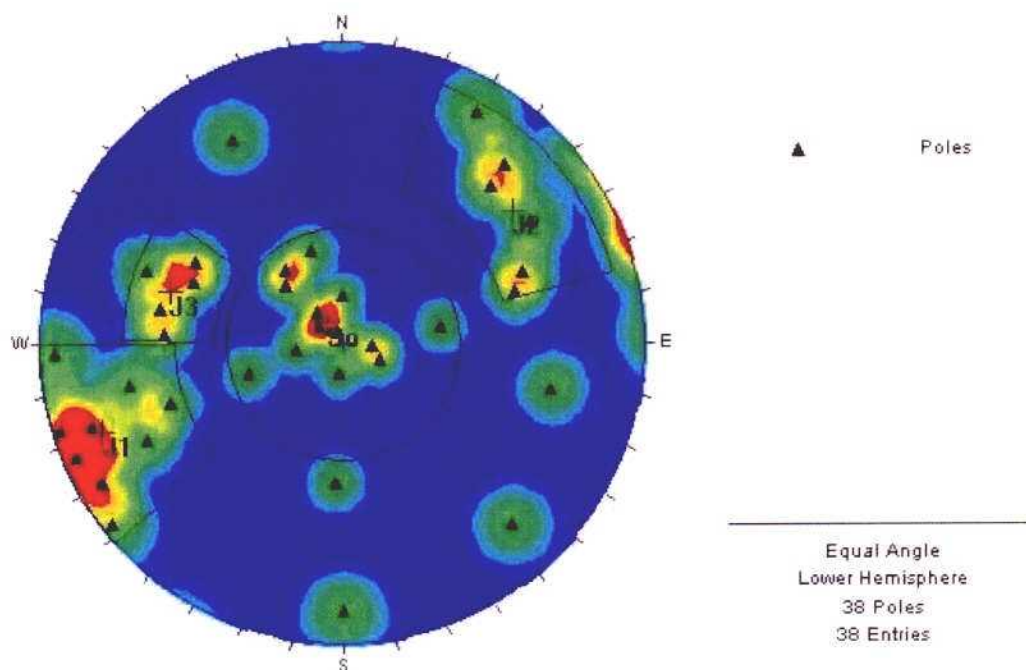


Figura 2.23.- Agrupación de los polos de sierra de Almírez en 4 familias principales.

En los siguientes apartados se muestran las características de las 4 familias de discontinuidades presentes en la sierra de Almírez.

#### a) Familia S0

Corresponde a la estratificación y se ha medido en 13 estaciones geomecánicas (87% del total), presentando una alta representatividad.

El buzamiento medio de la familia es de  $10^\circ$  (máximo de  $36^\circ$  y mínimo de  $5^\circ$ ), y la dirección media de buzamiento  $146^\circ$  (máximo de  $293^\circ$  y mínimo de  $73^\circ$ ). La dispersión en la orientación de la familia es muy elevada, sobre todo en lo que respecta a la dirección de buzamiento, indicando un suave plegamiento de la formación carbonatada.

El espaciado medio de la estratificación es de 2,2 m (máximo de 10 m y mínimo de 0,4 m), mostrando predominio de bancos métricos.

La continuidad lateral de la S0 es elevada, con medida de 12 m (máximo mayor de 20 m y mínimo de 3 m).



La apertura de la estratificación es generalmente superior a 5 mm (46% de los planos observados) con predominio de rellenos arcillosos y/o arenosos (54% del total).

En el Cuadro 2.17 se muestran las características medias y de cada junta, medidas en la familia S0.

Cuadro 2.17.- Características de la familia S0.

FAMILIA (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de Almírez)	ESTACIÓN GEO MECÁNICA	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
S0 (87%)	EG-37A	11	8	1,2	8	1-5	Arena y calcita
	EG-39	11	126	1,5	10	>5	Arena y calcita
	EG-36A	34	143	2,0	10	1-5	Marga y calcita
	EG-36B	18	180	4,0	8	<1	-
	EG-42	18	84	0,6	3	>5	calcita
	EG-116	5	155	0,5	20	1-5	Marga y arena
	EG-44	36	73	0,5	10	1-5	-
	EG-45	15	142	0,4	20	>5	-
	EG-41	36	260	10,0	20	>5	Marga y arena
	EG-37Ba	30	136	5,0	20	>5	Arcilla
	EG-38	11	272	1,0	3	<1	-
	EG-117	36	161	0,8	15	<1	-
	EG-46	15	293	0,8	3	>5	Arcilla
Media		10	146	2,2	12	>5 (46%)	Arcilla y/o arena (54%)
Máximo		36	293	10,0	20	-	-
Mínimo		5	73	0,4	3	-	-

## b) Familia J1

Se ha identificado en 9 estaciones geomecánicas (60% del total), mostrando una alta representatividad.

El buzamiento medio de la familia es de 80° (máximo de 88° y mínimo de 62°) y la dirección de buzamiento media de 70° (máximo de 88° y mínimo de 52°), mostrando una dispersión baja en ambos parámetros a lo largo de la sierra de Almírez.

El espaciado medio entre los planos de la familia es de 1,7 m (máximo de 6 m y mínimo de 3 m) y la continuidad lateral media de 5 m (máximo de 8 m y mínimo de 3 m).

Un 56% de las discontinuidades de la familia J1 presentan aperturas mayores de 5 mm, predominantemente sin rellenos (67%).

En el Cuadro 2.18 se presentan las características medias y de cada junta, medidas en la familia J1.

Cuadro 2.18.- Características de la familia J1.

FAMILIA (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de Almírez)	ESTACIÓN GEO MECÁNICA	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
J1 (60%)	EG-36A	82	72	1,0	6	<1	-
	EG-42	87	88	0,5	3	<1	-
	EG-116	85	60	1,0	5	<1	-
	EG-44	71	64	1,5	4	>5	-
	EG-45	71	79	1,5	3	>5	-
	EG-37Ba	62	71	2,0	4	>5	Arcilla
	EG-37Bb	88	73	6,0	8	>5	Arcilla
	EG-38	88	52	0,3	4	1-5	-
	EG-46	87	67	1,5	4	>5	Arcilla
Media	80	70	1,7	5	>5 (56%)	Sin relleno (67%)	
Máximo	88	88	6,0	8	-	-	
Mínimo	62	52	0,3	3	-	-	

**c) Familia J2**

La familia se identificó en 6 estaciones geomecánicas (40% del total), mostrando una representatividad media a alta.

El buzamiento medio de la familia es de 71° (máximo de 83° y mínimo de 61°) y la dirección de buzamiento media de 232° (máximo de 253° y mínimo de 210°), presentando una dispersión baja en el área de estudio.

El espaciado medio de la familia es de 1,6 m (máximo de 3 m y mínimo de 0,1 m), y su continuidad lateral media de 4 m (máximo de 8 m y mínimo de 1 m).

La apertura de las juntas es mínima (< 1 mm) en un 50% de los casos, no presentándose rellenos en un 67% de las observaciones realizadas.

En el **Cuadro 2.19** se presentan las características medias y de cada junta, medidas en la familia J2.

Cuadro 2.19.- Características de la familia J2.

FAMILIA (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de Almírez)	ESTACIÓN GEO MECÁNICA	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
J2 (40%)	EG-37A	61	253	0,7	7	>5	Arena
	EG-39	83	210	0,1	1	1-5	-
	EG-36B	77	222	1,5	8	>5	Marga
	EG-44	73	237	2,0	2	<1	-
	EG-37Bb	71	223	2,0	4	<1	-
	EG-46	65	248	3,0	2	<1	-
	Media	71	232	1,6	4	<1 (50%)	Sin relleno (67%)
	Máximo	83	253	3,0	8	-	-
	Mínimo	61	210	0,1	1	-	-

#### d) Familia J3

La familia presenta una representatividad media, observándose en 5 estaciones geomecánicas (33% del total).

El buzamiento medio es de 61° (máximo de 69° y mínimo de 56°) y la dirección media de buzamiento es de 107° (máximo de 119° y mínimo de 93°), presentando una dispersión muy baja entre los distintos puntos de medición.

El espaciado medio de la familia es de 2,0 m (máximo de 4 m y mínimo de 0,4 m) y su continuidad lateral media es de 9 m (máximo de 20 m y mínimo de 3 m), tratándose de una discontinuidad muy penetrativa cuando se presenta.

El 67% de las discontinuidades de la familia presenta aperturas entre 1 y 5 mm, presentándose rellenos de naturaleza marga arcillosa en un 40% de los casos.

En el Cuadro 2.20 se presentan las características medias y de cada junta, medidas en la familia J3.

Cuadro 2.20.- Características de la familia J3.

FAMILIA (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de Almírez)	ESTACIÓN GEO MECÁNICA	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
J3 (33%)	EG-40	69	111	0,4	10	1-5	Marga
	EG-36A	61	93	0,5	3	1-5	-
	EG-36B	63	101	3,5	5	<1	-
	EG-37Bb	56	113	1,5	20	>5	Arcilla
	EG-117	58	119	4,0	7	1-5	calcita
	Media	61	107	2,0	9	1-5 (67%)	Marga y arcilla (40%)
	Máximo	69	119	4,0	20	-	-
	Mínimo	56	93	0,4	3	-	-

- A modo de resumen, se presenta el **Cuadro 2.21** donde se muestran las características medias de las 4 familias de juntas identificadas en la sierra Almírez, la **Figura 2.24** donde se presentan en proyección estereográfica los polos y planos medios de cada familia y las **Figuras 2.25, 2.26 y 2.27** donde se muestran gráficamente la representatividad, espaciado medio y continuidad lateral media de cada familia.

Cuadro 2.21.- Características medias de las 4 familias de juntas presentes en la sierra de Almírez.

FAMILIA	REPRESENTATIVIDAD (% de aparición en los puntos medidos en la Sierra de Almírez)	GEOMETRÍA				RELLENO	
		Buzamiento	D.Buzamiento	Espaciado (m)	Continuidad (m)	Apertura (mm)	Tipo de relleno
So	87%	10	146	2,2	12	>5 (46%)	Arcilla y/o arena (54%)
J1	60%	80	70	1,7	5	>5 (56%)	Sin relleno (67%)
J2	40%	71	232	1,6	4	<1 (50%)	Sin relleno (67%)
J3	33%	61	107	2,0	9	1-5 (67%)	Marga y arcilla (40%)

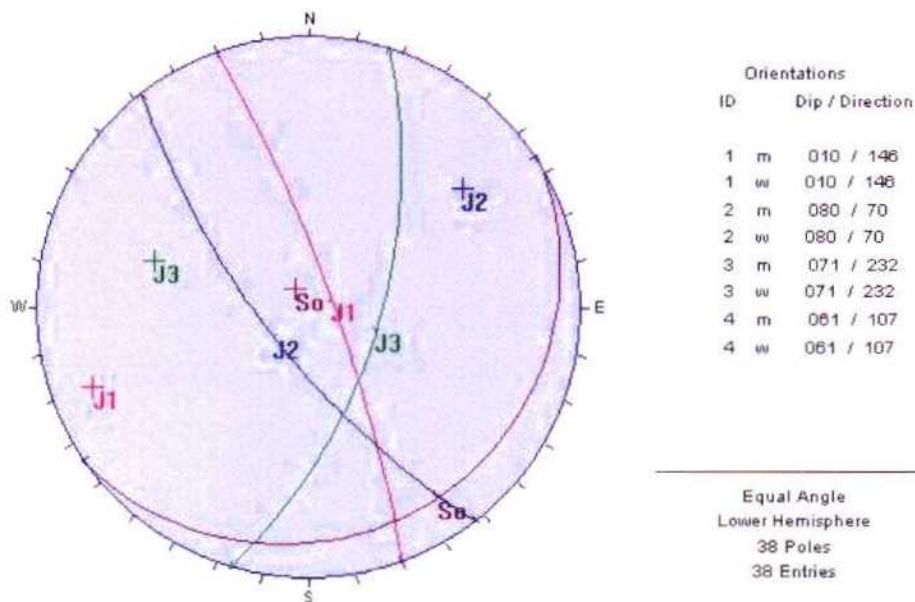


Figura 2.24.- Polos y planos medios de las 4 familias de juntas.

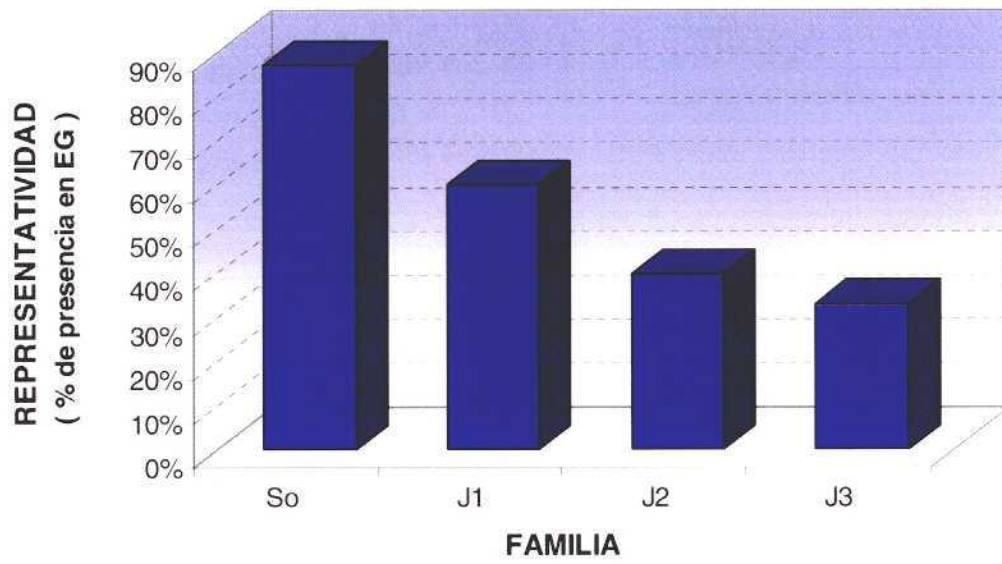


Figura 2.25.- Representatividad de cada familia en la sierra de Almírez.

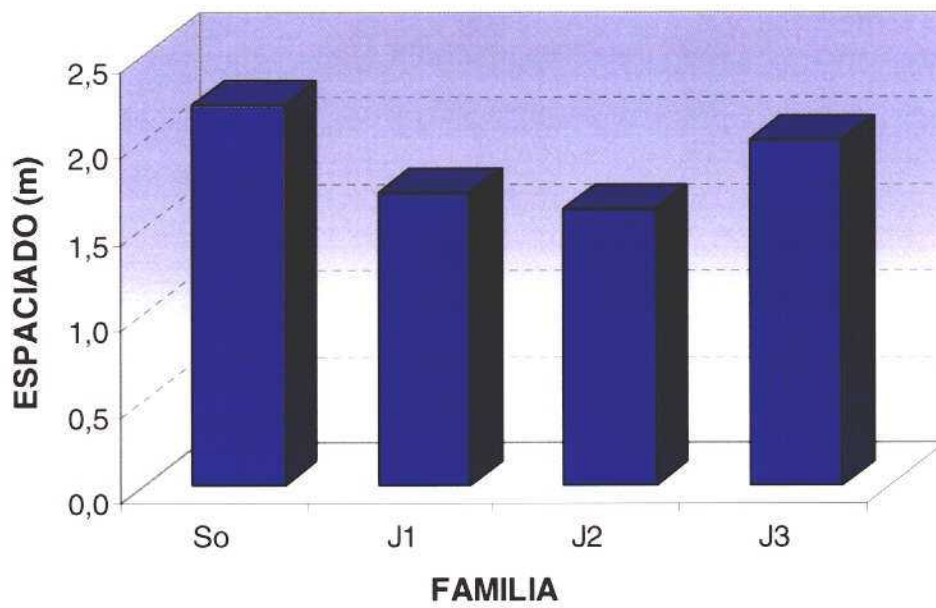


Figura 2.26.- Espaciado medio de cada familia.

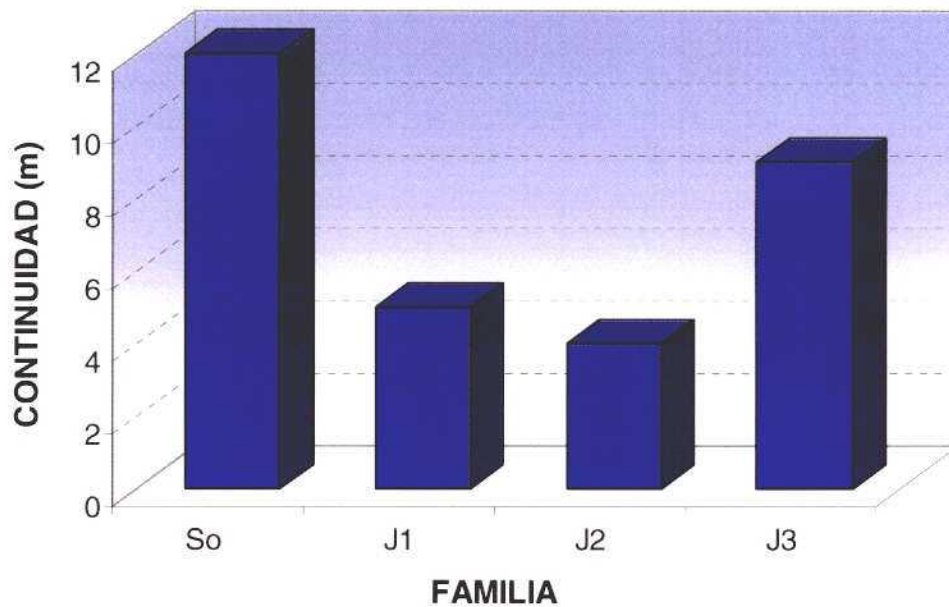


Figura 2.27.- Continuidad lateral media de cada familia.

## 2.5.- PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ROCA INTACTA

El primer paso para la caracterización mecánica del macizo, es establecer las propiedades de la roca intacta para cada uno de los 4 litotipos diferenciados presentes en cada una de las sierras estudiadas.

### 2.5.1.- Metodología

Los parámetros resistentes se determinan a partir de los ensayos de laboratorio efectuados, utilizándose ensayos a compresión simple o uniaxial, ensayos de tracción indirecta (Brasileño), y los ensayos de compresión triaxial.

De esta manera, si se representan los resultados de estos ensayos en el plano  $\sigma_3 - \sigma_1$  se obtiene un punto para cada ensayo. Los diferentes criterios de rotura determinan una relación funcional entre estos puntos. Los utilizados en este caso han sido el de Mohr-Coulomb y el de Hoek-Brown, este último en su última revisión, publicada el año 2002.

El criterio de Mohr-Coulomb supone una relación lineal entre  $\sigma_3$  y  $\sigma_1$ :

$$\sigma_1 = \lambda \cdot \sigma_3 + \sigma_c$$

Siendo la  $\sigma_c$  la resistencia a compresión simple del litotipo y  $\lambda$  un parámetro relacionado con el ángulo de fricción según la ecuación:

$$\lambda = \frac{1 + \operatorname{sen}\phi}{1 - \operatorname{sen}\phi} = \operatorname{tg}^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

A partir de  $\sigma_c$  y  $\sigma_3$  se pueden obtener el ángulo de fricción ( $\phi$ ) y la cohesión del litotipo ( $C$ ) mediante la expresión:

$$\phi = 2 \cdot \operatorname{arctg} \sqrt{\lambda} - 90$$

$$C = \sigma_c \frac{1 - \operatorname{sen}\phi}{2 \cdot \cos\phi}$$

El criterio de Hoek-Brown supone una relación no lineal entre  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  de la forma:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \cdot \left( m \cdot \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

donde  $m$  es un parámetro que depende del ángulo de fricción, y  $s$  es un parámetro que relaciona la resistencia a compresión simple de la roca intacta ( $\sigma_c$ ) con la resistencia a compresión simple del macizo rocoso ( $\sigma_c^m$ ) mediante la expresión:

$$\sigma_c^m = \sigma_{ci} \cdot s^a$$

El parámetro “ $a$ ” es una constante del macizo rocoso, dada por:

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left( e^{\frac{-RMR}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right)$$

En el caso de los ensayos de laboratorio,  $s$  vale 1 ya que se trata de roca intacta, y si se denomina  $m_i$  a  $m$ , la ecuación adquiere la forma:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \cdot \left( m_i \cdot \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + 1 \right)^a$$

Si ahora se efectúa el cambio de variables:

$$x = \sigma_3'$$

$$y = (\sigma_1' - \sigma_3')^{1/a}$$



se obtiene la siguiente relación lineal para roca intacta:

$$y = m_i \cdot x \cdot \sigma_{ci}^{(1/a-1)} + \sigma_{ci}^{1/a}$$

Si se asume un valor de  $\sigma_{ci}$  fijo, determinado en este caso por los ensayos de laboratorio, se puede obtener el valor del parámetro  $m_i$ , que se utilizará más adelante para evaluar las propiedades del macizo rocoso. El valor de  $m_i$  para distintas rocas se puede obtener también partiendo de la **Figura 2.28**.

Rock type	Class	Group	Texture			
			Course	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerate (22)	Sandstone 19	Siltstone 9	Claystone 4
			← Greywacke (18) →			
	Non-Clastic	Organic	← Chalk 7 →			
			← Coal (8-21) →			
		Carbonate	Breccia (20)	Sparitic Limestone (10)	Micritic Limestone 8	
	Chemical		Gypstone 16	Anhydrite 13		
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9	Hornfels (19)	Quartzite 24	
	Slightly foliated		Migmatite (30)	Amphibolite 31	Mylonites (6)	
	Foliated*		Gneiss 33	Schists (10)	Phyllites (10)	Slate 9
IGNEOUS	Light		Granite 33		Rhyolite (16)	Obsidian (19)
			Granodiorite (30)		Dacite (17)	
	Dark		Diorite (28)		Andesite 19	
			Gabbro 27	Dolerite (19)	Basalt (17)	
	Norite 22					
	Extrusive pyroclastic type		Agglomerate (20)	Breccia (18)	Tuff (15)	

\*These values are for intact rock specimens tested normal to foliation. The value of  $m_i$  will be significantly different if failure occurs along a foliation plane (Hoek, 1983).

Figura 2.28.- Valores de la constante  $m_i$  para roca intacta, según grupos de rocas (Hoek et al, 1996).

Para determinar los valores de los parámetros del criterio de plastificación, tanto del criterio de Mohr-Coulomb como del de Hoek-Brown, se realiza una regresión lineal de los valores  $\sigma_1'$  y  $\sigma_3'$  obtenidos de los ensayos de laboratorio. Así, para el criterio de Mohr-Coulomb, se ajusta la recta de la fórmula anteriormente expuesta, y para el de Hoek-Brown, en caso de roca intacta, el que se indicó en la anterior expresión.

En general, estos ajustes son muy sensibles al valor de  $\sigma_{ci}$  y, normalmente, el valor de  $\sigma_{ci}$  obtenido en laboratorio debería ser similar al de los ajustados para los dos criterios de rotura. En este caso, se parte de una resistencia a compresión simple determinada en laboratorio, por lo que las expresiones utilizadas para estimar los parámetros son, para el caso del criterio de Mohr-Coulomb:

$$\phi_e = 2 \cdot \arctg \sqrt{\lambda_e} - 90$$

$$c_e = \sigma_{ci} \frac{1 - \text{sen} \phi_e}{2 \cdot \cos \phi_e}$$

$$c_e = \sigma_{ci} \frac{1 - \text{sen} \phi_e}{2 \cdot \cos \phi_e}$$

y para el criterio de Hoek y Brown:

$$m_e = \frac{1}{n} \sum \left[ \frac{(\sigma_{1i}' - \sigma_{3i}')^{1/a} - \sigma_{ci}^{1/a}}{(\sigma_{3i}' \cdot \sigma_c^{(1/a-1)})} \right]$$

donde el subíndice "e" indica los parámetros ajustados y el subíndice "i" cada uno de los puntos correspondientes a un ensayo, siendo n el total de los puntos  $\sigma_1' - \sigma_3'$  considerados por litotipo.

Los coeficientes de correlación se obtienen de la expresión conocida:

$$r^2 = \frac{\sum (Y_{\text{est}} - Y_{\text{med}})^2}{\sum (Y_e - Y_{\text{med}})^2}$$

### **2.5.2.- Resultados obtenidos a nivel de roca intacta**

La resistencia a compresión simple de la matriz rocosa se ha obtenido mediante la realización de ensayos de resistencia a carga puntual o ensayos en prensa Franklin, cuyos protocolos de ensayo se muestran en el Apéndice II.

El ensayo de carga puntual con prensa Franklin, también conocido como PLT (Point Load Test) se utiliza para determinar la resistencia a compresión simple de fragmentos irregulares de roca a partir del índice  $I_S$  obtenido en el ensayo. En la **Figura 2.29** se muestra un esquema de la Prensa Franklin.

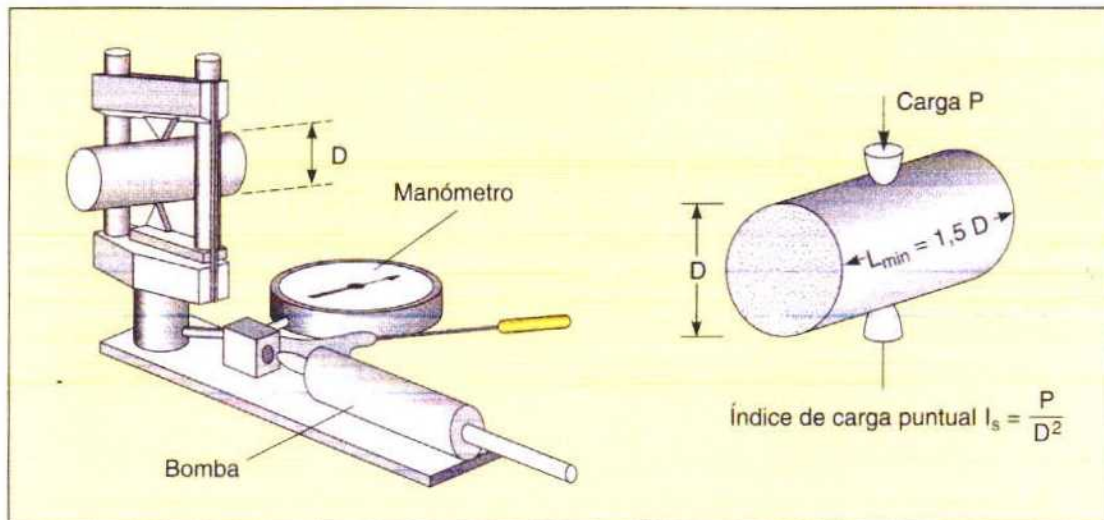


Figura 2.29.- Esquema de la Prensa Franklin. (González de Vallejo et al, 2002).

El procedimiento consiste en romper una muestra entre dos puntos metálicos accionados por una prensa portátil. A partir de la carga de rotura se obtiene un índice  $I_S$ , que puede ser correlacionado con la resistencia a compresión simple del material ensayado:

$$I_S = P/D^2$$

Siendo P la carga de rotura y D el diámetro de la probeta o altura de la muestra ensayada (distancia entre puntos).

La correlación entre el índice  $I_S$  y la resistencia a compresión de la roca  $\sigma_c$  para un diámetro de 50 mm. Resulta:

$$\sigma_c = 23 \cdot I_{S(50)}$$

Para muestras con diámetros diferentes a 50 mm es necesario corregir el valor  $I_s$ , referenciándolo a  $I_{s(50)}$ .

En cada una de las 4 zonas estudiadas se han realizado 25 ensayos tipo Franklin que se resumen en los **Cuadros 2.22 a 2.25**.

La distribución de resistencia a compresión en cada una de las zonas se muestra en las **Figuras 2.30 a 2.33**.

Cuadro 2.22.- Resultados de los ensayos Franklin en la Sierra de La Puerta.

MUESTRA	ZONA	LITOLOGÍA	$I_{s(50)}$ (N/mm <sup>2</sup> )	RCS (MPa)	RCS (MPa)
Z-1 (17) S.P.	SIERRA DE LA PUERTA	Calizas color crema (Eoceno)	5,01	115,2	104,1
			5,75	132,3	
			6,17	141,9	
			1,27	29,2	
			4,44	102,1	
Z-1 (19) S.P.	SIERRA DE LA PUERTA	Calizas color crema (Eoceno)	6,12	140,8	98,3
			4,26	98,0	
			3,55	81,7	
			4,67	107,4	
			2,76	63,5	
Z-1 (19) S.P.	SIERRA DE LA PUERTA	Calizas color crema (Eoceno)	3,52	81,0	90,6
			5,48	126,0	
			5,80	133,4	
			2,59	59,6	
			2,31	53,1	
Z-1 (22) S.P.	SIERRA DE LA PUERTA	Calizas color crema (Eoceno)	4,37	100,5	129,7
			5,69	130,9	
			6,15	141,5	
			5,79	133,2	
			6,20	142,6	
Z-1 (23) S.P.	SIERRA DE LA PUERTA	Calizas color crema (Eoceno)	4,52	104,0	88,8
			7,15	164,5	
			1,78	40,9	
			5,85	134,6	
			0,00	0,0	
<b>MEDIA</b>			<b>4,4</b>	<b>102,3</b>	<b>102,3</b>

Cuadro 2.23.- Resultados de los ensayos Franklin en la Sierra de Burete.

MUESTRA	ZONA	LITOLOGÍA	Is(50) (N/mm <sup>2</sup> )	RCS (MPa)	RCS (Mpa)
Z-1 (16) B	SIERRA DE BURETE	Calizas rojizas y grisáceas con venas de calcita (Fm. Burete, Jurásico)	3,31	76,1	71,6
			4,73	108,8	
			3,00	69,0	
			1,70	39,1	
			2,83	65,1	
Z-1 (21) B	SIERRA DE BURETE	Calizas rojizas y grisáceas con venas de calcita (Fm. Burete, Jurásico)	2,73	62,8	80,3
			3,08	70,8	
			2,65	61,0	
			5,18	119,1	
			3,82	87,9	
Z-1 (25) B	SIERRA DE BURETE	Calizas rojizas y grisáceas con venas de calcita (Fm. Burete, Jurásico)	3,94	90,6	108,5
			5,03	115,7	
			5,22	120,1	
			4,44	102,1	
			4,96	114,1	
Z-1 (112) B	SIERRA DE BURETE	Calizas rojizas y grisáceas con venas de calcita (Fm. Burete, Jurásico)	4,36	100,3	99,0
			4,20	96,6	
			6,17	141,9	
			4,23	97,3	
			2,56	58,9	
Z-1 (113) B	SIERRA DE BURETE	Calizas rojizas y grisáceas con venas de calcita (Fm. Burete, Jurásico)	4,26	98,0	101,4
			3,00	69,0	
			4,91	112,9	
			5,77	132,7	
			4,10	94,3	
<b>MEDIA</b>			<b>4,0</b>	<b>92,2</b>	<b>92,2</b>

Cuadro 2.24.- Resultados de los ensayos Franklin en la Sierra de Quípar.

MUESTRA	ZONA	LITOLÓGÍA	$I_{s(50)}$ (N/mm <sup>2</sup> )	RCS (MPa)	RCS (MPa)
Z-1 (105) Q	SIERRA DE QUÍPAR	Calizas rosadas y beige con venas de calcita (Fm. Ammonítico Rosso Superior, Cretácico)	3,46	79,6	85,9
			5,39	124,0	
			0,88	20,2	
			4,11	94,5	
			4,84	111,3	
Z-1 (106) Q	SIERRA DE QUÍPAR	Calizas rosadas y beige con venas de calcita (Fm. Ammonítico Rosso Superior, Cretácico)	3,30	75,9	68,1
			2,17	49,9	
			3,37	77,5	
			2,93	67,4	
			3,03	69,7	
Z-1 (108) Q	SIERRA DE QUÍPAR	Calizas rosadas y beige con venas de calcita (Fm. Ammonítico Rosso Superior, Cretácico)	3,65	84,0	74,5
			2,50	57,5	
			2,17	49,9	
			3,14	72,2	
			4,74	109,0	
Z-1 (109) Q	SIERRA DE QUÍPAR	Calizas rosadas y beige con venas de calcita (Fm. Ammonítico Rosso Superior, Cretácico)	3,30	75,9	84,0
			2,84	65,3	
			3,41	78,4	
			4,45	102,4	
			4,26	98,0	
Z-1 (111) Q	SIERRA DE QUÍPAR	Calizas rosadas y beige con venas de calcita (Fm. Ammonítico Rosso Superior, Cretácico)	4,48	103,0	112,6
			7,34	168,8	
			3,66	84,2	
			2,81	64,6	
			6,18	142,1	
<b>MEDIA</b>			<b>3,7</b>	<b>85,0</b>	<b>85,0</b>

Cuadro 2.25.- Resultados de los ensayos Franklin en la Sierra de Almírez.

MUESTRA	ZONA	LITOLÓGÍA	$I_{s(50)}$ (N/mm <sup>2</sup> )	RCS (MPa)	RCS (MPa)
Z-2 (36)	SIERRA DE ALMÍREZ	Calizas ocre-rosada parcialmente recristalizada (Fm. Camarena, Jurásico)	6,45	148,4	130,7
			6,36	146,3	
			5,52	127,0	
			5,14	118,2	
			4,95	113,9	
Z-2 (38)	SIERRA DE ALMÍREZ	Calizas ocre-rosada parcialmente recristalizada (Fm. Camarena, Jurásico)	4,06	93,4	99,4
			3,30	75,9	
			5,10	117,3	
			5,13	118,0	
Z-2 (39)	SIERRA DE ALMÍREZ	Calizas ocre-rosada parcialmente recristalizada (Fm. Camarena, Jurásico)	4,02	92,5	57,1
			3,29	75,7	
			1,58	36,3	
			3,00	69,0	
			1,62	37,3	
Z-2 (41)	SIERRA DE ALMÍREZ	Calizas ocre-rosada parcialmente recristalizada (Fm. Camarena, Jurásico)	2,92	67,2	79,2
			2,79	64,2	
			1,94	44,6	
			3,66	84,2	
Z-2 (42)	SIERRA DE ALMÍREZ	Calizas ocre-rosada parcialmente recristalizada (Fm. Camarena, Jurásico)	4,00	92,0	97,5
			4,83	111,1	
			4,10	94,3	
			4,38	100,7	
			4,57	105,1	
			4,44	102,1	
			3,71	85,3	
<b>MEDIA</b>			<b>4,0</b>	<b>92,8</b>	<b>92,8</b>

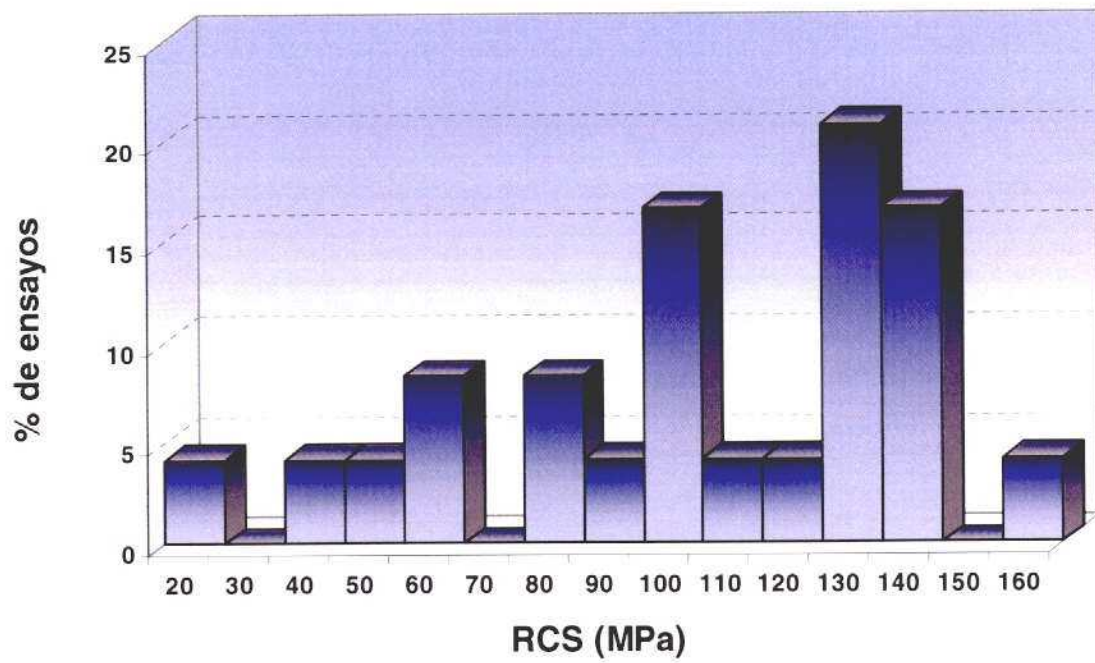


Figura 2.30.- Distribución de la resistencia a compresión simple en La Sierra de la Puerta.

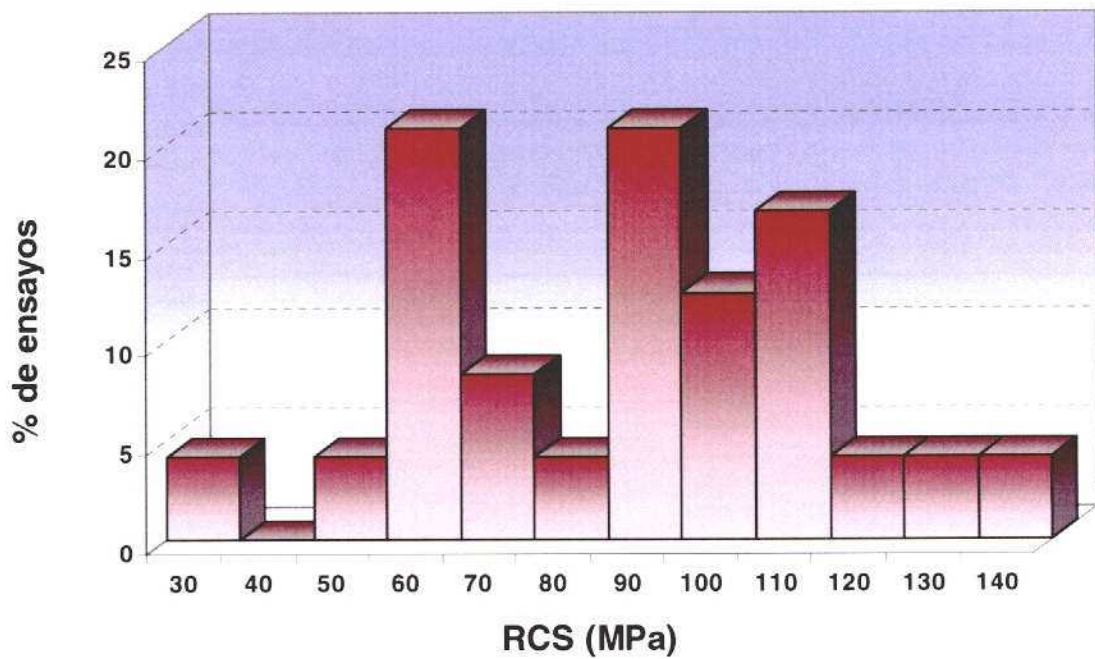


Figura 2.31.- Distribución de la resistencia a compresión simple en La Sierra de Burete.



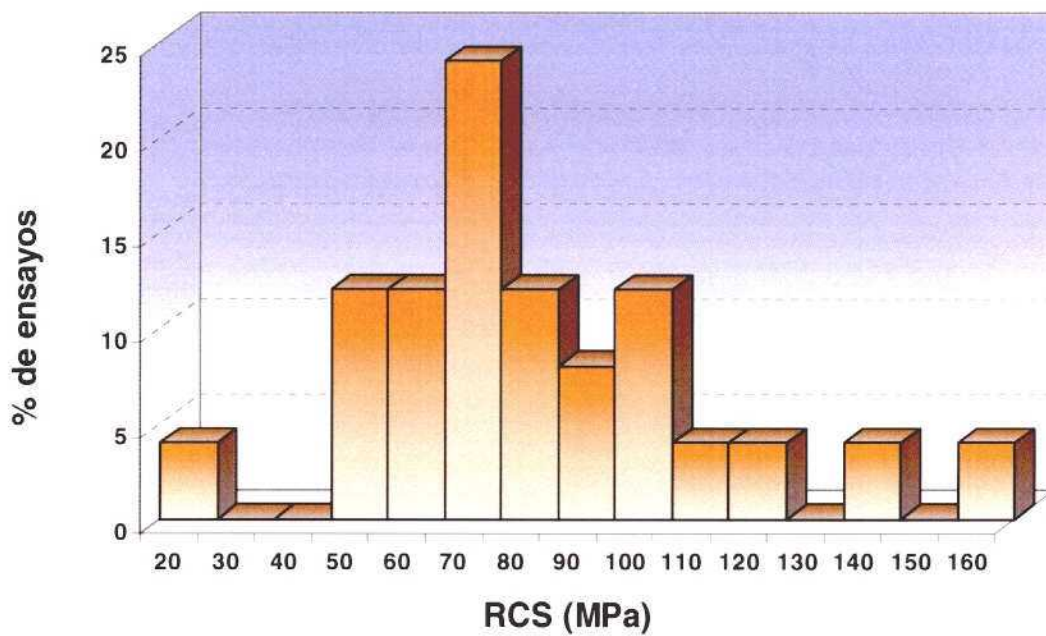


Figura 2.32.- Distribución de la resistencia a compresión simple en La Sierra de Quipar.

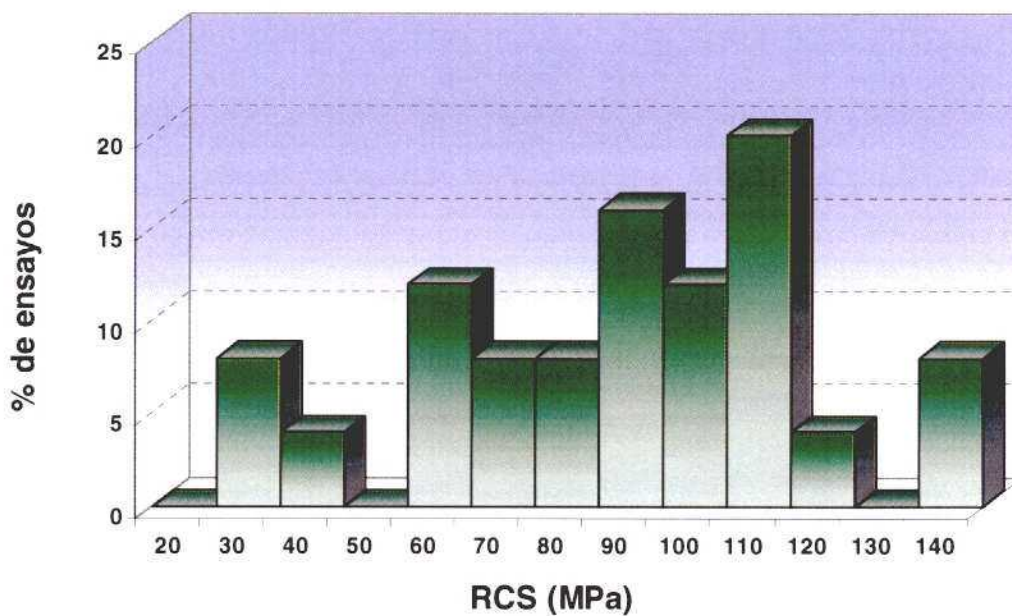


Figura 2.33.- Distribución de la resistencia a compresión simple en La Sierra de Almírez.

Complementariamente se cuenta con los ensayos a compresión simple sobre 6 probetas (UNE-22185) realizados en el laboratorio del centro tecnológico del Mármol en la zona de Sierra Almírez, que arrojan valores medios de resistencia a compresión simple de 115 MPa, compatibles con los obtenidos en la misma zona mediante la prensa Franklin.

Además de la resistencia a compresión simple, los litotipos deben caracterizarse con el índice  $m_i$  a nivel de roca intacta. Según la **Figura 2.28** se han considerado un valor bibliográfico de  $m_i = 9$ , correspondiente a una caliza micrítica, para todos los litotipos. El valor se considera conservador, siendo el menor asignado por Hoek para caracterizar rocas carbonáticas.

## **2.6.- PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO**

Una vez determinadas las propiedades de cada litotipo, a nivel de la roca intacta, es preciso estimar sus propiedades a nivel del macizo rocoso. Para ello a cada litotipo se le ha asociado un Rock Mass Rating (RMR), aplicando la clasificación de Bieniawski. A continuación se expone la metodología seguida y los resultados obtenidos.

### **2.6.1.- Metodología aplicada**

La aplicación de la clasificación de Bieniawski en esencia consiste en asignar a cada tipo de terreno un índice de calidad, denominado RMR que depende de:

- Resistencia a compresión simple de la roca matriz.
- Condiciones del diaclasado.
- Efecto del agua.
- Posición relativa de la excavación con respecto a las diaclasas.

Para tener en cuenta la incidencia de estos factores, se definen una serie de parámetros, asignándoles unas determinadas valoraciones, cuya suma en cada caso proporciona el índice RMR que varía entre 0 y 100.

En **Cuadro 2.26** se muestran los criterios de valoración para aplicar esta clasificación según la versión de Bieniawski presentada en 1.979.

Cuadro 2.26.- Clasificación de Bieniawski (1979).

**I.- PARÁMETROS DE CALIFICACIÓN**

<b>RMR (1) RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DE LA ROCA INTACTA</b>							
VALOR (kp/cm <sup>2</sup> )	>2.500	1.000-2.500	500-1.000	250-500	50-250	10-50	<10
VALORACIÓN	15	12	7	4	2	1	0

<b>RMR (2+3) RQD Y SEPARACIÓN ENTRE DIACLASAS</b>																	
JUNTAS POR METRO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
VALORACIÓN	40	34	31	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	16	17	
JUNTAS POR METRO		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
VALORACIÓN		17	16	15	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	9	9	
JUNTAS POR METRO		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	
VALORACIÓN		9	8	8	7	7	7	6	6	6	5	5	5	4	4	4	

<b>RMR(4)</b>	<b>ESTADO DE LAS DIACLASAS</b>				
PERSISTENCIA	<1 m	1-3m	3-10m	10-20m	20m
	6	4	2	1	0
APERTURA	0	<0,1 mm	0,1-1 mm	1-5 mm	> 5 mm
	6	5	4	1	0
RUGOSIDAD	Muy rugosa	Rugosa	Liger. rugosa	Lisa	Espejo falla
	6	5	3	2	0
RELLENO	NO HAY	DURO CON ESPESOR <5mm	DURO CON ESPESOR >5mm	BLANDO CON ESPESOR <5mm	BLANDO CON ESPESOR >5mm
	6	5	3	2	0
GRADO DE METEORIZACIÓN	NO AFECTADO	LIGERO	MODERADO	ALTO	DESCOMPUESTO
	6	5	3	1	0

<b>RMR (5)</b>	<b>EFEECTO DEL AGUA</b>				
ESTADO	SECO	LIG. HÚMEDO	HÚMEDO	GOTEANDO	CHORREANDO
VALORACIÓN	15	10	7	4	0

En función del RMR obtenido los macizos rocosos se clasifican en las cinco categorías siguientes:

- Roca Muy Buena (RMR entre 81 y 100).
- Roca Buena (RMR entre 61 y 80).
- Roca Media (RMR entre 41 y 60).
- Roca Mala (RMR entre 21 y 40).
- Roca Muy Mala (RMR menor que 20).

Con el valor RMR obtenido en campo es posible minorar las propiedades obtenidas para la roca intacta, empleando el criterio de rotura de Hoek-Brown expresado en la ecuación:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \cdot \left( m \cdot \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

donde m y s son dos parámetros función de la litología de la roca ( $m_i$ ) y del estado del macizo rocoso caracterizado por el citado RMR. Esta dependencia viene dada por las expresiones de Brown y Hoek (2002), basadas en las de Priest y Brown (1983):

$$m = m_i \cdot e^{\left( \frac{RMR-100}{28-14 \cdot D} \right)}$$

$$s = e^{\left( \frac{RMR-100}{9-3 \cdot D} \right)}$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left( e^{-RMR/15} - e^{-20/3} \right)$$

siendo  $m_i$  un parámetro dependiente de la litología de la roca. Su valor puede tomarse de la bibliografía, ó determinarse, en cada caso concreto, mediante ensayos de laboratorio.

“D” es un factor que depende del grado de desconfinamiento producido en la roca por la excavación y la relajación de tensiones. Varía entre 0 para rocas no afectadas por la excavación y 1 para aquellas que han sido muy afectadas.

La resistencia a compresión uniaxial del macizo rocoso puede obtenerse mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \cdot s^a$$

Una vez obtenidos  $m$  y  $s$  se pueden estimar los valores de la cohesión y fricción del macizo rocoso, ya que existe una relación para un determinado nivel de presión de confinamiento.

La curva de resistencia intrínseca envolvente de los estados tensionales últimos definidos por el criterio de HOEK y BROWN, puede sustituirse por una recta definida por el ángulo de rozamiento y la cohesión, determinada por las siguientes expresiones:

$$\phi' = \text{sen}^{-1} \left[ \frac{6 \cdot a \cdot m \cdot (s + m \cdot \sigma_{3n}')^{a-1}}{2 \cdot (1+a) \cdot (2+a) + 6 \cdot a \cdot m \cdot (s + m \cdot \sigma_{3n}')^{a-1}} \right]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} \cdot [(1+2 \cdot a) \cdot s + (1-a) \cdot m \cdot \sigma_{3n}'] \cdot (s + m \cdot \sigma_{3n}')^{a-1}}{(1+a) \cdot (2+a) \cdot \sqrt{1 + \frac{6 \cdot a \cdot m \cdot (s + m \cdot \sigma_{3n}')^{a-1}}{(1+a) \cdot (2+a)}}}$$

donde:

$$\sigma_{3n}' = \frac{\sigma'_{3\max}}{\sigma_{ci}}$$

El valor de  $\sigma'_{3\max}$ , el límite superior de la presión de confinamiento para el cual se considera la relación entre los criterios de Hoek-Brown y Mohr-Coulomb, debe determinarse para cada situación particular.

En el caso de taludes, el valor de  $\sigma'_{3\max}$  es aquel para el que el factor de seguridad calculado y la forma y localización de la superficie de rotura son equivalentes en ambos criterios. Considerando el criterio de rotura circular de Bishop, se tendría:

$$\sigma'_{3\max} = 0,72 \cdot \sigma'_{cm} \cdot \left( \frac{\sigma'_{cm}}{\gamma \cdot H} \right)^{-0,91}$$

Con ello quedan definidos los valores de cohesión y fricción para un entorno específico de presiones sobre el terreno.

### **2.6.2.- Resultados obtenidos**

Los valores de RMR considerados se han obtenido de las estaciones geomecánicas realizados. En las **Figuras 2.34 a 2.37** se muestra la distribución de los valores de RMR para cada una de las zonas.

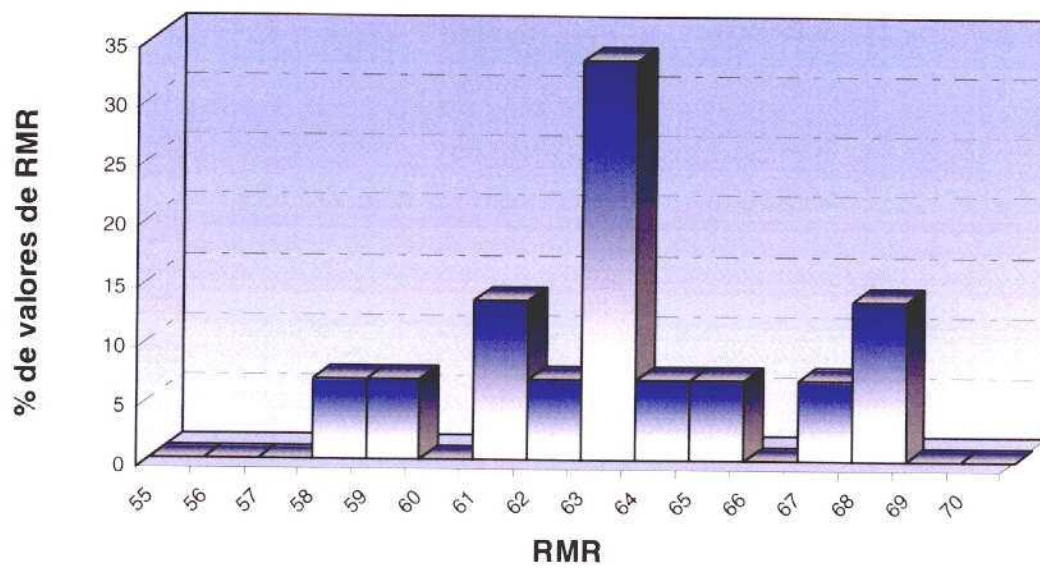


Figura 2.34.- Histograma de frecuencias del valor de RMR en la Sierra de la Puerta.

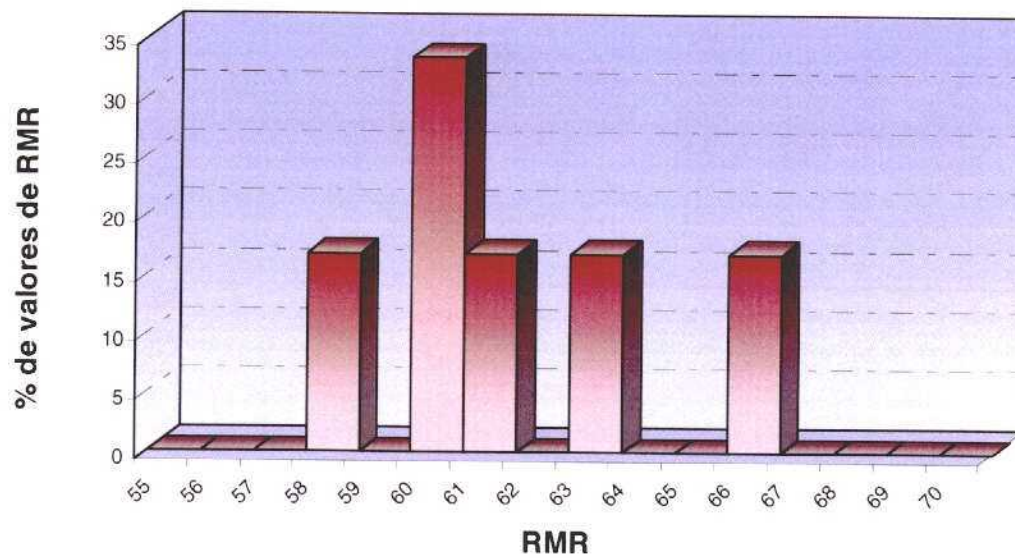


Figura 2.35.- Histograma de frecuencias del valor de RMR en la Sierra de Burete.

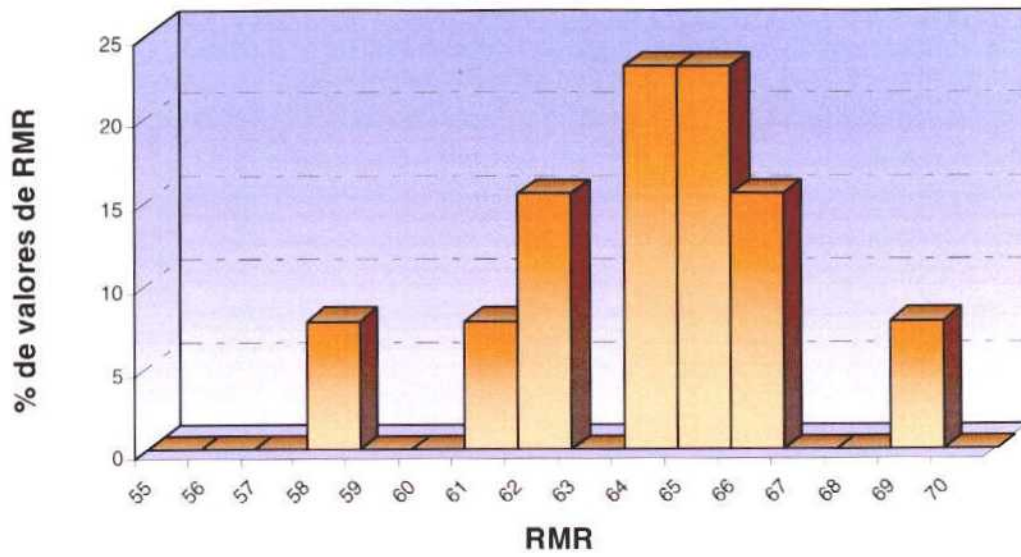


Figura 2.36.- Histograma de frecuencias del valor de RMR en la Sierra de Quipar.

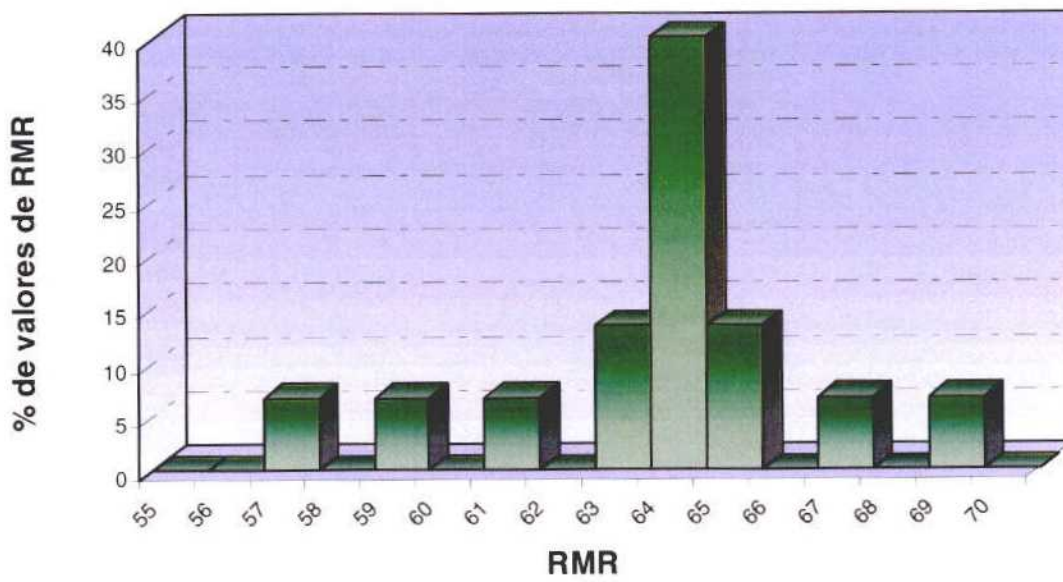


Figura 2.37.- Histograma de frecuencias del valor de RMR en la Sierra de Almírez.

Los valores de RMR en la Sierra de La Puerta oscilan entre 58 y 68, pudiéndose tomar un valor medio de cálculo de 63.

En la Sierra de Burete los valores de RMR oscilan entre 58 y 66, considerándose un valor para el cálculo de 60.

Los valores de RMR en la Sierra de Quipar oscilan entre 58 y 69, pudiéndose considerar un valor medio para el cálculo de 64.

En el caso de La Sierra de Almírez los valores de RMR varían entre 57 y 69 con un valor medio de cálculo de 64.

Siguiendo la metodología expuesta anteriormente el **Cuadro 2.27** muestra las propiedades a nivel de macizo rocoso para alturas de talud de 12, 24 y 36 m en las 4 zonas estudiadas.

## **2.7.- PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS DISCONTINUIDADES**

Primeramente se realiza una descripción de la metodología empleada para obtener las propiedades mecánicas de las discontinuidades, aplicándola posteriormente en la estimación de las propiedades resistentes de las distintas familias de juntas presentes en cada una de las zonas estudiadas.

### **2.7.1.- Metodología**

Para un estudio de las propiedades resistentes de familias de juntas distribuidas en áreas geográficas extensas, como es este caso, resulta adecuado utilizar criterios de rotura basados en la estimación sistemática de diversos parámetros en campo, tales como la rugosidad (aplicando el índice JRC), resistencia de las paredes (índice JCS) y ángulo de fricción básico ( $\phi_b$ ).

#### **a) Rugosidad (índice JRC)**

La rugosidad de las paredes de las juntas es una componente muy importante de su resistencia al corte, cuantificada mediante el índice JRC que varía entre 0 y 20.

El índice  $JRC_o$  (JRC a pequeña escala, generalmente para longitudes de entre 10 y 20 cm) se obtiene por comparación con los perfiles de rugosidad estándar mostrados en la **Figura 2.38**.

Para escalas reales puede estimarse el índice  $JRC_n$  (índice JRC a escala de bloque) utilizando el gráfico de la **Figura 2.39** que relaciona la longitud L de la junta y la amplitud a de la rugosidad en la longitud anterior con el índice  $JRC_n$ .



Cuadro 2.27.- Propiedades mecánicas de las 4 zonas a nivel de macizo rocoso.  
Entre paréntesis rangos de variación.

ZONA	RMR	$\sigma_c^i$ (MPa)	$m_i$	D	m	s	a	$\sigma_c^m$ (MPa)	Em (MPa)	ALTURA DEL TALUD (m)	C (MPa)	$\phi$ (°)
Sierra de La Puerta	63 (58-68)	102,3 (41-164)*	9	0	2,008	0,0094	0,503	9,8	15.844	12	1,28	59,7
										24	1,32	57,6
										36	1,38	56,0
Sierra de Burete	60 (58-66)	92,2 (39-142)*	9	0	1,804	0,0067	0,504	7,4	12.805	12	0,96	59,5
										24	1,01	57,1
										36	1,07	55,3
Sierra de Quipar	64 (58-69)	85,0 (50-169)*	9	0	2,081	0,0105	0,503	8,6	15.478	12	1,13	59,1
										24	1,18	57,0
										36	1,24	55,3
Sierra de Almírez	64 (57-69)	92,8 (36-148)*	9	0	2,081	0,0105	0,503	9,4	16.172	12	1,23	59,4
										24	1,28	57,3
										36	1,34	55,7

\* rangos sin considerar rotura por discontinuidad.

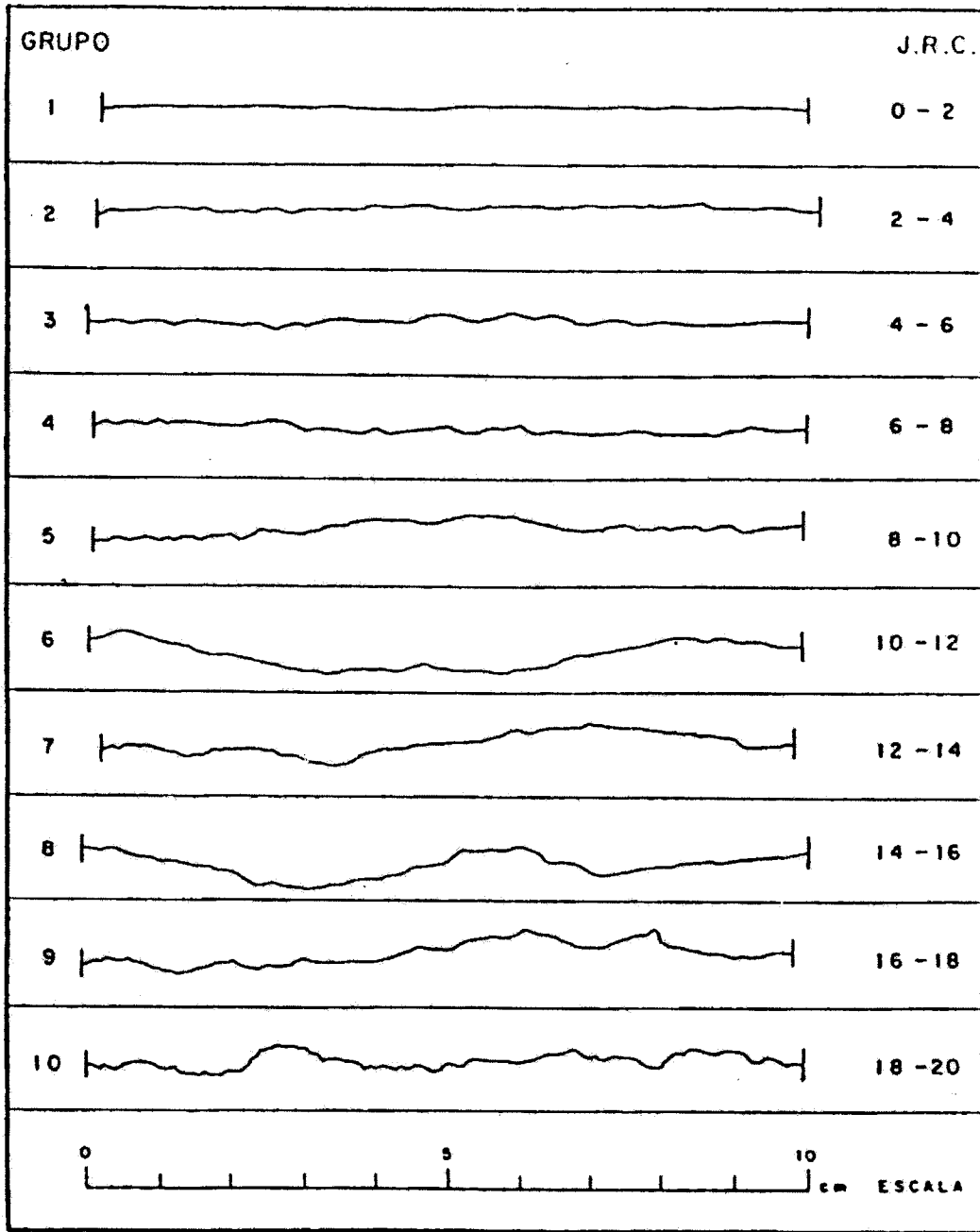


Figura 2.38.- Perfiles de rugosidad para la estimación del índice JRC<sub>0</sub>.

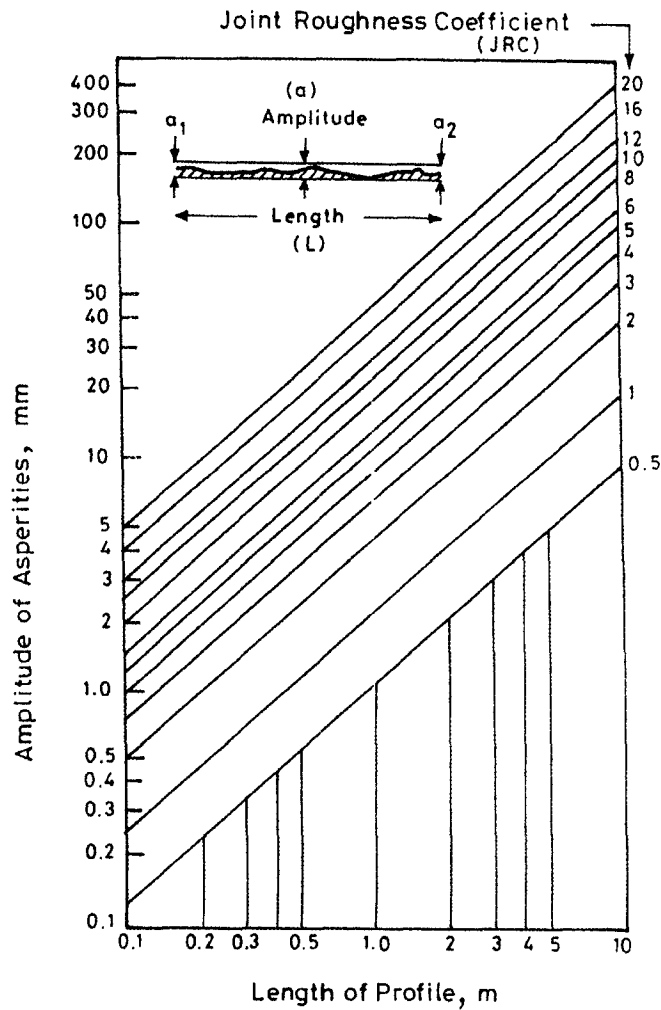


Figura 2.39.- Gráfico para la obtención del índice  $JRC_n$  a partir de la longitud ( $L$ ) y la asperidad de la rugosidad ( $a$ ) de las juntas.

En el caso de que no pueda obtenerse en campo los parámetros necesarios en el gráfico anterior, puede obtenerse el índice  $JRC_n$  a partir del índice  $JRC_o$ , corrigiéndolo según la longitud de la junta de esta forma:

$$JRC_n = JRC_o (L_n / L_o)^{-0,02 JRC_o}$$

donde:

$JRC_n$  = Índice JRC a escala real.

$JRC_o$  = Índice JRC a escala de laboratorio (10 a 20 cm)

$L_n$  = longitud real de la junta.

$L_o$  = longitud considerada a escala de laboratorio (10 a 20 cm).

## b) Resistencia de las paredes. Índice JCS

La resistencia a compresión de las paredes de las discontinuidades (JCS) es una componente importante de la resistencia al corte de las juntas, especialmente en el caso de juntas que no han sufrido desplazamientos y no presentan rellenos.

El índice  $JCS_o$  puede obtenerse en el campo mediante el martillo de Schmidt o esclerómetro, aplicándolo sobre la pared de la junta verticalmente hacia abajo mediante la expresión:

$$\text{Log}_{10} JCS_o = 0,00088 \cdot \gamma \cdot r + 1,01$$

donde:

$JCS_o$  = Resistencia a compresión de las paredes de la junta a pequeña escala ( $\text{MN}/\text{m}^2$ ).

$\gamma$  = Densidad media de la roca ( $\text{kN}/\text{m}^3$ ).

$r$  = Valor representativo tras 10 ensayos del rebote obtenido en el martillo.

En el caso de que la orientación del martillo respecto a la pared sea distinta a la anterior debe aplicarse la corrección mostrada en la **Figura 2.40**.

A escala de bloque, el valor de JCS se reduce a  $JCS_n$  según la siguiente expresión:

$$JCS_n = JCS_o (L_n / L_o)^{-0,03 \cdot JCS_o}$$

donde:

$JCS_n$  = Resistencia a compresión de la pared de la discontinuidad a escala de bloque.

$L_n$  = Longitud de la discontinuidad a escala de bloque.

$L_o$  = Longitud de la discontinuidad a pequeña escala (0,1 a 0,2 m).

## c) Ángulo de fricción básico ( $\phi_b$ ). Ensayos tilt-test

El ensayo permite estimar el ángulo de rozamiento básico ( $\phi_b$ ) en discontinuidades. Para ello se precisa un bloque de roca que contenga un plano de discontinuidad sin cohesión. El bloque se coloca sobre otro bloque de apoyo, y a continuación se inclina el bloque de apoyo hasta que comience a deslizar un fragmento sobre otro. En el momento en el que se inicie el desplazamiento se mide el ángulo del plano de apoyo con respecto a la horizontal ( $\alpha$ ). Este procedimiento debe repetirse con varias muestras de discontinuidades del macizo rocoso.

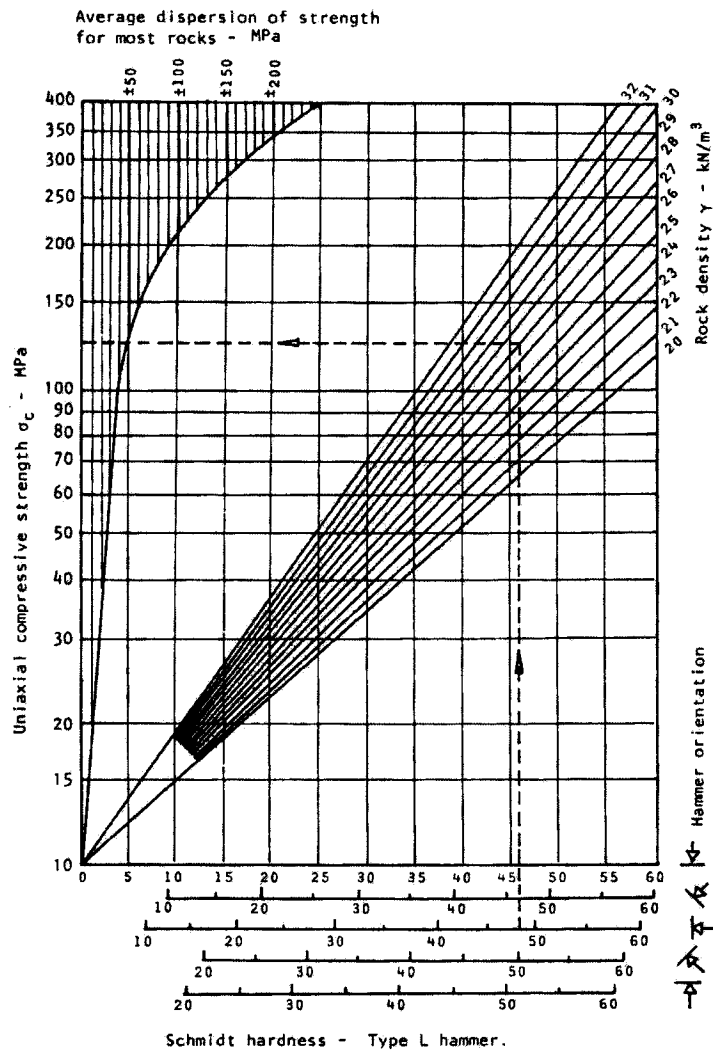


Figura 2.40.- Correlación del rebote del martillo de Schmidt ( $r$ ) con el índice  $JCS_0$  para distintas orientaciones del esclerómetro.

El valor de  $\alpha$  es función de la relación entre el esfuerzo de corte y el esfuerzo normal que actúa sobre la discontinuidad:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{2}{\sigma_n}\right) = \phi_b$$

#### d) Criterio de Barton y Choubey

Se trata de un criterio empírico, deducido a partir del análisis del comportamiento de las discontinuidades en ensayos de laboratorio, que permite estimar la resistencia al corte en discontinuidades rugosas, expresándose de la siguiente forma:

$$\tau = \sigma'_n \cdot \text{tag} \left[ \text{JRC}_n \cdot \log_{10} \left( \frac{\text{JCS}_n}{\sigma'_n} \right) + \phi_r \right]$$

donde:

$\tau$  y  $\sigma'_n$  = son los esfuerzos tangencial y normal efectivo sobre el plano de discontinuidad.

$\phi_r$  = es el ángulo de rozamiento residual.

$\text{JRC}_n$  = es el coeficiente de rugosidad de la discontinuidad corregido según la escala.

$\text{JCS}_n$  = es la resistencia a compresión de las paredes de la discontinuidad corregida según la escala.

En general, la pared de la junta está alterada y por lo tanto el ángulo de rozamiento residual será inferior al ángulo de la roca sana  $\phi_b$ . Para su evaluación se aplica la fórmula:

$$\phi_r = (\phi_b - 20^\circ) + 20 \frac{r}{R}$$

donde R es el valor del rebote del martillo de Schmidt sobre una superficie de material sano y seco; r es el valor de rebote sobre la superficie de la pared de la junta en estado natural, húmedo o seco;  $\phi_b$  es el ángulo de resistencia básico de la roca, obtenido en los ensayos till-test o a partir de datos bibliográficos.

Con la relación de Barton y Choubey se obtienen ángulos de rozamiento muy altos para tensiones de compresión muy bajas sobre la discontinuidad. Por ello no debe usarse para tensiones  $\sigma_n$  tales que  $\text{JCS} / \sigma_n > 50$  (lo que equivale al rango de resistencias presentes en este estudio para alturas de talud inferiores a 25 m), debiéndose tomar en estos casos un ángulo de rozamiento constante independiente de la carga, con un valor  $\phi$  tal que:

$$\phi = \phi_r + 1,7 \text{ JRC}$$

#### 2.7.2.- Resultados obtenidos

Siguiendo la metodología anterior se han obtenido las propiedades mecánicas de cada discontinuidad para cada familia de juntas considerada en el apartado 2.4 del presente estudio.

El ángulo de fricción básico ( $\phi_b$ ) se ha obtenido realizando 50 ensayos tilt test en escombreras de las canteras más representativas. En la **Figura 2.41** se muestra el histograma de frecuencias de  $\phi_b$  obtenido para la Sierra de la Puerta.

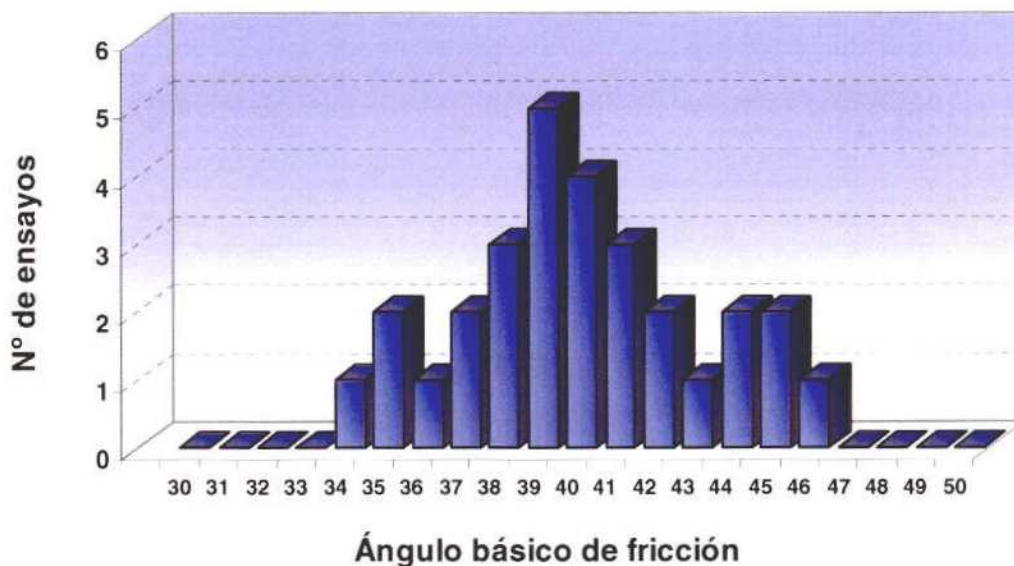


Figura 2.41.- Histograma de frecuencias de valores de  $\phi_b$  en la Sierra de la Puerta.

En la Figura se observa una distribución con tendencia normal con media en torno a  $\phi_b = 40^\circ$ , que será el valor elegido para el cálculo en la Sierra de la Puerta.

La **Figura 2.42** muestra el histograma de frecuencias de  $\phi_b$  obtenido en la Sierra de Almírez.

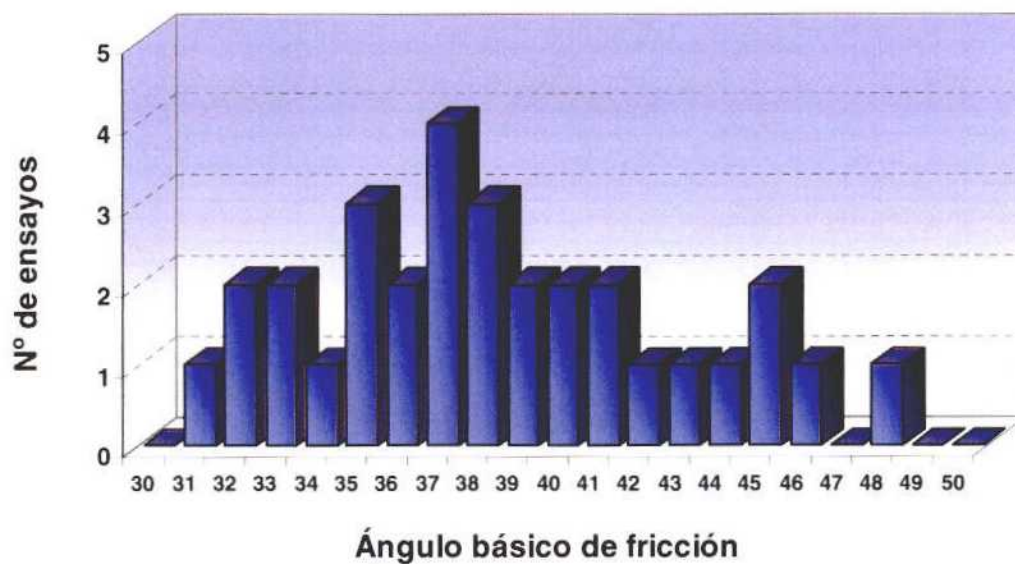


Figura 2.42.- Histograma de frecuencias de valores de  $\phi_b$  en la Sierra de Almírez.

La distribución de frecuencias presenta una dispersión apreciable, con valores de  $\phi_b$  entre  $31^\circ$  y  $48^\circ$ , pudiéndose considerar para los cálculos un valor medio de  $\phi_b = 38^\circ$ . Este valor obtenido en la Sierra de Almírez es extrapolable a los materiales de la Sierra de Burete y de la Sierra de Quipar, dadas las similitudes en cuanto a litotipo, patrón de fracturación y características de las juntas puestas de manifiesto con anterioridad.

En los **Cuadros 2.28** a **2.31** se presentan las propiedades mecánicas de las discontinuidades en cada una de las zonas estudiadas.



Cuadro 2.28.- Propiedades mecánicas de las discontinuidades en la Sierra de la Puerta. (1/2).

FAMILIA	ESTACIÓN GEOMECÁNICA	RUGOSIDAD			RESISTENCIA DE LAS PAREDES			CRITERIOS DE ROTURA ( $\phi_b=40^\circ$ )							
		JRC <sub>10</sub>	Rugosidad a escala de bloque (L (m) / A (cm))	JRC <sub>n</sub>	Rebote del martillo de Schmidt (r)	JCS <sub>0</sub> (MPa)	JCS <sub>n</sub> (MPa)	$\phi_r$ (°)	$\phi$ (<25m)	Criterio de Barton-Choubey					
										30m		40 m		50 m	
										c (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	c (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	c (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
So	EG-19	7	1/1,5	7	44	82,0	46,5	36,30	43,3	9,2	45,6	11,8	44,7	14,4	44,1
	EG-SM	15	1/8	16	38	42,5	31,7	34,07	50,07	36,6	51,4	43,4	49,5	49,9	48,1
	EG-22a	9	1/2,5	10	47	85,0	47,3	37,41	47,41	17,6	50,5	22,1	49,3	26,4	48,4
	EG-22b	7	1/1,5	7	43	72,0	43,8	35,93	42,93	9,0	45,1	11,6	44,2	14,1	43,5
	EG-23a	7	1/1,2	6	31	29,0	23,7	31,48	37,48	5,9	37,8	7,7	37,0	9,5	36,4
	EG-23b	9	1/2	9	34	51,0	35,9	32,59	41,59	11,3	43,5	14,4	42,4	17,5	41,5
	EG-23c	9	1/2	9	24	32,0	25,7	28,89	37,89	9,5	38,5	12,2	37,4	14,8	36,6
	EG-24a	7	1/1,5	7	43	71,0	43,5	35,93	42,93	9,0	45,0	11,6	44,2	14,1	43,5
	EG-24b	9	1/3,5	11	34	52,0	36,3	32,59	43,59	15,9	45,8	20,0	44,5	23,9	43,4
	EG-1	11	1/4	14	54	100,0	50,1	40,00	54,00	46,5	57,7	54,4	56,1	62,0	54,9
	EG-2	11	1/2,5	10	32	39,0	29,8	31,85	41,85	12,6	43,1	16,1	41,9	19,4	40,9
	EG-4	11	1/1,5	7	48	75,0	44,7	37,78	44,78	9,7	47,0	12,5	46,1	15,2	45,4
	EG-5	11	1/2	9	52	89,0	48,1	39,26	48,26	16,0	51,2	20,1	50,1	24,1	49,2
	EG-6	7	1/2	9	45	65,0	41,5	36,67	45,67	13,7	48,1	17,4	47,0	20,9	46,1
	<b>VALOR MEDIO</b>	<b>9</b>	<b>-</b>	<b>9</b>	<b>41</b>	<b>63,2</b>	<b>39,2</b>	<b>35,1</b>	<b>44,4</b>	<b>15,9</b>	<b>46,4</b>	<b>19,7</b>	<b>45,2</b>	<b>23,3</b>	<b>44,4</b>
J1	EG-19	11	1/4	14	30	37,0	28,7	31,1	45,1	22,2	46,2	27,4	44,5	32,3	43,2
	EG-22a	9	0,5/1,5	6	48	97,0	49,6	37,8	43,8	7,8	46,0	10,1	45,2	12,4	44,6
	EG-22b	9	1/3	12	29	34,0	26,9	30,7	42,7	16,1	43,6	20,2	42,1	24,2	41,0
	EG-23a	5	1/0,5	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	EG-23b	5	1/0,3	5	39	62,0	40,4	34,4	39,4	5,3	40,9	7,0	40,2	8,6	39,7
	EG-23c	7	1/1,5	7	34	50,0	35,4	32,6	39,6	7,8	41,1	10,1	40,2	12,3	39,6
	EG-24a	7	1/1	5	33	42,0	31,4	32,2	37,2	4,9	38,1	6,4	37,5	7,9	37,0
	EG-24b	7	0,5/1,5	6	30	36,0	28,1	31,1	37,1	5,9	37,8	7,7	37,1	9,5	36,5
	EG-1	11	1/2	9	48	70,0	43,2	37,8	46,8	14,5	49,3	18,4	48,2	22,1	47,4
	EG-2	9	1/1	5	41	50,0	35,4	35,2	40,2	5,4	41,3	7,1	40,7	8,7	40,2
	EG-3	9	1/1	5	40	50,0	35,4	34,8	39,8	5,3	40,9	7,0	40,3	8,6	39,8
	EG-5	7	1/0,5	3	38	50,0	35,4	34,1	37,1	2,8	37,8	3,7	37,4	4,6	37,1
	EG-6	11	1/3	12	45	65,0	41,5	36,7	48,7	23,7	51,5	29,2	50,1	34,4	49,0
	<b>VALOR MEDIO</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>7</b>	<b>38</b>	<b>53,6</b>	<b>35,9</b>	<b>34,0</b>	<b>41,5</b>	<b>10,2</b>	<b>42,9</b>	<b>12,9</b>	<b>42,0</b>	<b>15,5</b>	<b>41,3</b>

Cuadro 2.28.- Propiedades mecánicas de las discontinuidades en la Sierra de la Puerta. (2/2).

FAMILIA	ESTACIÓN GEOMECÁNICA	RUGOSIDAD			RESISTENCIA DE LAS PAREDES			CRITERIOS DE ROTURA ( $\phi_b=40^\circ$ )							
		JRC <sub>10</sub>	Rugosidad a escala de bloque (L (m) / A (cm))	JRC <sub>n</sub>	Rebote del martillo de Schmidt (r)	JCS <sub>0</sub> (MPa)	JCS <sub>n</sub> (MPa)	$\phi_r$ (°)	$\phi$ (<25m)	Criterio de Barton-Choubey					
										30m		40 m		50 m	
										c (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	c (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	c (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
J2	EG-SM	9	1/6	16	34	42,5	31,7	32,6	48,6	33,5	50,0	40,0	48,2	46,2	46,7
	EG-22b	7	1/1	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	EG-23a	9	1/3	12	37	48,0	34,5	33,7	45,7	19,4	47,7	24,2	46,3	28,7	45,1
	EG-23b	7	1/1	5	42	58,0	38,9	35,6	40,6	5,5	41,9	7,2	41,3	8,9	40,8
	EG-23c	9	1/3	12	41	61,0	40,0	35,2	47,2	21,7	49,9	26,9	48,5	31,8	47,3
	EG-24a	9	1/3	12	35	47,0	34,0	33,0	45,0	18,7	46,9	23,3	45,5	27,7	44,3
	EG-1	9	1/1	5	52	79,0	45,8	39,3	44,3	6,4	45,9	8,3	45,3	10,2	44,8
	EG-3	9	1/1,5	7	34	36,0	28,1	32,6	39,6	7,6	40,4	9,8	39,5	12,0	38,9
	EG-4	9	1/1	5	45	60,5	39,8	36,7	41,7	5,7	43,0	7,5	42,4	9,2	41,9
	<b>VALOR MEDIO</b>	<b>9</b>	<b>-</b>	<b>9</b>	<b>40</b>	<b>54,0</b>	<b>36,6</b>	<b>34,8</b>	<b>44,1</b>	<b>14,8</b>	<b>45,7</b>	<b>18,4</b>	<b>44,6</b>	<b>21,8</b>	<b>43,7</b>
J3	EG-19	7	1/1	5	46	80,0	46,0	37,0	42,0	5,9	43,7	7,7	43,1	9,4	42,6
	EG-SM	9	1/3	12	36	48,0	34,5	33,3	45,3	19,1	47,4	23,8	45,9	28,2	44,8
	EG-22a	7	1/2	9	53	100,0	50,1	39,6	48,6	16,4	51,7	20,7	50,6	24,8	49,8
	EG-22b	7	0,3/0,4	5	48	91,0	48,5	37,8	42,8	6,1	44,6	7,9	43,9	9,7	43,5
	EG-23b	11	1/4	13	45	68,0	42,5	36,7	49,7	28,6	52,7	34,8	51,2	40,6	50,0
	EG-24a	11	1/4	14	39	59,0	39,3	34,4	48,4	29,2	51,2	35,3	49,5	41,1	48,3
	EG-24b	11	1/2	9	30	36,0	28,1	31,1	40,1	10,3	41,1	13,2	40,0	16,1	39,1
	EG-1	11	1/2	9	51	78,0	45,5	38,9	47,9	15,5	50,6	19,6	49,5	23,5	48,7
	EG-5	11	1/2	9	51	80,0	46,0	38,9	47,9	15,5	50,7	19,6	49,6	23,5	48,7
	<b>VALOR MEDIO</b>	<b>9</b>	<b>-</b>	<b>9</b>	<b>44</b>	<b>71,1</b>	<b>42,3</b>	<b>36,4</b>	<b>45,9</b>	<b>16,4</b>	<b>48,2</b>	<b>20,3</b>	<b>47,0</b>	<b>24,1</b>	<b>46,1</b>

Cuadro 2.29.- Propiedades mecánicas de las discontinuidades en la Sierra de Burete.

FAMILIA	ESTACIÓN GEOMECÁNICA	RUGOSIDAD			RESISTENCIA DE LAS PAREDES			CRITERIOS DE ROTURA ( $\phi_b=38^\circ$ )							
		JRC <sub>10</sub>	Rugosidad a escala de bloque ( L (m) / A (cm))	JRC <sub>n</sub>	Rebote del martillo de Schmidt ( r )	JCS <sub>0</sub> (MPa)	JCS <sub>n</sub> (MPa)	$\phi_r$ ( $^\circ$ )	$\phi$ (<25m)	Criterio de Barton-Choubey					
										30m		40 m		50 m	
										c (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ ( $^\circ$ )	c (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ ( $^\circ$ )	c (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ ( $^\circ$ )
So	EG-16	9	1/2	9	27	35,0	27,5	27,5	36,5	9,1	37,4	11,8	36,3	14,3	35,4
	EG-113A	9	1/2	9	41	55,0	37,6	32,4	41,4	11,3	43,5	14,4	42,4	17,5	41,5
	EG-112	10	1/2	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	EG-113B	9	1/2,5	10	28	27,0	22,4	27,8	37,8	10,5	37,9	13,4	36,7	16,3	35,7
	EG-25	14	1/3	12	31	29,0	23,7	28,9	40,9	14,6	41,1	18,4	39,7	22,1	38,5
	EG-21	9	1/2	9	57	115,0	52,0	38,0	47,0	15,2	50,3	19,2	49,1	23,1	48,3
	<b>VALOR MEDIO</b>	<b>10</b>	-	<b>10</b>	<b>37</b>	<b>52,2</b>	<b>32,6</b>	<b>30,9</b>	<b>40,7</b>	<b>12,1</b>	<b>42,0</b>	<b>15,5</b>	<b>40,8</b>	<b>18,7</b>	<b>39,9</b>
J1	EG-16	13	1/3	12	33	42,0	31,4	29,6	41,6	15,9	43,2	20,0	41,8	23,9	40,6
	EG-112	9	1/2	9	29	35,0	27,5	28,2	37,2	9,3	38,1	12,0	37,0	14,6	36,1
	EG-113B	9	1/2,5	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	EG-25	10	1/2,5	10	37	48,0	34,5	31,0	41,0	12,5	42,9	15,9	41,6	19,2	40,7
	EG-21	7	1/2	9	55	90,5	48,4	37,3	46,3	14,5	49,3	18,4	48,2	22,1	47,3
	<b>VALOR MEDIO</b>	<b>10</b>	-	<b>10</b>	<b>39</b>	<b>53,9</b>	<b>35,4</b>	<b>31,5</b>	<b>41,5</b>	<b>13,1</b>	<b>43,4</b>	<b>16,6</b>	<b>42,1</b>	<b>20,0</b>	<b>41,2</b>
J2	EG-16	13	1/4	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	EG-113A	15	1/4	14	34	46,0	33,5	29,9	43,9	22,0	46,0	27,1	44,3	32,0	43,0
	EG-112	11	1/4	14	30	41,0	30,9	28,5	42,5	20,2	44,2	25,0	42,5	29,7	41,2
	EG-21	7	1/1	5	46	60,0	39,6	34,1	39,1	5,3	40,5	6,9	39,9	8,5	39,4
	<b>VALOR MEDIO</b>	<b>12</b>	-	<b>12</b>	<b>37</b>	<b>49,0</b>	<b>34,7</b>	<b>30,9</b>	<b>41,9</b>	<b>15,8</b>	<b>43,6</b>	<b>19,7</b>	<b>42,2</b>	<b>23,4</b>	<b>41,2</b>
J3	EG-16	13	1/4	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	EG-113A	7	1/1,5	7	41	55,0	37,6	32,4	39,4	7,8	41,1	10,1	40,2	12,3	39,5
	EG-25	9	1/2	9	34	52,0	36,3	29,9	38,9	10,3	40,9	13,2	39,8	16,0	38,9
	EG-21	7	1/1	5	54	90,5	48,4	36,9	41,9	5,9	43,7	7,7	43,1	9,4	42,6
	<b>VALOR MEDIO</b>	<b>9</b>	-	<b>9</b>	<b>43</b>	<b>65,8</b>	<b>40,8</b>	<b>33,1</b>	<b>40,1</b>	<b>8,0</b>	<b>41,9</b>	<b>10,3</b>	<b>41,0</b>	<b>12,6</b>	<b>40,4</b>

Cuadro 2.30.- Propiedades mecánicas de las discontinuidades en la Sierra de Quipar.

FAMILIA	ESTACIÓN GEO MECÁNICA	RUGOSIDAD			RESISTENCIA DE LAS PAREDES			CRITERIOS DE ROTURA ( $\phi_0=38^\circ$ )							
		JRC <sub>10</sub>	Rugosidad a escala de bloque (L (m) / A (cm))	JRC <sub>a</sub>	Rebote del martillo de Schmidt (r)	JCS <sub>0</sub> (MPa)	JCS <sub>a</sub> (MPa)	$\phi_r$ (°)	$\phi$ (<25m)	Criterio de Barton-Choubey					
										30m		40 m		50 m	
										c (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	c (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	c (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
So	EG-111	9	1/1	5	50	84,0	47,0	34,4	39,4	5,4	41,1	7,0	40,5	8,7	40,0
	EG-16a	7	1/1,5	7	57	110,0	51,5	36,7	43,7	9,5	46,3	12,2	45,4	14,8	44,8
	EG-16b	7	1/0,5	3	44	61,0	40,0	32,4	35,4	2,7	36,3	3,6	35,9	4,4	35,6
	EG-106	7	1/0,5	3	31	36,0	28,1	28,2	31,2	2,4	31,6	3,2	31,2	4,0	30,9
	EG-106B	13	1/2	9	33	35,0	27,5	28,8	37,8	9,5	38,7	12,3	37,6	14,9	36,8
	EG-106	15	1/3	12	38	48,0	34,5	30,5	42,5	16,8	44,6	21,1	43,1	25,1	42,0
	EG-108a	9	1/1	5	38	50,0	35,4	30,5	35,5	4,7	36,6	6,1	36,0	7,6	35,5
	EG-108b	9	1/3	12	51	84,0	47,0	34,7	46,7	22,1	50,3	27,4	48,8	32,3	47,7
	EG-105a	9	1/1	5	40	55,0	37,6	31,1	36,11	4,8	37,4	6,3	36,8	7,7	36,3
	EG-105b	11	1/1	5	37	45,0	33,0	30,1	35,13	4,6	36,1	6,1	35,5	7,5	35,0
EG-107	7	1/1,5	7	54	83,0	46,8	35,7	42,70	9,0	45,0	11,6	44,2	14,1	43,5	
	<b>VALOR MEDIO</b>	<b>9</b>	-	<b>7</b>	<b>43</b>	<b>62,8</b>	<b>38,9</b>	<b>32,1</b>	<b>38,7</b>	<b>8,3</b>	<b>40,4</b>	<b>10,6</b>	<b>39,5</b>	<b>12,8</b>	<b>38,9</b>
J1	EG-111	9	1/2	9	61	130,0	53,0	38,0	47,0	15,3	50,3	19,3	49,2	23,2	48,4
	EG-16a	7	1/1	5	51	70,0	43,2	34,7	39,7	5,4	41,3	7,1	40,6	8,7	40,2
	EG-16b	11	1/5	14	50	75,0	44,7	34,4	48,4	30,4	51,9	36,7	50,2	42,7	49,0
	EG-106	11	1/3	12	52	81,0	46,3	35,0	47,0	22,4	50,5	27,7	49,1	32,7	47,9
	EG-106B	9	1/1	5	33	35,0	27,5	28,8	33,8	4,4	34,4	5,8	33,8	7,2	33,3
	EG-108a	13	1/5	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	EG-12	11	1/2	9	34	41,0	30,9	29,1	38,1	9,8	39,5	12,6	38,4	15,3	37,5
	EG-13	7	1/0,2	-	54	90,0	48,3	35,7	35,7	0,0	35,7	0,0	35,7	0,0	35,7
	EG-105a	11	1/3	12	46	62,0	40,4	33,1	45,1	19,6	47,9	24,4	46,5	29,0	45,3
	EG-105b	13	1/3	12	48	69,0	42,8	33,7	45,7	20,6	48,9	25,5	47,4	30,2	46,3
	<b>VALOR MEDIO</b>	<b>10</b>	-	<b>10</b>	<b>48</b>	<b>72,6</b>	<b>41,9</b>	<b>33,6</b>	<b>42,3</b>	<b>14,2</b>	<b>44,5</b>	<b>17,7</b>	<b>43,4</b>	<b>21,0</b>	<b>42,6</b>
J2	EG-111	11	1/3	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	EG-106B	9	1/0,5	3	33	35,0	27,5	28,8	31,8	2,5	32,2	3,2	31,8	4,0	31,5
	EG-108a	9	1/2	9	51	70,5	43,3	34,7	43,7	12,7	46,3	16,1	45,2	19,5	44,4
	EG-12	9	1/2	9	34	36,0	28,1	29,1	38,1	9,7	39,1	12,4	38,0	15,1	37,2
	EG-13	9	1/1	5	57	91,5	48,6	36,7	41,7	5,8	43,5	7,6	42,9	9,4	42,4
	<b>VALOR MEDIO</b>	<b>9</b>	-	<b>8</b>	<b>44</b>	<b>58,3</b>	<b>36,9</b>	<b>32,3</b>	<b>38,8</b>	<b>7,7</b>	<b>40,3</b>	<b>9,9</b>	<b>39,5</b>	<b>12,0</b>	<b>38,9</b>
J3	EG-111	11	1/4	14	45	60,0	39,6	32,8	46,8	26,7	49,7	32,5	48,0	38,0	46,7
	EG-106B	9	1/1	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	EG-106	9	1/1	5	25	25,0	21,0	26,2	31,2	4,1	31,2	5,4	30,6	6,6	30,1
	EG-108a	11	1/2	9	48	69,0	42,8	33,7	42,7	12,2	45,3	15,5	44,2	18,7	43,3
	EG-108b	9	1/2	9	51	72,0	43,8	34,7	43,7	12,7	46,4	16,2	45,3	19,5	44,4
	EG-105b	9	1/0,5	3	42	54,0	37,2	31,8	34,8	2,7	35,5	3,5	35,2	4,4	34,9
	EG-107	9	1/1,5	7	39	46,0	33,5	30,8	37,8	7,3	39,1	9,4	38,3	11,6	37,6
	<b>VALOR MEDIO</b>	<b>10</b>	-	<b>7</b>	<b>42</b>	<b>54,3</b>	<b>36,3</b>	<b>31,7</b>	<b>39,5</b>	<b>10,9</b>	<b>41,2</b>	<b>13,7</b>	<b>40,2</b>	<b>16,5</b>	<b>39,5</b>

Cuadro 2.31.- Propiedades mecánicas de las discontinuidades en la Sierra de Almírez.

FAMILIA	ESTACIÓN GEOMECÁNICA	RUGOSIDAD			RESISTENCIA DE LAS PAREDES			CRITERIOS DE ROTURA ( $\phi_0=38^\circ$ )							
		JRC <sub>10</sub>	Rugosidad a escala de bloque (L (m) / A (cm))	JRC <sub>n</sub>	Rebote del martillo de Schmidt (r)	JCS <sub>0</sub> (MPa)	JCS <sub>n</sub> (MPa)	$\phi_c$ (°)	$\phi$ (<25m)	Criterio de Barton-Choubey					
										30m		40 m		50 m	
										c (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	c (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	c (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
So	EG-37A	8	1/1,5	7	53	112,0	51,7	38,0	45,0	10,0	47,6	12,8	46,8	15,6	46,1
	EG-39	13	1/3	12	36	55,0	37,6	31,6	43,6	18,0	46,1	22,5	44,6	26,8	43,5
	EG-36A	12	1/8	16	27	38,0	29,2	28,2	44,2	25,9	45,4	31,5	43,5	36,8	42,0
	EG-36B	9	1/3	12	34	47,0	34,0	30,8	42,8	17,0	44,9	21,3	43,4	25,4	42,3
	EG-42	9	1/1,5	7	32	44,0	32,5	30,1	37,1	7,1	38,3	9,2	37,5	11,3	36,8
	EG-116	9	1/2	9	41	71,0	43,5	33,5	42,5	12,1	45,1	15,4	44,0	18,6	43,1
	EG-44	7	1/1	5	33	38,0	29,2	30,5	35,5	4,6	36,2	6,1	35,5	7,5	35,1
	EG-45	9	1/2,5	10	30	41,0	30,9	29,3	39,3	11,6	40,8	14,8	39,5	17,9	38,6
	EG-41	9	1/1,5	7	20	28,0	23,1	25,5	32,5	6,1	32,8	7,9	31,9	9,7	31,3
	EG-37Ba	14	1/8	16	39	68,0	42,5	32,7	48,7	38,1	52,0	45,1	50,2	51,7	48,7
	EG-38	9	1/1,5	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	EG-117	7	1/1,5	7	48	84,0	47,0	36,1	43,1	9,1	45,5	11,8	44,6	14,3	43,9
	EG-46	7	1/2	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<b>VALOR MEDIO</b>	<b>9</b>	<b>-</b>	<b>10</b>	<b>36</b>	<b>56,9</b>	<b>36,5</b>	<b>31,5</b>	<b>41,3</b>	<b>14,5</b>	<b>43,1</b>	<b>18,0</b>	<b>42,0</b>	<b>21,4</b>	<b>41,0</b>
J1	EG-36A	11	1/3	12	30	36,0	28,1	29,3	41,3	15,4	42,4	19,3	41,0	23,2	39,8
	EG-42	9	1/2	9	36	49,0	34,9	31,6	40,6	10,8	42,4	13,9	41,3	16,8	40,4
	EG-116	7	1/1,5	7	33	40,5	30,6	30,5	37,5	7,1	38,5	9,3	37,7	11,4	37,0
	EG-44	7	1/1,5	7	46	62,0	40,4	35,4	42,4	8,7	44,3	11,2	43,4	13,7	42,7
	EG-45	10	1/3	12	25	24,0	20,3	27,4	39,4	13,5	38,9	17,1	37,4	20,6	36,3
	EG-37Ba	9	1/2	9	38	65,0	41,5	32,3	41,3	11,4	43,8	14,6	42,7	17,7	41,8
	EG-37Bb	13	1/3	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	EG-38	7	1/1	5	37	55,0	37,6	32,0	37,0	4,9	38,2	6,4	37,6	7,9	37,1
	EG-46	10	1/3	12	42	64,0	41,1	33,8	45,8	20,4	48,8	25,4	47,3	30,1	46,2
	<b>VALOR MEDIO</b>	<b>9</b>	<b>-</b>	<b>9</b>	<b>36</b>	<b>49,4</b>	<b>34,3</b>	<b>31,5</b>	<b>40,7</b>	<b>11,5</b>	<b>42,2</b>	<b>14,7</b>	<b>41,0</b>	<b>17,7</b>	<b>40,2</b>
J2	EG-37A	9	1/1,5	7	36	50,0	35,4	31,6	38,6	7,5	40,1	9,7	39,2	11,9	38,6
	EG-39	10	1/3	12	22	23,0	19,6	26,3	38,3	12,9	37,6	16,4	36,2	19,7	35,0
	EG-36B	7	1/1,5	7	26	29,5	24,1	27,8	34,8	6,5	35,2	8,4	34,3	10,3	33,6
	EG-44	9	1/2	9	30	42,0	31,4	29,3	38,3	9,9	39,7	12,7	38,6	15,4	37,8
	EG-37Bb	12	1/3	12	33	33,0	26,3	30,5	42,5	15,8	43,2	19,9	41,7	23,8	40,6
	EG-46	13	1/3	12	21	19,0	16,7	25,9	37,9	12,4	36,4	15,8	35,0	19,1	33,8
	<b>VALOR MEDIO</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>10</b>	<b>28</b>	<b>32,8</b>	<b>25,6</b>	<b>28,6</b>	<b>38,4</b>	<b>10,8</b>	<b>38,7</b>	<b>13,8</b>	<b>37,5</b>	<b>16,7</b>	<b>36,6</b>
J3	EG-40	10	1/2	9	45	73,0	44,1	35,0	44,0	12,9	46,6	16,4	45,5	19,7	44,7
	EG-36A	11	1/1,5	7	17	21,0	18,2	24,4	31,4	5,8	31,0	7,6	30,1	9,3	29,4
	EG-36B	5	1/1	5	37	48,0	34,5	32,0	37,0	4,9	38,0	6,4	37,4	7,9	36,9
	EG-37Bb	15	1/4	14	34	49,5	35,2	30,8	44,8	23,3	47,1	28,6	45,5	33,7	44,2
	EG-117	6	1/1,5	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>VALOR MEDIO</b>	<b>9</b>	<b>-</b>	<b>8</b>	<b>33</b>	<b>47,9</b>	<b>33,0</b>	<b>30,5</b>	<b>39,3</b>	<b>11,7</b>	<b>40,7</b>	<b>14,7</b>	<b>39,6</b>	<b>17,7</b>	<b>38,8</b>	

### **3.- ANÁLISIS DE ESTABILIDAD**

El análisis de estabilidad realizado para las explotaciones de caliza y mármol en la provincia de Murcia se divide en dos estudios diferenciados. El primero de ellos analiza la estabilidad de los taludes de explotación utilizando dos métodos de análisis:

- Análisis previo de estabilidad frente a la rotura estructural de los taludes utilizando el programa DIPS.
- Análisis tensodeformacional realizado por el Método de las Diferencias Finitas, mediante el programa FLAC.

En el segundo estudio se ha analizado la estabilidad de las escombreras frente a la rotura circular utilizando el programa en 2D SLIDE, de la Universidad de Toronto, contrastándose los resultados nuevamente mediante el programa de Diferencias Finitas FLAC.

En ambos estudios se han presentado los resultados mediante salidas gráficas que permitan evaluar la estabilidad de las explotaciones existentes o proyectadas de forma directa, y se han considerado condiciones estáticas y dinámicas.

#### **3.1.- ESTABILIDAD DE LOS TALUDES DE EXPLOTACIÓN**

Los taludes de las explotaciones afectan fundamentalmente a materiales rocosos cuyas propiedades geotécnicas han sido determinadas en el Capítulo 2 del presente estudio.

##### **3.1.1.- Análisis previo de estabilidad. Rotura estructural de taludes**

En el capítulo se analiza la posibilidad de producirse roturas estructurales de los taludes en las 4 zonas estudiadas.

###### **a) Metodología**

El análisis de rotura estructural de los taludes se refiere a la posibilidad de que la estructura de la fracturación independice volúmenes de roca inestables.

En los taludes en roca, con distinto grado de alteración, cabe esperar que se produzcan roturas a favor de las juntas primitivas del macizo rocoso (mecanismos de rotura por vuelco o “toppling”, deslizamiento plano y deslizamiento de cuñas).

El análisis cinemático de posibilidad de movimiento de las masas rocosas independizadas por las juntas se ha realizado utilizando la proyección estereográfica, con ayuda del programa DIPS.

La configuración de los principales tipos de bloques inestables en taludes han sido definidos por Hoek y Bray (1981) según se presenta en la **Figura 3.1**. Los tipos más comunes de rotura según dicha figura son:

1. Deslizamiento plano.
2. Deslizamiento en cuña.
3. Rotura por vuelco o "toppling".

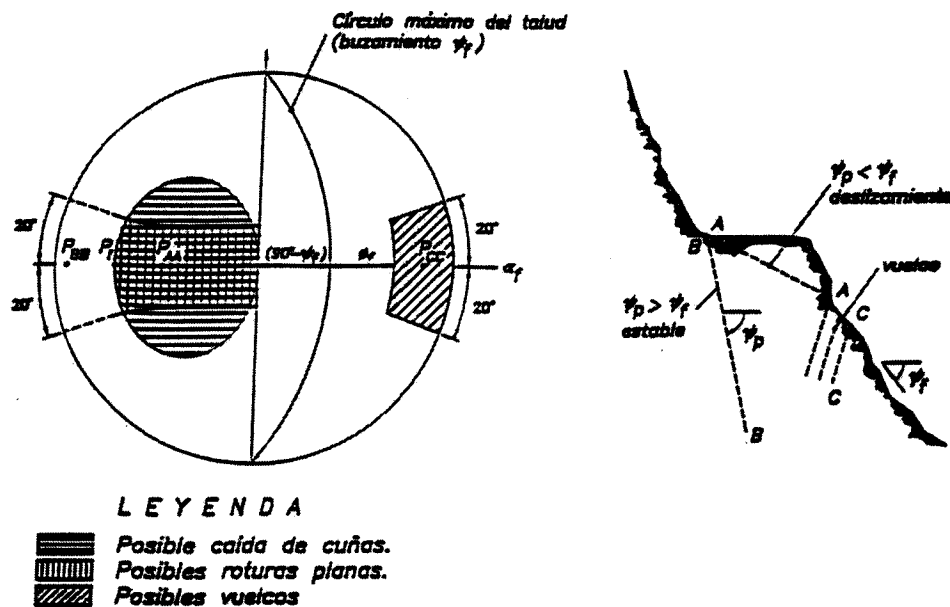


Figura 3.1.- Principales mecanismos de rotura por fallo estructural.

El análisis del deslizamiento plano se ha hecho utilizando el equilibrio límite basado en la cohesión y el ángulo de fricción del plano de deslizamiento (Hoek y Bray, 1981). En caso de ser necesario refuerzo, normalmente mediante bulones pasivos, se dimensionaría a cortante.

Desde el punto de vista práctico, las condiciones que permiten evaluar el riesgo de fallo para cada tipo de rotura son los siguientes:

#### a.1) Rotura planar

Este mecanismo de rotura se refiere a bloques de roca que se independizan del macizo favorecidos por el deslizamiento según una cara de fractura.

Desde el punto de vista del diseño estructural, las condiciones geométricas que deben ser satisfechas para que este mecanismo de fallo se desarrolle se resumen a continuación:

- La dirección del plano deslizante debe resultar paralela o dentro de un rango de  $\pm 20^\circ$  respecto a la del talud.
- El plano de rotura debe cortar -“daylight”, según la literatura anglosajona- la cara del talud. Esto es, el buzamiento de la discontinuidad debe ser inferior al del talud. Esto se resume en la siguiente condición:  $\psi_f > \psi_p$ .
- El buzamiento del plano de rotura debe ser superior al ángulo de fricción a favor de la discontinuidad. Esto es:  $\psi_p > \phi$ .
- Existencia de superficies laterales que no opongan resistencia al deslizamiento.

La **Figura 3.2** recoge, de modo resumido, lo anteriormente expuesto y en la **Fotografía 3.1** se observan deslizamientos planos a favor de la estratificación en una cantera de la zona de estudio.

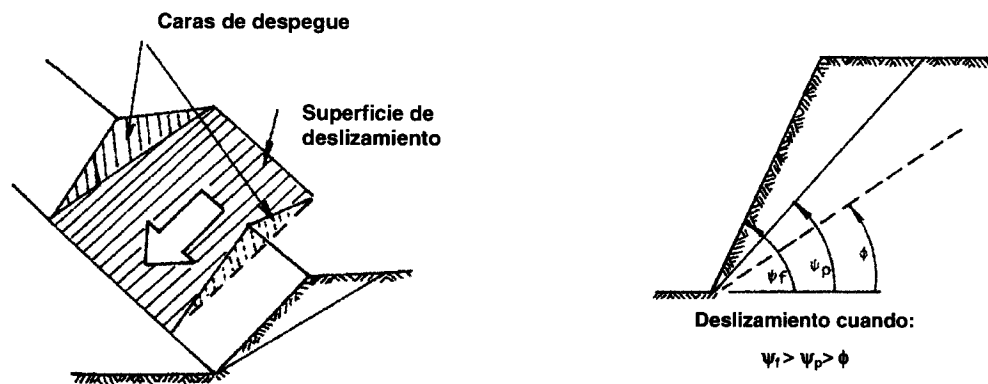


Figura 3.2.- Condiciones para rotura planar (Hoek & Bray 1981).

El programa DIPS, desarrollado por la universidad de Toronto, permite analizar este problema mediante representación estereográfica. Para ello, Geocontrol S.A. emplea dicho programa considerando una proyección sobre el hemisferio Sur y una malla equiangular sobre la que se representan los polos correspondientes a los diferentes planos de discontinuidad medidos en el campo mediante el levantamiento de estaciones geomecánicas en el entorno del talud proyectado.





Fotografía 3.1.- Deslizamientos planos a favor de la estratificación en la zona de estudio.

Las anteriores condiciones geométricas se materializan, al emplear este programa, del siguiente modo:

- Se representa un cono horizontal de eje paralelo a la dirección del plano del talud y de  $70^\circ$  de ángulo. Esto es, Trend =  $90^\circ + \text{dirección de buzamiento del talud}$ ; Plunge =  $0^\circ$  y Angle =  $70^\circ$ . En realidad se observa en la malla como dos "aristas" que encierran un intervalo de  $+ 20^\circ$  según la dirección de buzamiento del talud donde se localizarán los polos de aquellos planos de dirección subparalela.
- Se representa el daylight envelope del plano correspondiente al talud. Esta envolvente contendrá los polos de aquellas discontinuidades cuyo buzamiento sea inferior al talud y, por tanto, corten la cara el mismo.
- Finalmente se ha de tomar un cono vertical de ángulo igual al ángulo de fricción de las juntas con objeto de delimitar aquellas discontinuidades cuyo buzamiento supera este valor y, por tanto, susceptibles de producir deslizamientos. Esto es, Trend =  $0$ ; Plunge =  $90^\circ$ ; Angle =  $\phi$ .

La **Figura 3.3** materializa este proceso, delimitándose el área que encierra los polos de aquellas diaclasas a favor de las cuales puede producirse rotura plana.

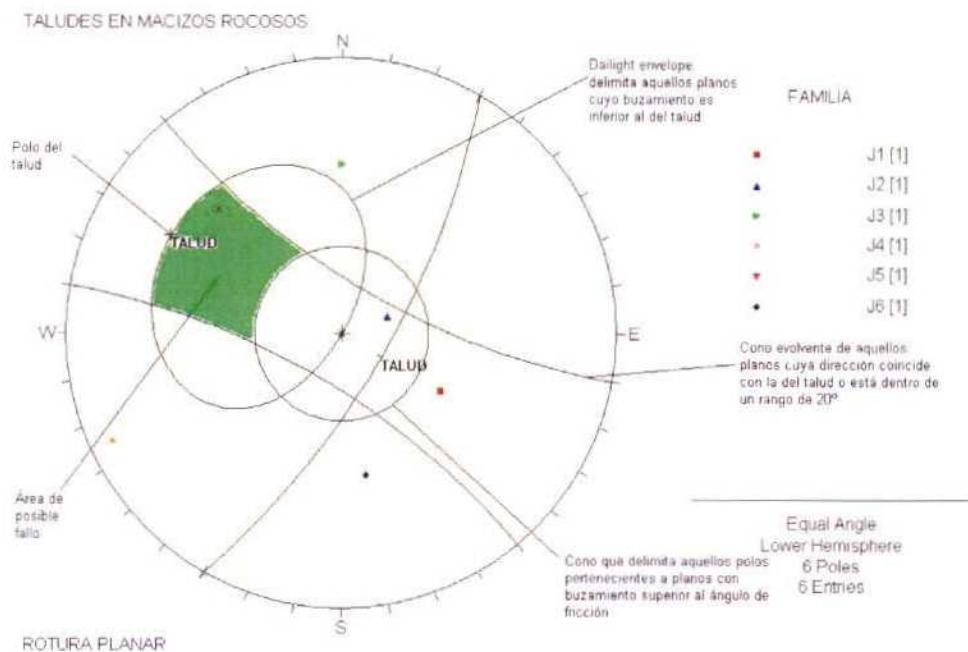


Figura 3.3.- Cálculo mediante el programa DIPS para un análisis de rotura plana.

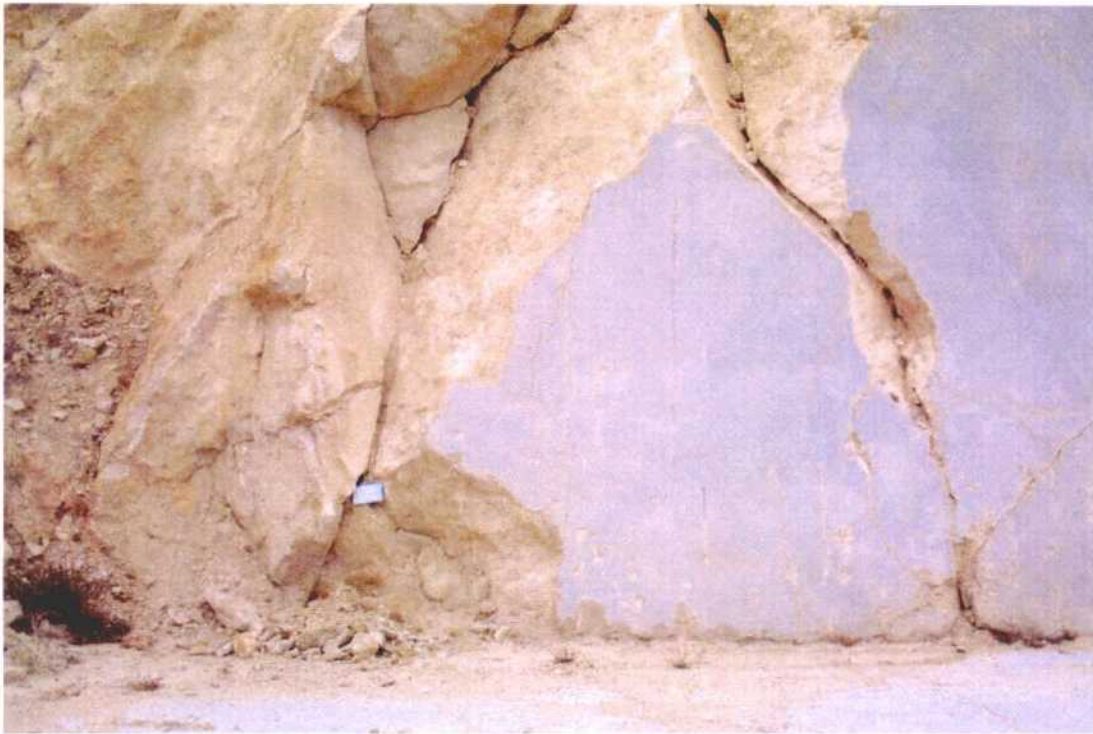
### a.2) Formación de cuñas/bloques.

Las condiciones que deben cumplirse para que se produzca este fallo estructural se materializan de este modo:  $\psi_{fi} > \psi_i > \phi$ ; siendo  $\psi_{fi}$  la inclinación del talud según el plano que contiene a la línea de intersección de los planos de la red de diaclasado que intersectan.  $\psi_i$  es el ángulo de buzamiento de dicha línea de intersección y, finalmente,  $\phi$  representa al ángulo de fricción a favor de los planos de discontinuidad. Esto es, la línea de intersección de los dos planos de discontinuidad debe cortar al talud, y su buzamiento ha de superar el ángulo de fricción. En este sentido indicar que se adopta el valor de  $\phi$  correspondiente al plano más desfavorable y, en caso de formarse cuñas, se procede a un estudio más detallado mediante otros análisis que permiten caracterizar las diaclasas de modo independiente. En la **Fotografía 3.2** se observa una cuña inestable en una cantera de la Sierra de la Puerta.

Esto mismo de modo sintético se muestra en las **Figuras 3.4 y 3.5** extraídas del libro Rock Slope Engineering publicado en 1981 por Hoek y Bray.

Este análisis es posible realizarlo mediante el programa DIPS, ya citado para el estudio de la rotura planar. Los pasos a seguir son los siguientes:

- Se representan los círculos máximos correspondientes a los diferentes planos que definen la red de diaclasado así como el del talud estudiado.
- A continuación ha de reflejarse en la malla un cono de eje vertical y ángulo igual a  $90^\circ - \phi$ . Esto es, Trend =  $0^\circ$ , Plunge =  $90^\circ$  y Angle =  $90^\circ - \phi$ .



Fotografía 3.2.- Cuñas inestables en la Sierra de la Puerta.

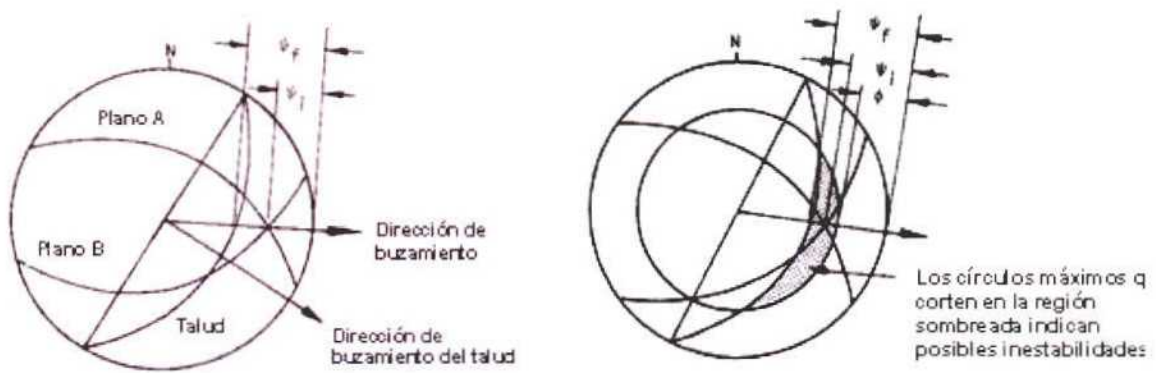


Figura 3.4.- Condiciones para la formación de bloques. (Hoek y Bray 1981).

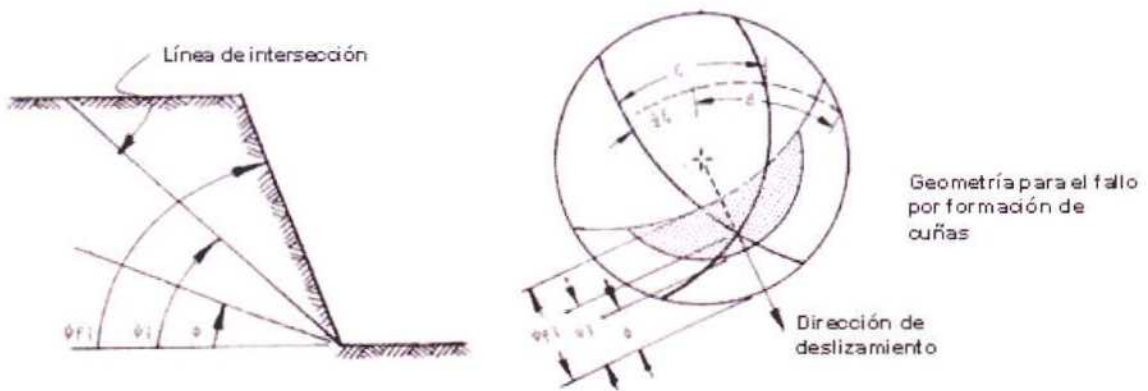


Figura 3.5.- Condiciones para la formación de bloques. (Hoek y Bray 1981).

Todos los puntos de intersección de planos de discontinuidad incluidos dentro del área delimitada entre el círculo máximo del talud y el citado cono, corresponden a líneas de intersección a favor de las cuales es posible el deslizamiento del bloque conformado por la superficie y los planos de discontinuidad. La **Figura 3.6** recoge de modo visual lo anteriormente expuesto.

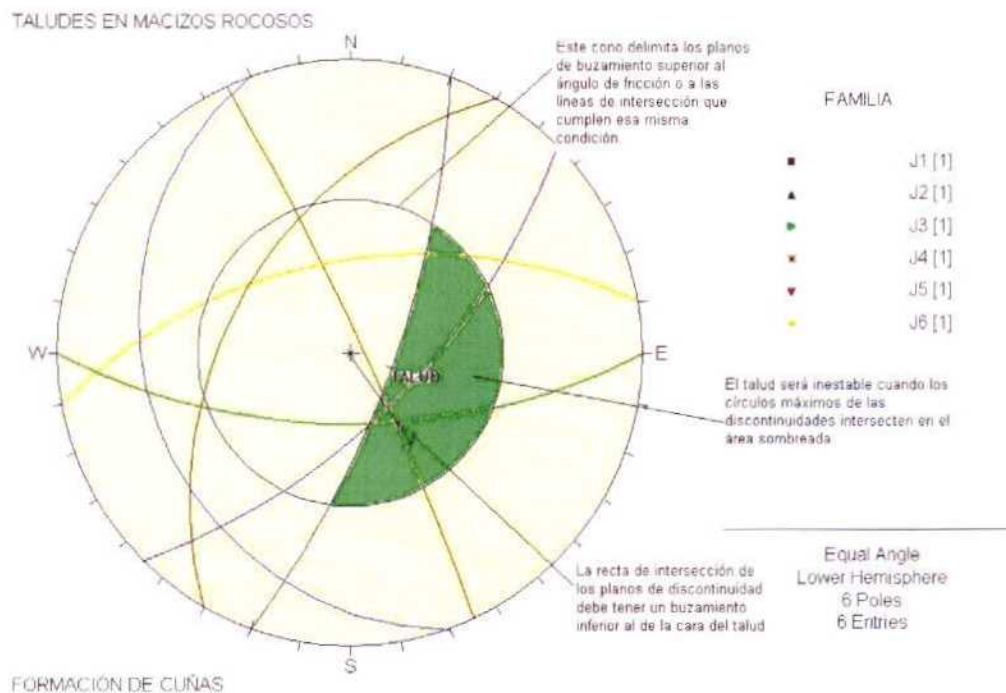


Figura 3.6.- Análisis de cuñas mediante el programa DIPS.

### a.3) Rotura por vuelco (Toppling)

Este mecanismo de rotura puede verse favorecido bien por un fenómeno de flexión bien por la formación de bloques.

El vuelco por flexión es propio de macizos rocosos que presentan una estratificación apretada, como es el caso de pizarras y esquistos, buzando hacia la cara del talud y casi subverticales.

Por su parte, el vuelco de bloques se propicia por la existencia de una familia de discontinuidades que presentan las condiciones de buzamiento antes mencionadas y que coexisten con otra familia de dirección aproximadamente perpendicular que facilita la generación de bloques junto con la presencia de un tercer plano subhorizontal. Dada la estructura de los macizos carbonatados es objeto de estudio, este es el único mecanismo de vuelco posible.

La **Figura 3.7** muestra la configuración ideal de la estructura del macizo para que se produzca un fallo por vuelco.

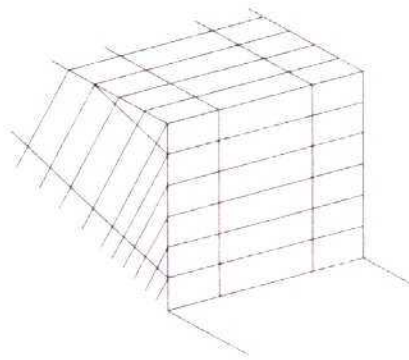


Figura 5.6.1.1.j.- Configuración geométrica ideal para un fallo por vuelco.

A efectos de realizar un diseño del talud con arreglo a criterios estructurales, las condiciones geométricas y mecánicas que deben ser satisfechas para que se desarrolle este mecanismo de rotura son las siguientes:

- Deberá alcanzarse un estado de equilibrio límite a lo largo del plano de discontinuidad. Esto es, el ángulo formado entre la tensión normal activa según la cara del talud y la normal al plano de discontinuidad ( $\gamma$ ) deberá igualarse al ángulo de fricción a favor la discontinuidad. Esto se materializa cuando:

$$\phi = \psi_f - (90 - \psi_p) = \psi_f - \alpha$$

Siendo  $\alpha$  el buzamiento de polo de la familia de discontinuidades que buza subvertical hacia el talud.

- La dirección del polo de la familia de discontinuidades a favor de la cual se producirá el vuelco, debe resultar paralela o dentro de un rango de  $\pm 20^\circ$  respecto a la del talud.

Para efectuar este análisis mediante el programa DIPS han de seguirse los siguientes pasos:

- Se representa un cono horizontal de eje paralelo a la dirección del plano del talud y de  $70^\circ$  de ángulo. Esto es, Trend =  $90^\circ +$  dirección de buzamiento del talud; Plunge =  $0^\circ$  y Angle =  $70^\circ$ . En realidad se observa en la malla como dos "aristas" que encierran un intervalo de  $\pm 20^\circ$  según la dirección de buzamiento del talud donde se localizarán los polos de aquellos planos de dirección subparalela.
- A continuación se refleja un plano de buzamiento igual a  $\psi_f - \phi$  y que limitará aquellos polos que representan a familias cuyo buzamiento hace que se supere el equilibrio límite.

Todos los polos con buzamiento inferior al delimitado por el anterior plano de “equilibrio límite” y cuya dirección quede encerrada dentro del intervalo marcado por el cono representado corresponderán a planos susceptibles de propiciar una rotura por vuelco. La **Figura 3.8** muestra esto de modo visual.

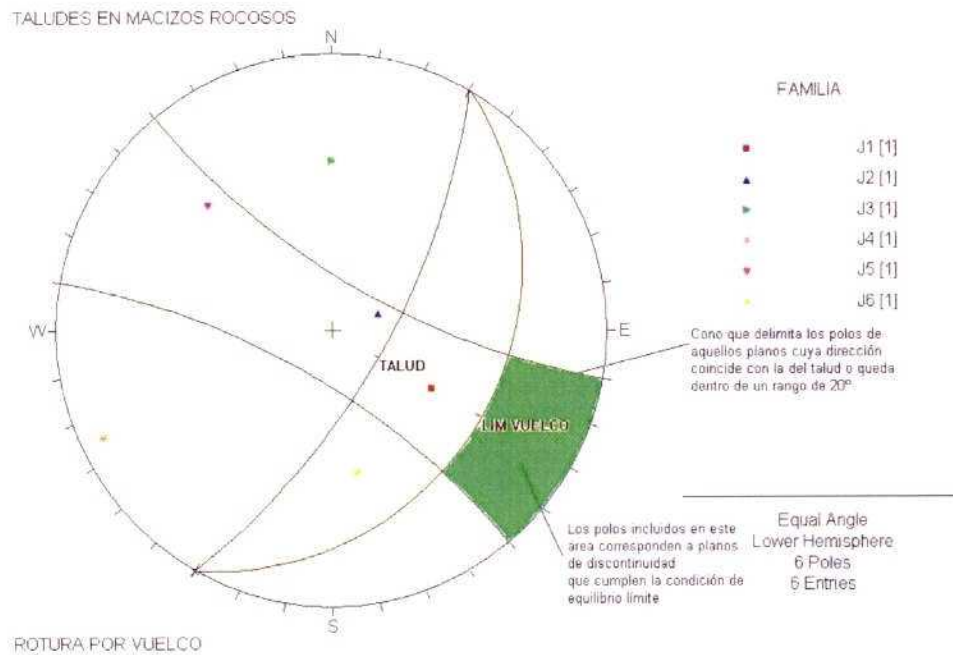


Figura 3.8.- Análisis de rotura por vuelco mediante el programa DIPS.

Cuando la litología en estudio corresponda a un macizo rocoso de estratificación muy apretada o de una marcada esquistosidad el mecanismo que se desarrollará será el de vuelco por flexión.

Para estructuras con anisotropía menos marcada, la configuración necesaria para que se desarrollen vuelcos requerirá de otras 2 familias de juntas que permitan aislar un bloque susceptible de sufrir vuelco.

### b) Resultados obtenidos

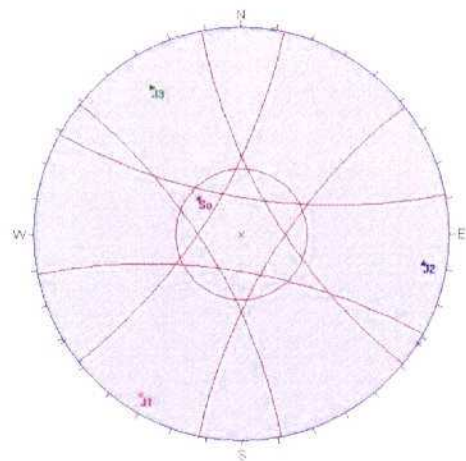
La metodología expuesta en el apartado anterior ha sido aplicada a cada una de las zonas estudiadas, partiendo de los patrones de fracturación y propiedades de las juntas definidas anteriormente que se resumen en el **Cuadro 3.1**. Los cálculos se han efectuado despreciando la cohesión y adoptando un ángulo de fricción residual ( $\phi_r$ ) representativo de las familias involucradas, considerando además taludes verticales.

Cuadro 3.1.- Parámetros de cálculo utilizados frente a la rotura estructural de taludes.

ZONA	FAMILIA	ORIENTACIÓN		COHESIÓN (MPa)	$\phi_r$
		BUZ.	D. BUZ.		
SIERRA DE LA PUERTA	S0	30	130	0	35°
	J1	85	32		
	J2	83	279		
	J3	79	149		
SIERRA DE BURETE	S0	30	334	0	31°
	J1	60	105		
	J2	64	228		
	J3	79	46		
SIERRA DE QUIPAR	S0	26	312	0	32°
	J1	80	126		
	J2	59	27		
	J3	82	81		
SIERRA DE ALMÍREZ	S0	10	146	0	30°
	J1	80	70		
	J2	61	107		
	J3	71	232		

En la **Figura 3.9** se muestra el análisis de estabilidad frente a la rotura estructural realizado para la Sierra de la Puerta, del que se desprende la siguiente:

- Deslizamiento plano: Es posible para orientaciones de la cara libre del talud (plano perpendicular al talud) subparalelos a las direcciones de buzamiento de las familias J1, J2 y J3, además de a favor del buzamiento de la serie cuando este supere los 35°.
- Formación de cuñas: Las cuñas se producen a favor de la intersección de las familias J1 y J3, hacia los 330°. De las familias J1 y J3, hacia los 100°, y a favor de las familias J2 y J3, hacia los 210°.
- Rotura por vuelco: Es posible únicamente a favor de la familia subvertical J2, que queda intersectada por la estratificación S0 subhorizontal.

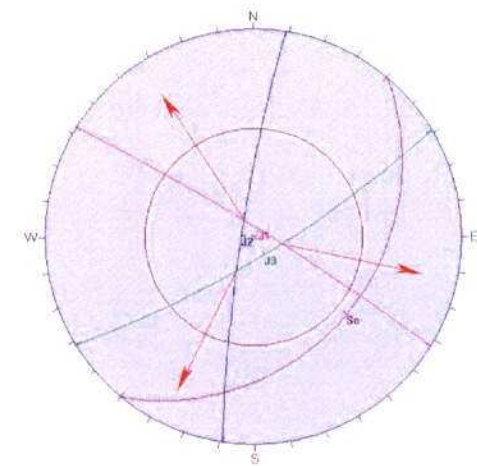


FAMILIA

- J1 [1]
- ▲ J2 [1]
- J3 [1]
- So [1]

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
4 Poles  
4 Entries

Deslizamiento plano

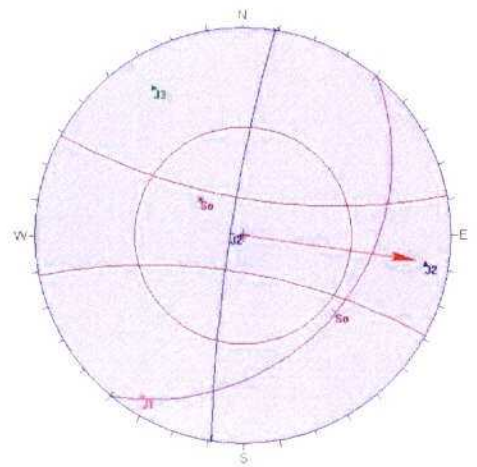


Orientations

ID	Dip / Direction
1 m	030 / 130
1 w	030 / 130
2 m	085 / 32
2 w	085 / 32
3 m	083 / 279
3 w	083 / 279
4 m	079 / 149
4 w	079 / 149

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
4 Poles  
4 Entries

Formación de cuñas



FAMILIA

- J1 [1]
- ▲ J2 [1]
- J3 [1]
- So [1]

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
4 Poles  
4 Entries

Rotura por vuelco

Figura 3.9.- Análisis de estabilidad frente a la rotura estructural realizada para la Sierra de la Puerta.



En la **Figura 3.10** se presenta el análisis de estabilidad realizado frente a la rotura estructural de taludes para el caso de la Sierra de Burete, que se resume a continuación:

- Deslizamiento plano: Pueden generarse a favor de las familias de juntas J1, J2 y J3.
- Formación de cuñas: Las cuñas se producen a favor de las familias J1, J3 y J1, J2 que generan cuñas según las direcciones 120° y 165° respectivamente.
- Rotura por vuelco: Puede generarse únicamente a favor de la familia J1, que queda intersectada por la estratificación (S0) de carácter subhorizontal.

En la **Figura 3.11** se presenta el análisis de estabilidad realizado frente a la rotura estructural de taludes en la Sierra de Quipar, del que se desprende lo siguiente:

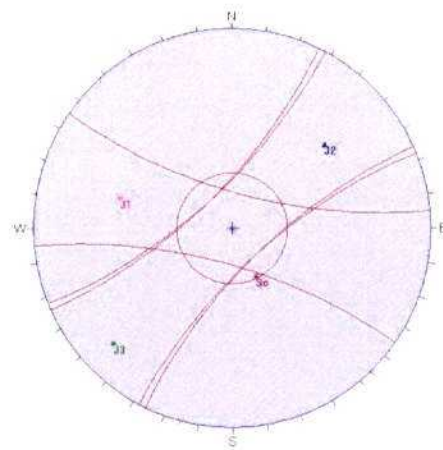
- Deslizamiento plano: Este mecanismo de rotura puede producirse a favor de las familias J1, J2 y J3.
- Formación de cuñas: Pueden generarse a favor de la combinación de las familias J2, J3 según los 360°; J1, J2 según los 50° y J1, J3 según los 125°.
- Rotura por vuelco: Es susceptible de producirse a favor de las familias subverticales J1 y J3, que quedan intersectadas por la estratificación (S0) de carácter subhorizontal.

En la **Figura 3.12** se presenta el análisis de estabilidad frente a la rotura estructural realizado para la Sierra de Almírez, del que puede comentarse lo siguiente:

- Deslizamiento plano: Es posible para orientaciones de la cara libre del talud subparalelas a las direcciones de buzamiento de las familias J1, J2 y J3.
- Formación de cuñas: Son posibles a favor de la intersección de las familias J1, J3 según los 145°, y las familias J2, J3 según los 160°.
- Rotura por vuelco: Es posible únicamente a favor de la familia de juntas J3, que queda intersectada por la estratificación (S0) netamente subhorizontal.

### c) Presentación gráfica de los resultados

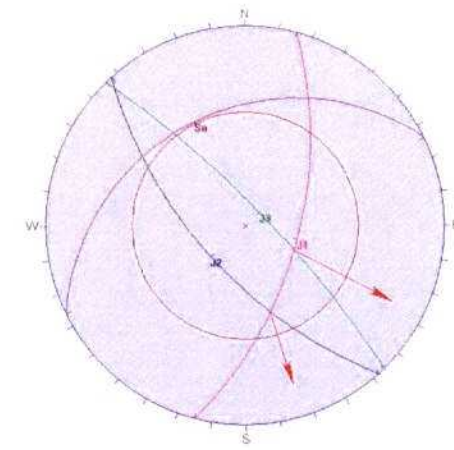
Para visualizar los resultados anteriores de una forma sencilla se presentan los diagramas incluidos en las **Figuras 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16**, que indican el tipo y riesgo de inestabilidad susceptible de producirse para una determinada orientación de la cara libre del talud. Los diagramas han sido elaborados para cada una de las zonas de estudio.



FAMILIA  
 ● J1 [1]  
 ▲ J2 [1]  
 ■ J3 [1]  
 × S0 [1]

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 4 Poles  
 4 Entrés

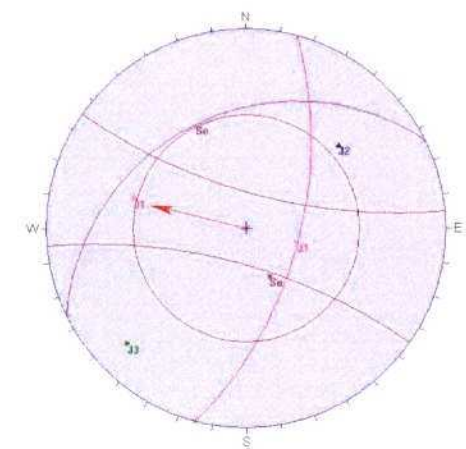
Deslizamiento plano



Orientations  
 E) Dip / Direction  
 1 m 030 / 334  
 1 w 030 / 334  
 2 m 060 / 105  
 2 w 060 / 105  
 3 m 064 / 328  
 3 w 064 / 228  
 4 m 079 / 46  
 4 w 079 / 46

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 4 Poles  
 4 Entrés

Formación de cuñas.

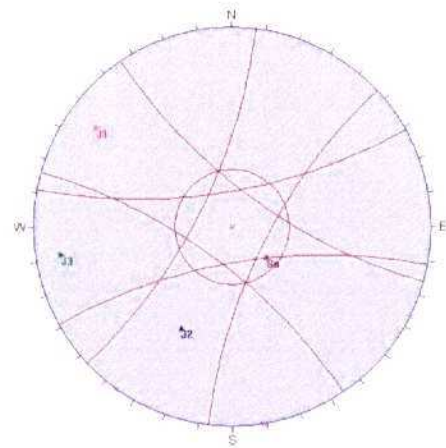


FAMILIA  
 ● J1 [1]  
 ▲ J2 [1]  
 ■ J3 [1]  
 × S0 [1]

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 4 Poles  
 4 Entrés

Rotura por vuelco

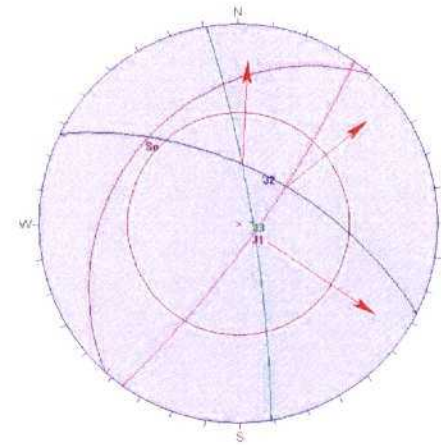
Figura 3.10.- Análisis de estabilidad frente a la rotura estructural realizado para la Sierra de Burete.



FAMILIA  
 \* J1 [1]  
 ▲ J2 [1]  
 ■ J3 [1]  
 • S0 [1]

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 4 Poles  
 4 Entries

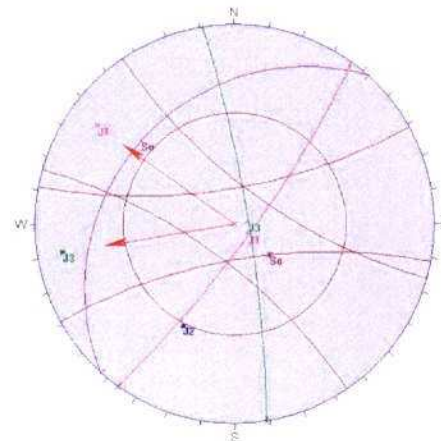
Deslizamiento plano



Orientaciones  
 ID Dgp / Dirección  
 1 m 026 / 312  
 1 w 026 / 312  
 2 m 080 / 126  
 2 w 080 / 126  
 3 m 059 / 27  
 3 w 059 / 27  
 4 m 082 / 81  
 4 w 082 / 81

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 4 Poles  
 4 Entries

Formación de cuñas.

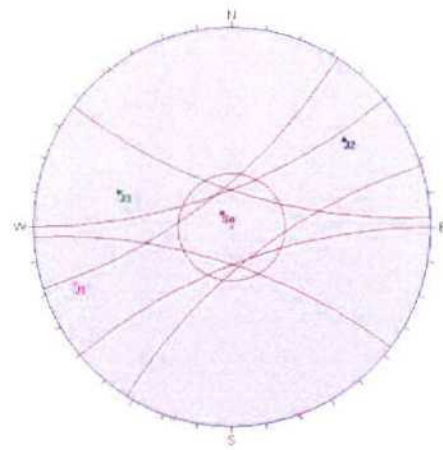


FAMILIA  
 \* J1 [1]  
 ▲ J2 [1]  
 ■ J3 [1]  
 • S0 [1]

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 4 Poles  
 4 Entries

Rotura por vuelco

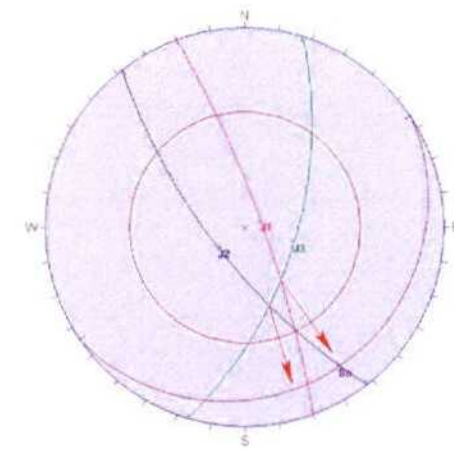
Figura 3.11.- Análisis de estabilidad frente a la rotura estructural realizada para la Sierra de Quipar.



- FAMILIA
- J1 [1]
  - ▲ J2 [1]
  - J3 [1]
  - S1 [1]

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
4 Poles  
4 Entries

Deslizamiento plano

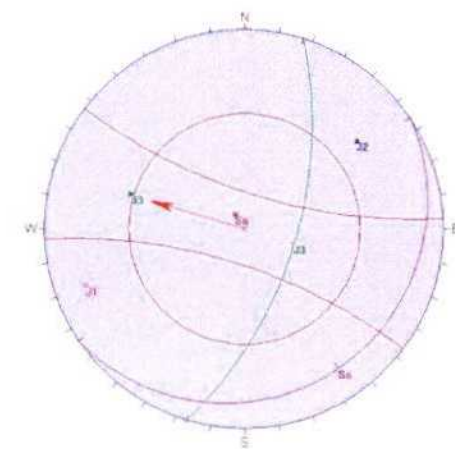


Orientations

ID	Dip / Direction
1	m 010 / 146
1	w 010 / 146
2	m 080 / 70
3	w 080 / 70
4	m 061 / 107
4	w 061 / 107
5	m 071 / 232
5	w 071 / 232

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
4 Poles  
4 Entries

Formación de cuñas.

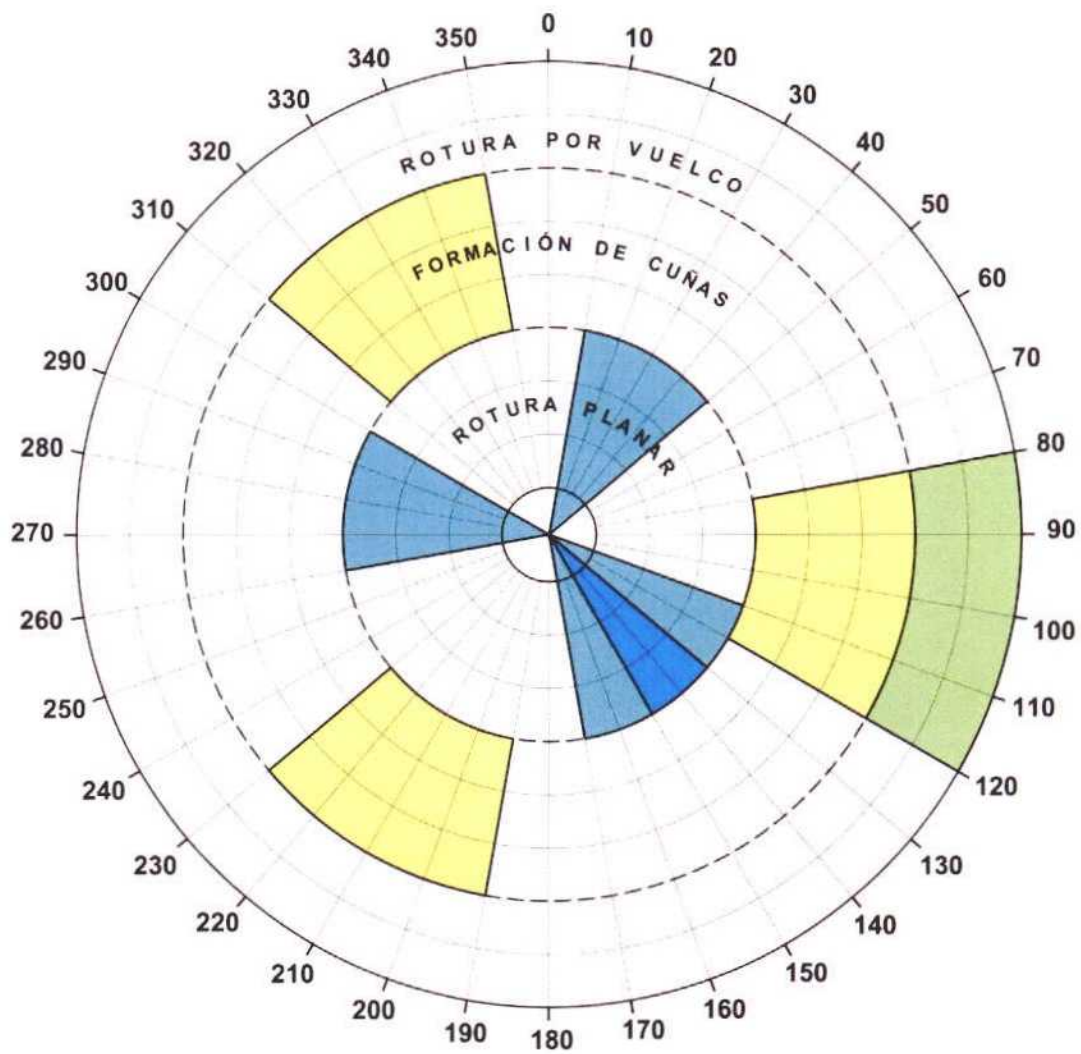


- FAMILIA
- J1 [1]
  - ▲ J2 [1]
  - J3 [1]
  - S1 [1]

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
4 Poles  
4 Entries

Rotura por vuelco

Figura 3.12.- Análisis de estabilidad frente a la rotura estructural realizado para la Sierra de Almiréz.



ROTURA PLANAR		FORMACIÓN DE CUÑAS		ROTURA POR VUELCO	
	RIESGO MODERADO		RIESGO MODERADO		RIESGO MODERADO
	RIESGO ALTO		RIESGO ALTO		RIESGO ALTO

Figura 3.13.- Tipo y riesgo de inestabilidades según la orientación de la cara libre del talud en la Sierra de la Puerta.

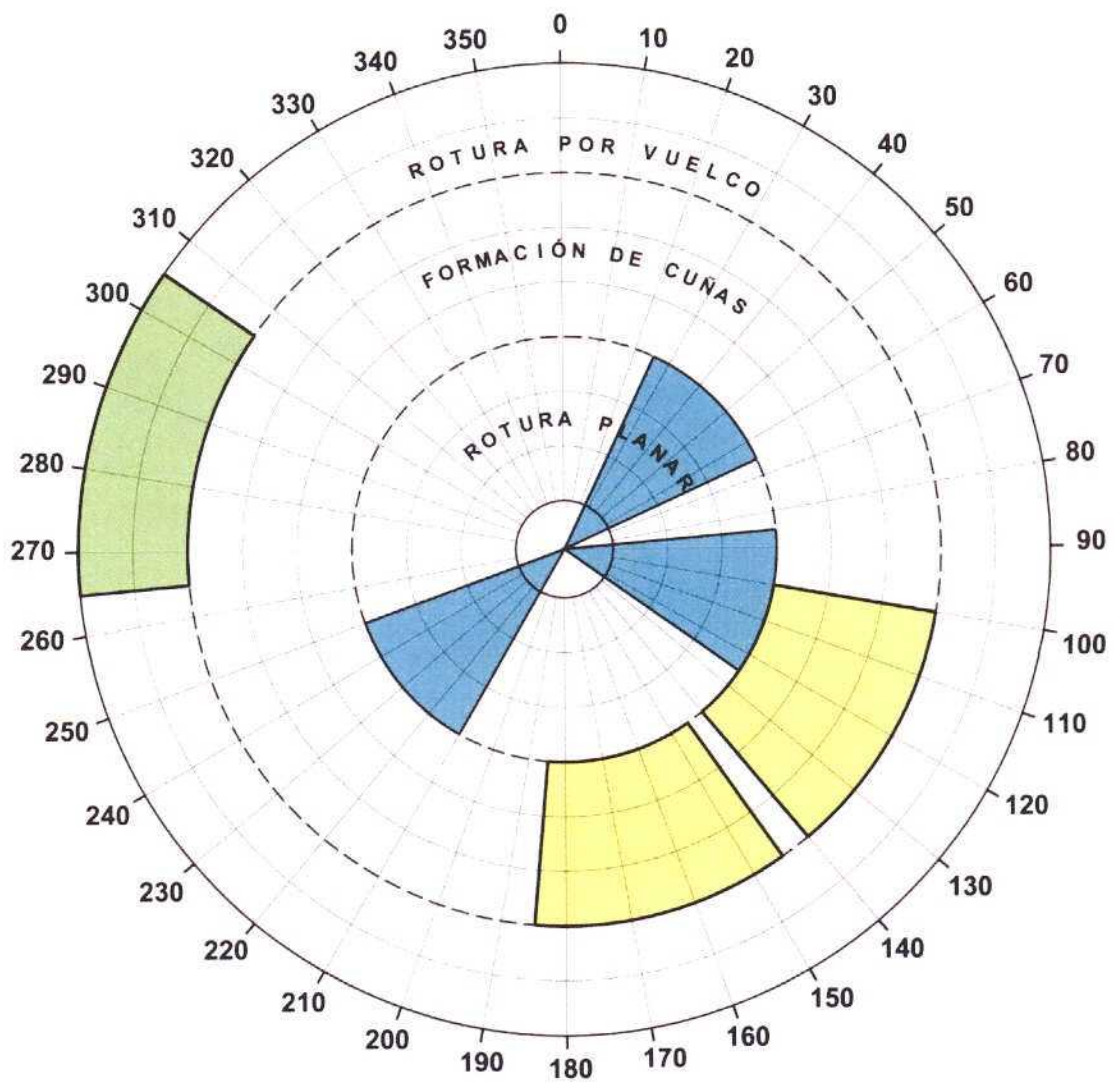


Figura 3.14.- Tipo y riesgo de inestabilidades según la orientación de la cara libre del talud en la zona NE de la Sierra de Burete.

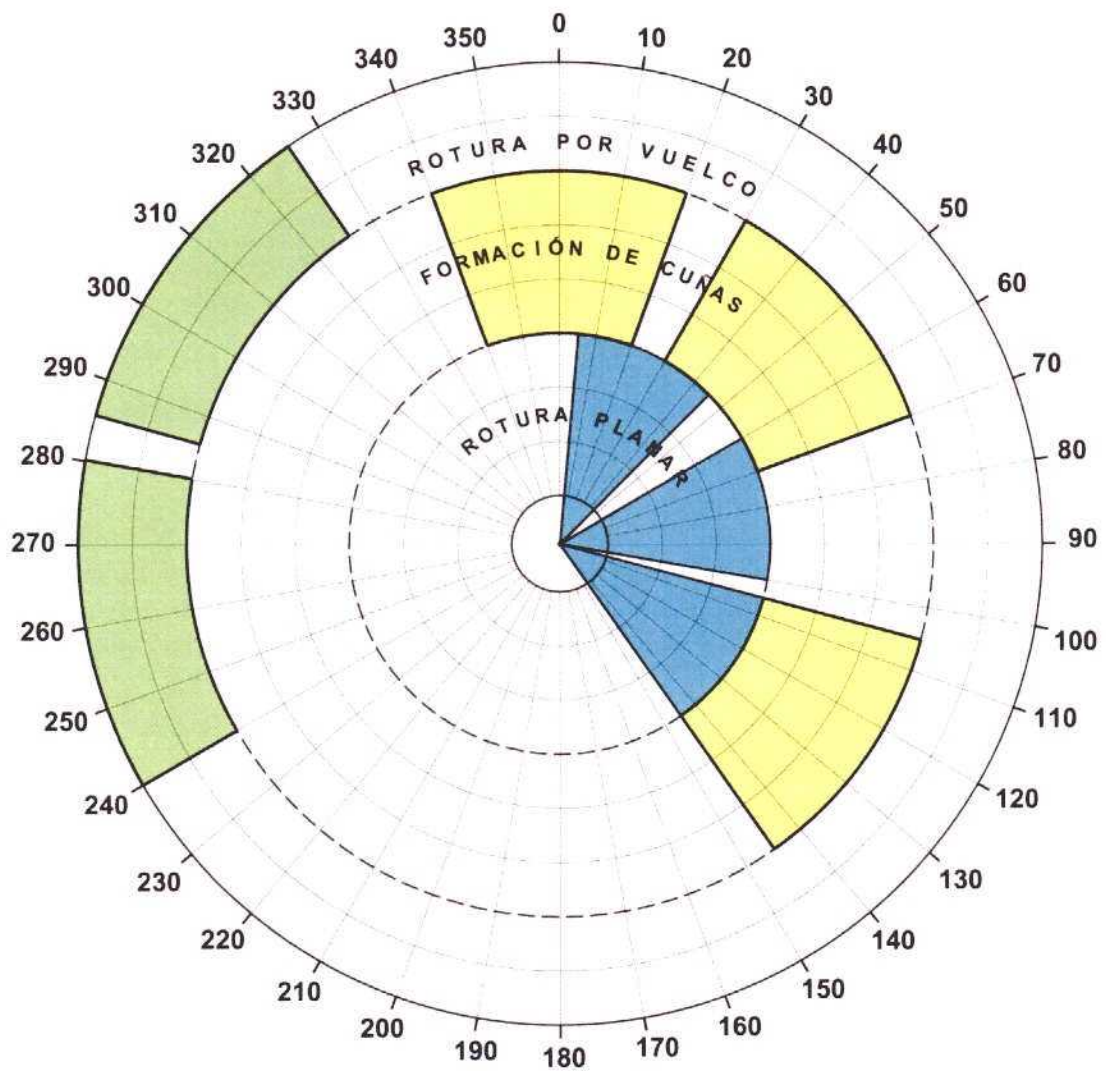
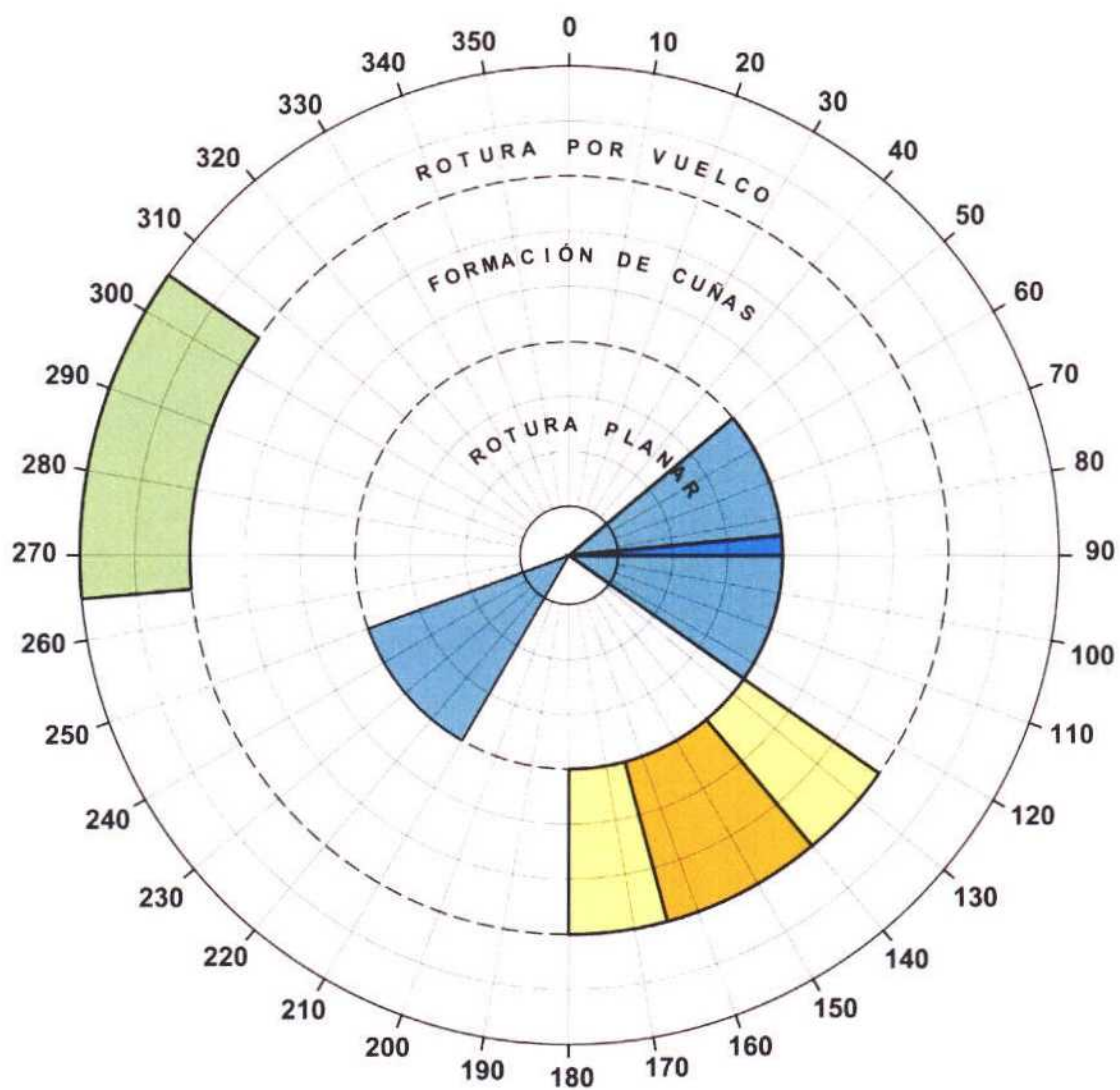


Figura 3.15.- Tipo y riesgo de inestabilidades según la orientación de la cara libre del talud en la Sierra de Quipar.



<b>ROTURA PLANAR</b>	<b>FORMACIÓN DE CUÑAS</b>	<b>ROTURA POR VUELCO</b>
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #4682B4; border: 1px solid black;"></span> <i>RIESGO MODERADO</i>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #FFFF00; border: 1px solid black;"></span> <i>RIESGO MODERADO</i>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #90EE90; border: 1px solid black;"></span> <i>RIESGO MODERADO</i>
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #0000FF; border: 1px solid black;"></span> <i>RIESGO ALTO</i>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #FF8C00; border: 1px solid black;"></span> <i>RIESGO ALTO</i>	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #006400; border: 1px solid black;"></span> <i>RIESGO ALTO</i>

Figura 3.16.- Tipo y riesgo de inestabilidades según la orientación de la cara libre del talud en la Sierra de Almírez.



A modo de ejemplo de utilización de los diagramas, se considera la ejecución de una explotación en la Sierra de Burete, con dirección de buzamiento o cara libre del talud hacia los  $110^\circ$  respecto al Norte. En el diagrama de la **Figura 3.14**, referido a la zona de estudio, se traza una línea desde los  $110^\circ$  hasta el centro de la circunferencia, que indica la existencia de riesgo moderado de rotura planar (sector interior en azul claro), riesgo moderado de formación de cuñas (sector intermedio en amarillo) y ausencia de roturas por vuelco (sector exterior no coloreado).

En el caso de proyectarse una explotación con una cara libre del talud hacia los  $160^\circ$  en la Sierra de Almírez, deberá acudir al diagrama de la **Figura 3.16**, donde se indica la existencia únicamente de riesgo alto de formación de cuñas.

El riesgo moderado indica que existe únicamente una familia principal de juntas susceptible de producir la inestabilidad en la dirección considerada, mientras que el riesgo alto indica que al menos existen dos familias principales de juntas que pueden producir la inestabilidad en esa dirección.

Dada la extensión geográfica y variabilidad geológica del área en estudio, los diagramas anteriores pueden no resultar válidos para una zona concreta, siendo más apropiados para labores de planificación y ordenación a gran escala.

### **3.1.2.- Análisis tensodeformacional**

En el presente apartado se analiza la estabilidad global de los taludes de explotación mediante análisis tensodeformacionales en condiciones estáticas y dinámicas.

La geometría del talud elegida para el cálculo se muestra en la **Figura 3.17**, correspondiente a la Sierra Almírez y considerada la más desfavorable para la estabilidad, al presentar peores propiedades geomecánicas.

En los apartados siguientes se presenta la metodología de cálculo seguida, los resultados obtenidos y las conclusiones deducidas.

#### **a) Metodología de cálculo en condiciones estáticas**

En estos apartados se presentan los fundamentos, los métodos de cálculo y las hipótesis simplificadoras que se han utilizado en el análisis de la estabilidad del talud.

- Modelización numérica en elastoplasticidad

Para el cálculo en elastoplasticidad de la estabilidad del talud se ha recurrido a la simulación numérica. Para ello, se han resuelto modelos discretos bidimensionales que representan el corte geotécnico que engloba las tipologías más desfavorables. Este modelo se ha resuelto por el Método de Diferencias Finitas mediante el programa FLAC, para la simulación del terreno como un continuo.

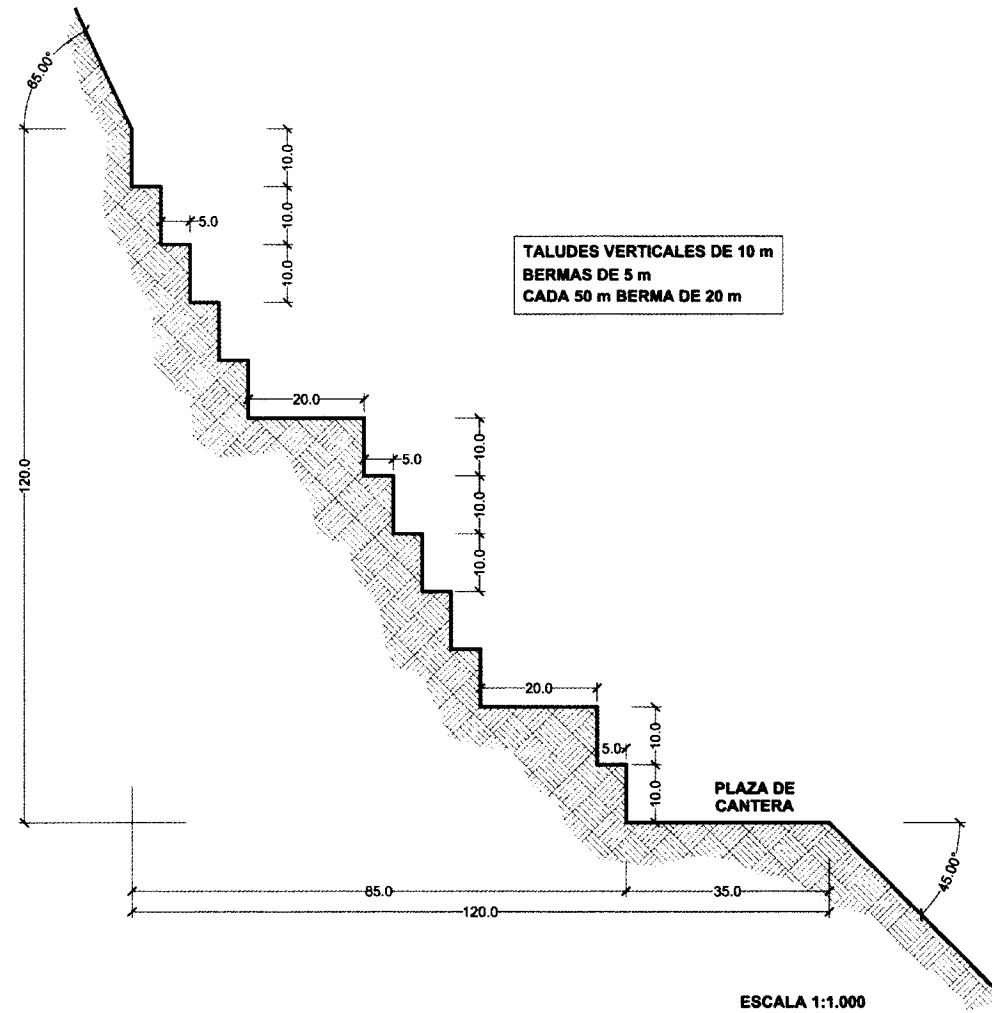


Figura 3.17.- Geometría de taludes de explotación más desfavorable considerada para el cálculo.

- Programa de cálculo

El Método de las Diferencias Finitas presenta ciertas ventajas respecto al Método de los Elementos Finitos en el estudio de problemas de grandes deformaciones, en los que la matriz de rigidez generada en el Método de los Elementos Finitos puede no ser invertible. El método de las Diferencias Finitas, al ser una formulación explícita, que se resuelve por iteraciones, permite seguir la evolución del problema incluso hasta el colapso. Evidentemente, si el problema tiene solución, ambos métodos convergen, sin diferencias apreciables, hacia los mismos resultados. Si por el contrario no existe el equilibrio, los cálculos con Elementos Finitos se abortan sin dar información alguna, mientras que los de Diferencias Finitas ofrecen toda la historia hasta el colapso.

El programa utilizado en la modelización numérica es el programa FLAC (Versión 4.0, año 2000), que permite simular el comportamiento de suelos, rocas y otros materiales estructurales que se ajustan a modelos elásticos, elastoplásticos y viscoelásticos, en dos dimensiones. También son posibles análisis térmicos o de flujos de agua con posibilidad de interacción mecánica con el terreno.

La forma de la excavación o estructura puede ser ajustada por el usuario prácticamente sin limitaciones. En el código del programa FLAC se contempla la posibilidad de modelizar estructuras como hormigón proyectado, pantallas, vigas, bulones, y anclajes que interaccionan con el terreno y facilitan el análisis de los efectos de estabilización que dichos elementos estructurales tienen sobre excavaciones subterráneas o superficiales.

En la resolución del modelo numérico construido para el diseño de la cantera se ha utilizado el modelo constitutivo de Mohr-Coulomb. La formulación que el programa FLAC hace del problema asume un sólido elastoplástico perfecto, con deformaciones planas, de acuerdo con la ley de fluencia según Mohr-Coulomb y una ley de flujo no asociado. El criterio de fluencia viene dado por:

$$f = \sigma_1 - N_\phi \sigma_2 + 2c \sqrt{N_\phi} \quad (1)$$

y el potencial plástico está dado por:

$$g = \sigma_1 - N_\psi \sigma_2 + 2c \sqrt{N_\psi} \quad (2)$$

donde:

c: Cohesión

$\phi$ : Ángulo de fricción

$$N_{\phi} = \frac{(1 + \text{sen}\phi)}{(1 - \text{sen}\phi)} \quad (3)$$

$\Psi$ : Ángulo de dilatancia

$$N_{\Psi} = \frac{(1 + \text{sen}\Psi)}{(1 - \text{sen}\Psi)} \quad (4)$$

$\sigma_1$ : Tensión principal mayor

$\sigma_2$ : Tensión principal menor

El programa trabaja determinando los incrementos de tensiones elásticas en los ejes x e y:  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$ ,  $\tau_{xy}$ , y los transforma en tensiones principales con las que entra en la ecuación (1). A continuación realiza las correcciones plásticas en función de la dirección de las tensiones principales, de  $N_{\Psi}$  y del criterio de fluencia si  $f < 0$ . Posteriormente, se vuelven a transformar las tensiones principales en  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$ ,  $\tau_{xy}$ , volviéndose a repetir el proceso.

- Condiciones de contorno

En toda simulación numérica, no basada en elementos infinitos, es necesario establecer unos límites al modelo. De esta manera se asegura que el efecto de los bordes del mismo no distorsione las zonas que son objeto de la modelización. El establecimiento de dichos límites en el modelo obliga a fijar unas condiciones en ellos, bien de desplazamiento, bien de presiones.

En general, en problemas en que el modelo llega a la superficie, es preferible definir las condiciones de contorno fijando los desplazamientos.

Frecuentemente, se realiza en primer lugar una pasada de asentamiento para establecer el estado de tensiones "in situ" en todos los elementos del modelo. En este caso suele aceptarse que el estado tensional se defina por:

$$\sigma_{yy} = \rho \cdot g \cdot h \quad (5)$$

donde:

$\sigma_{yy}$ : Tensión vertical

$\rho$ : Densidad del terreno

$g$ : Aceleración de la gravedad

$h$ : Altura de las tierras

$\sigma_{xx} = \sigma_{zz} = K_0 \sigma_{yy}$ : Tensiones horizontales.

$K_0$ : Coeficiente de reparto de tensiones, que en el caso de tensiones elásticas viene dado por:

$$K_0 = \frac{\nu}{1-\nu} \quad (6)$$

siendo  $\nu$  el coeficiente de Poisson.

En los modelos realizados, el coeficiente de reparto de tensiones adoptado ha sido de  $K_0 = 1$ , considerado representativo del contexto geotectónico en el que se ubican los macizos.

- Propiedades del terreno

En el presente apartado se presentan las propiedades del terreno que se han utilizado en el cálculo con el programa FLAC. Las propiedades elastoplásticas del terreno se han determinado a partir de la metodología de Hoek & Brown que se presenta en el apartado 2.6.

Para el modelo constitutivo Mohr-Coulomb, el programa FLAC requiere las siguientes propiedades elastoplásticas:

- Módulo volumétrico ("Bulk"):  $K$
- Módulo de corte ("Shear"):  $G$
- Cohesión:  $c$
- Ángulo de fricción:  $\phi$
- Densidad:  $\rho$

El módulo volumétrico ("K") y el módulo cortante ("G") se pueden obtener a partir del módulo de Young ("E") y el coeficiente de Poisson ("v"), aplicando las siguientes expresiones:

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad (7)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (8)$$

Las propiedades resistentes asignadas al terreno para el cálculo con el programa FLAC se encuentran reflejadas en el **Cuadro 3.2**, y corresponden al litotipo con peores propiedades calculadas en el apartado 2.6.

Cuadro 3.2.- Propiedades del terreno

	<b>c</b> (MPa)	$\phi$ (°)	<b>E</b> (MPa)	<b>v</b>	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )
Macizo calcáreo	1.24	46	10.758	0,25	2,6

- **Modelo geomecánico**

El modelo de cálculo se presenta en la **Figura 3.18** y abarca un total de 300 m en horizontal y 320 m en vertical, con un total de 6.640 elementos.

Con estas dimensiones los bordes del modelo se encuentran a una distancia mayor que la altura-anchura de la cantera, que es la zona de interés del cálculo, lo cual se considera suficiente para que no existan distorsiones motivadas por la cercanía de dichos bordes.

En la zona de mayor interés de cálculo, los elementos del modelo tienen una anchura de 2,5 m.

La secuencia de cálculo que se ha seguido para los cálculos ha sido la siguiente:

- Fase previa de cálculo para ajustar el estado tensional en el modelo, de acuerdo al coeficiente de reparto de tensiones escogido.
- Excavación de la cantera.

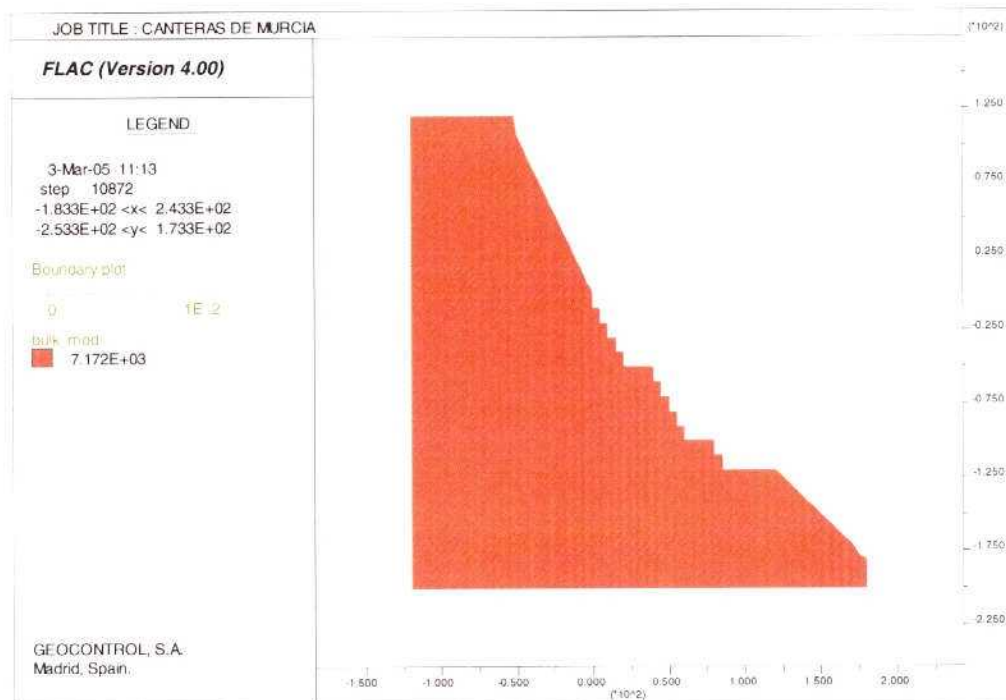


Figura 3.18.- Modelo empleado para los cálculos.

## b) Metodología de cálculo en condiciones dinámicas

- Análisis dinámico. Aplicación de las cargas sísmicas

Partiendo de la fase anterior en condiciones estáticas, se simula el efecto que tendría un sismo en la estabilidad del conjunto.

La estabilidad de los taludes de explotación se comprueba a partir de un análisis tensodeformacional realizado por el Método de Diferencias Finitas, mediante el programa FLAC.

A partir del valor de la aceleración sísmica máxima en la zona de estudio según la norma de 0,12 g, se ha creado el acelerograma de proyecto. El programa FLAC simula la acción de un sismo, mediante la aplicación en la base del modelo de cálculo de una aceleración horizontal, para lo cual propone la siguiente ecuación:

$$a(t) = \sqrt{\beta \cdot e^{-\alpha t} \cdot t^\gamma} \cdot \sin(2\pi ft)$$

donde:

- t: Tiempo de propagación del sismo (en este caso t = 40 s)
- $\alpha, \beta$ : Parámetros adimensionales que determinan la relación entre la amplitud y longitud de onda del acelerograma.

f: Frecuencia del sismo.

Para la determinación de la frecuencia del sismo, se han empleado los ábacos de Seed, Idriss y Kiefer (1969) incluidos en la publicación "Fundamentals of Soils Dynamics" (Braja M. Das), donde se obtiene la misma a partir de la máxima aceleración y de la magnitud del sismo.

Según se deduce de las figuras, para una aceleración de 0,12g y una magnitud del sismo de 6,5 en la escala de Richter, obtenemos un periodo predominante de 0,3 s y una frecuencia predominante de 3,33 Hz.

En la **Figura 3.19** se muestra la representación gráfica del acelerograma de proyecto para 0,12 g utilizado en el cálculo.

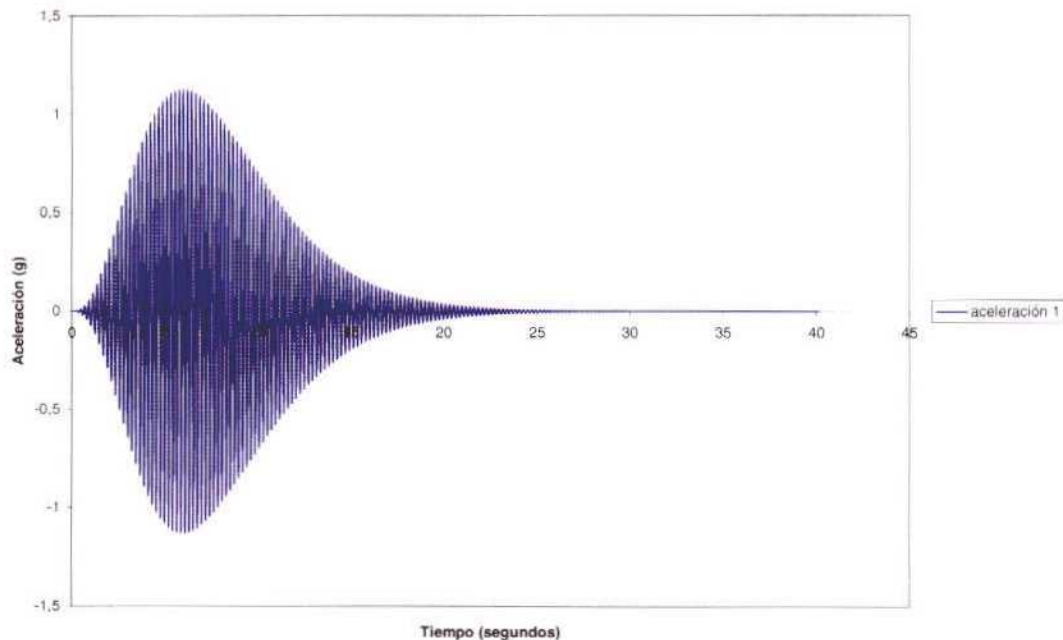


Figura 3.19.- Representación gráfica del acelerograma usado en los cálculos para 0,12 g.

La máxima aceleración provocada por el sismo se produce transcurridos 6,22 segundos.

### c) Resultados obtenidos

- Resultados en condiciones estáticas

En la **Figura 3.20** se observan las deformaciones cortantes producidas tras la excavación de la cantera, alcanzándose un factor de seguridad de 2,29 respecto a la estabilidad global en condiciones estáticas.



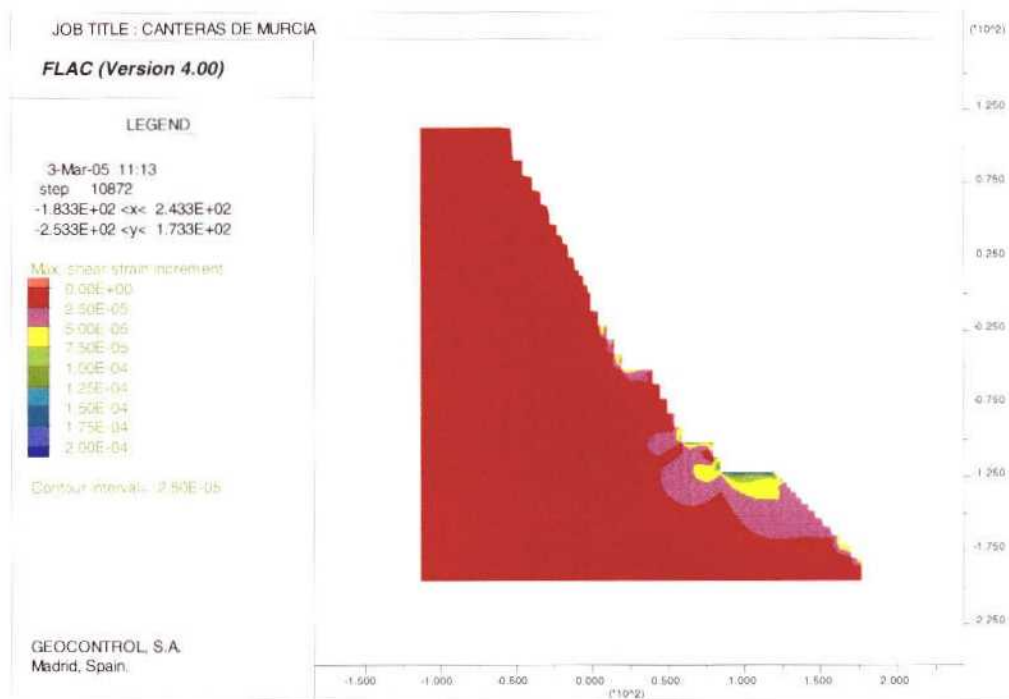


Figura 3.20.- Deformaciones cortantes generadas tras la excavación de la cantera.

En la **Figura 3.21** se muestran los desplazamientos horizontales máximos generados. Como se observa en la figura, la excavación genera un desplazamiento absoluto aproximadamente de 0,7 mm, valor poco significativo, que no afecta a la estabilidad del conjunto.

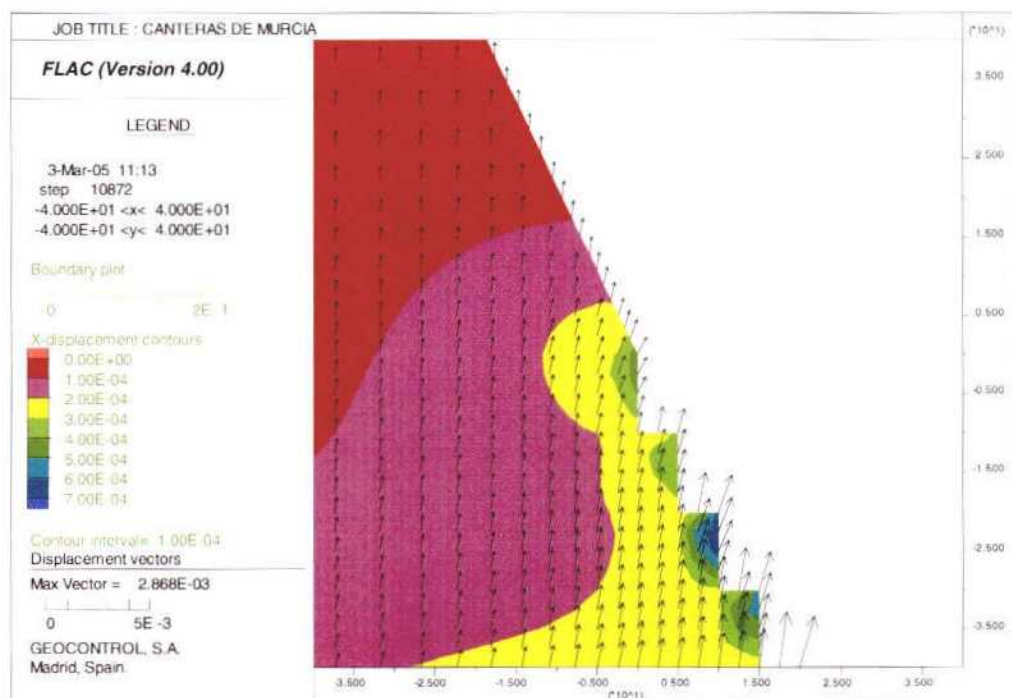


Figura 3.21.- Desplazamientos horizontales máximos.

- Resultados en condiciones dinámicas

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la corta en cuanto a la estabilidad se refiere tras aplicar un sismo con aceleración de cálculo 0,12 g.

En la **Figura 3.22** se muestran las deformaciones cortantes máximas y en la **Figura 3.23** los desplazamientos horizontales máximos.

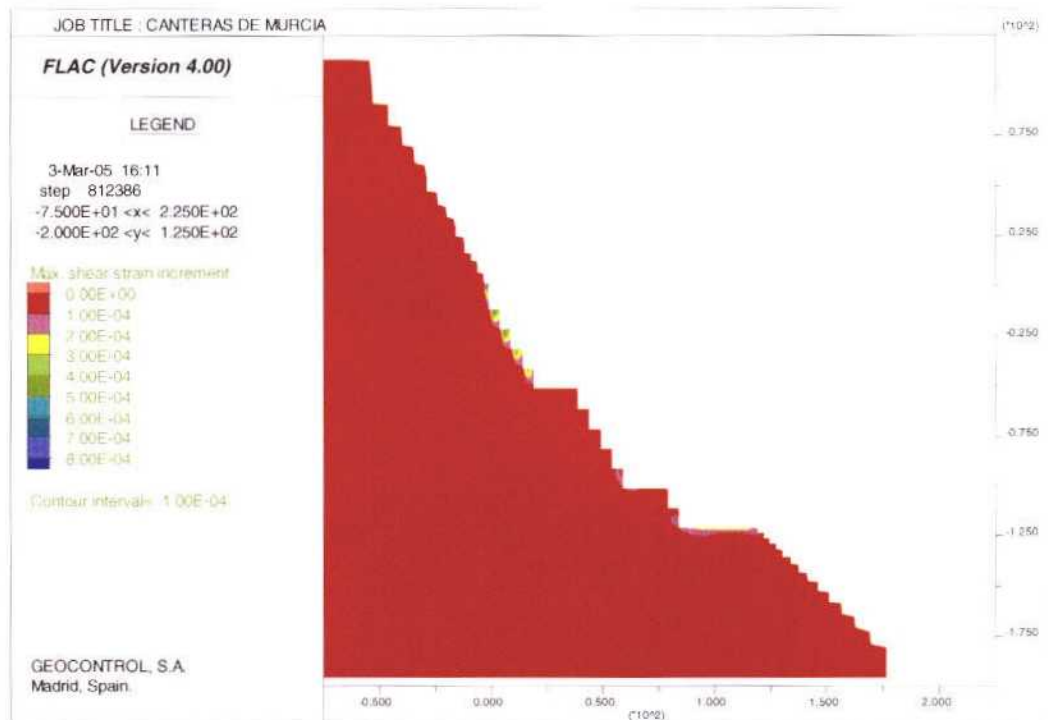


Figura 3.22.- Deformaciones cortantes generadas tras un sismo con aceleración 0,12 g.

Los desplazamientos horizontales máximos sufridos por la cantera tras la acción de un sismo con aceleración de cálculo 0,12 g son de 9 mm, lo que supone un incremento de 7 mm en los desplazamientos horizontales respecto a las condiciones estáticas, a pesar de lo cual, los desplazamientos se consideran mínimos y no ponen en peligro la estabilidad global de los taludes de la explotación.

Los cálculos se han realizado también considerando un sismo con aceleración de cálculo 0,08 g, representativa de determinadas zonas en estudio, obteniéndose unos desplazamientos horizontales máximos de 4,5 mm, valores intermedios, como era de esperar, entre los obtenidos en condiciones estáticas y los obtenidos con el sismo crítico ( $a_c = 0,12$  g).

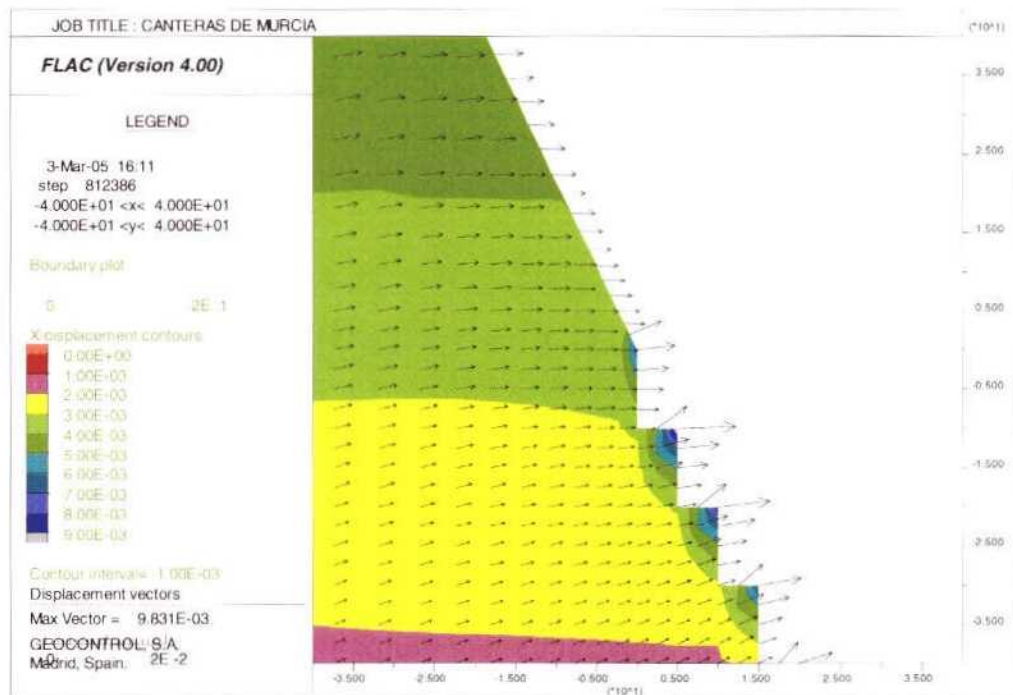


Figura 3.23.- Desplazamientos horizontales tras la acción de un sismo con aceleración 0,12 g.

#### d) Conclusiones

El análisis tensodeformacional elaborado muestra la estabilidad global de la geometría de taludes de explotación elegida para el cálculo (la más desfavorable), tanto en condiciones estáticas como en dinámicas.

En condiciones estáticas se obtiene un factor de seguridad frente a la rotura global en el diseño de 2,29, y unos desplazamientos máximos horizontales limitados a 0,7 mm.

Considerando condiciones dinámicas tras la acción de un sismo con aceleración de cálculo 0,08 g y 5,5 de magnitud en escala de Richter (representativa según la norma sismorresistente NCSE-02 de la Sierra de Puerta, Sierra de Burete y de la Sierra de Quipar), los desplazamientos máximos horizontales aumentan únicamente hasta los 4,5 mm.

Para el caso dinámico extremo, considerando la acción de un sismo con aceleración de cálculo 0,12 g y 6,5 de magnitud en la escala de Richter (valores representativos, según norma, de la Sierra de Almírez) los desplazamientos máximos horizontales se limitan a 9 mm, valor insuficiente para provocar la inestabilidad del diseño de taludes de explotación más desfavorable.

### 3.2.- ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE LAS ESCOMBRERAS

A continuación se analiza la estabilidad de las escombreras frente a la rotura global, considerando diversos tipos y geometrías de escombreras sobre terrenos de cimentación con inclinaciones variables y utilizando métodos de equilibrio límite y métodos tensodeformacionales.

#### 3.2.1.- Análisis de la estabilidad de las escombreras mediante métodos de equilibrio límite

##### a) Metodología

Este análisis se refiere a la posibilidad de que se produzca la rotura global de la escombrera de forma circular.

Las condiciones en las que se da normalmente la rotura circular son aquellas en que el tamaño de las partículas del terreno entendido como un medio continuo, es muy pequeño en comparación con las dimensiones del talud. Esto sucede en suelos o en macizos rocosos muy fracturados y/o alterados.

Para analizar la estabilidad de un talud determinado, excavado en un material de características resistentes conocidas, se necesita determinar la posición del centro y el diámetro del círculo por donde se va a producir el deslizamiento. Este círculo conocido como círculo crítico, debe satisfacer la condición de que la relación entre la resistencia al corte del terreno o material equivalente a lo largo de la superficie de deslizamiento y los esfuerzos tangenciales que tienden a producirlo sea mínimo.

Excepto en casos simples, en que el círculo crítico puede determinarse por métodos analíticos, en general su posición se obtiene mediante tanteos.

Como se observa en la **Figura 3.24**, las fuerzas que actúan sobre una masa deslizante son: su peso:  $W$ , la resultante de las fuerzas exteriores que gravitan sobre ella:  $A$ , la resultante de las fuerzas efectivas normales a la línea de rotura:  $\tilde{N}$ , la resultante de las tensiones tangenciales a lo largo de la línea de rotura:  $T_c$ , y la resultante de las presiones intersticiales sobre dicha línea:  $U$ .

Existe una serie de métodos generales para estudiar este tipo de rotura de taludes.

En la actualidad los más usados se basan en el método de las fajas, basado en la división de la masa deslizante en una serie de fajas verticales, en las que se asume la hipótesis de que los esfuerzos normales se concentran en un punto único del arco de deslizamiento.

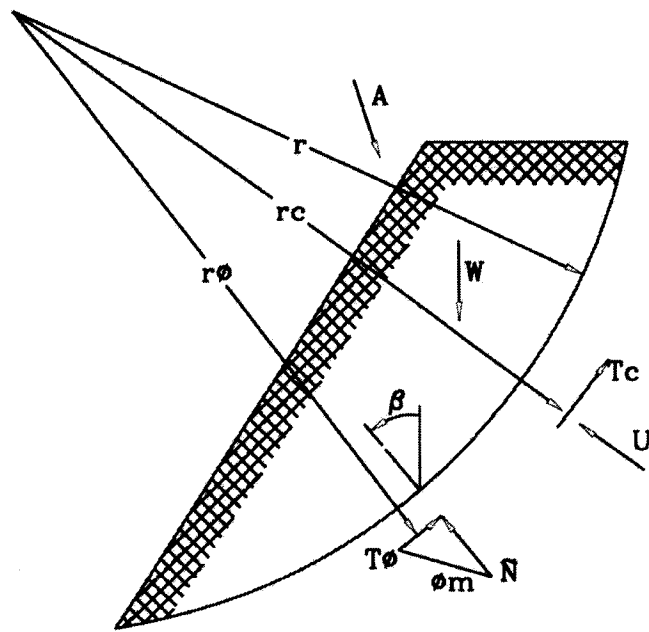


Figura 3.24. Esquema de las fuerzas resultantes que actúan sobre una masa deslizante.

En aquellos casos en que la superficie del talud es muy irregular o las superficies de rotura intersectan materiales con características geotécnicas diferentes, es necesario analizar la estabilidad del talud mediante otros métodos más precisos; no obstante estos métodos más precisos se basan igualmente en el denominado método de las fajas, si bien sin hipótesis simplificadoras del cálculo. No obstante, diversos estudios realizados comparando los métodos llamados “exactos” (sin hipótesis simplificadoras) y los considerados “aproximados” muestran que estos últimos poseen una precisión suficiente.

En el método de las fajas, la masa deslizante se divide en un determinado número de rebanadas verticales y se considera el equilibrio de cada una de ellas. La **Figura 3.25** muestra una faja con el sistema de fuerzas actuantes.

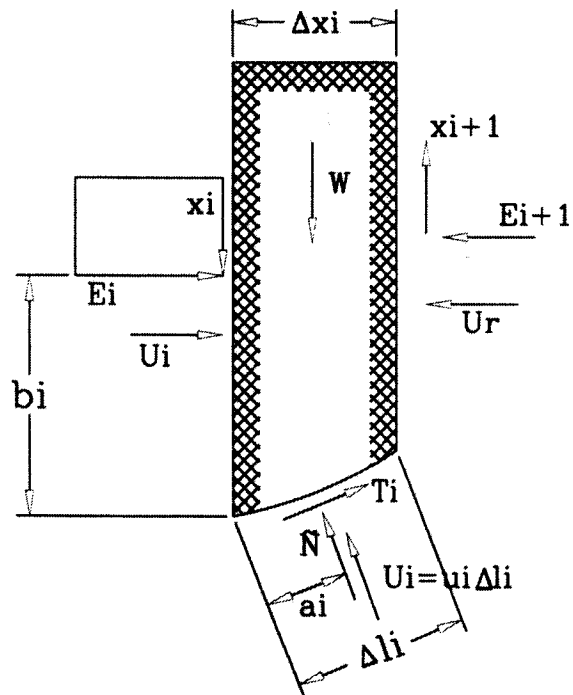


Figura 3.25.- Sistema de fuerzas actuantes en una rebanada.

El análisis de las escombreras se ha realizado siguiendo el método de Jambu, que es una simplificación del método de las fajas. En él se suponen conocidas las posiciones de los empujes normales a las caras de las fajas. El método por tanto cumple el equilibrio de fuerzas actuantes, aunque no el de momentos.

Según el método de Jambu el factor de seguridad del círculo analizado se define en función de los momentos de las fuerzas resistentes y volcadoras respecto del centro del círculo de deslizamiento.

$$F = \frac{\text{Momento de las fuerzas resistentes a lo largo del arco}}{\text{Momento de las fuerzas volcadoras}}$$

En la **Figura 3.26** se muestra la descomposición en rebanadas de un talud para el análisis mediante el equilibrio límite de la rotura circular mediante el método de Jambu.

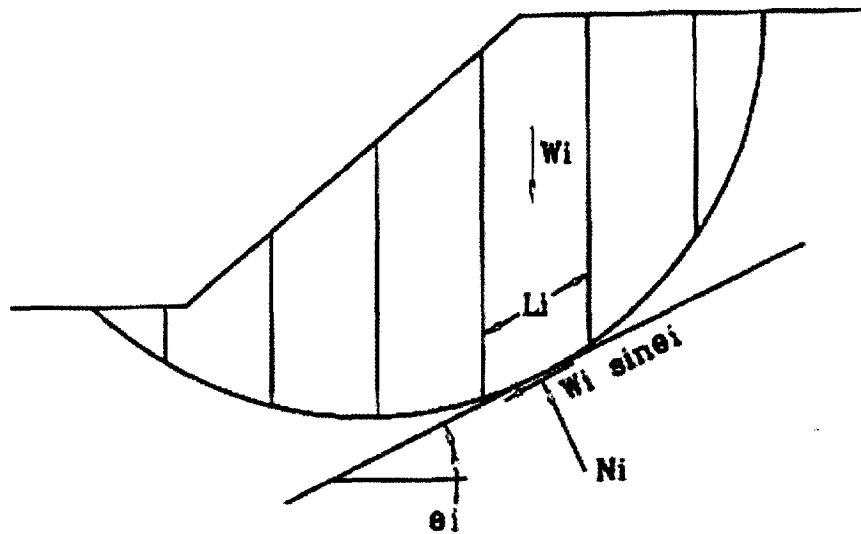


Figura 3.26.- Método de Jambu.

El análisis se ha realizado con ayuda del programa SLIDE, versión 3.0, realizado por el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Toronto.

Este programa calcula el equilibrio plástico que se da en un círculo de rotura predeterminado. Los datos que requiere el programa son:

- la cohesión, ángulo de rozamiento y peso específico de los terrenos;
- la geometría del talud. (Es posible adaptar la geometría prácticamente sin limitaciones, así como considerar distintos terrenos, cada uno de ellos con su geometría y propiedades);
- y la posición del nivel freático. (Es posible considerar un nivel de agua de geometría libre).

El programa SLIDE calcula, en una malla de centros dada por el usuario, el factor de seguridad de los posibles círculos que resultan de variar el radio en cada uno de los centros. Así es posible disponer de los contornos de factores de seguridad, lugar geométrico de los centros de los círculos de rotura, solventándose en parte la limitación de los métodos de equilibrio límite de tener que fijar el círculo de rotura "a priori". No obstante, también es posible analizar un círculo determinado.

## b) Parámetros de cálculo

En el estudio se consideran dos tipos de escombreras con propiedades geotécnicas diferenciadas.

El primer tipo de escombreras se constituye únicamente por inertes, especialmente por materiales de rechazo de canteras próximas, como se muestra en la **Fotografía 3.3**.



Fotografía 3.3.- Aspecto de una escombrera de inertes en la Sierra de la Puerta.

Un segundo tipo lo constituyen las escombreras de inertes mezcladas con subproductos procedentes del tratamiento industrial primario que precisa la roca para su comercialización, lo que se traduce en un aumento de los finos. En la **Fotografía 3.4** se muestra el aspecto de una escombrera de inertes y subproductos en la zona de la Sierra de Almírez.

Los parámetros relativos a escombros se han estimado aplicando la metodología expuesta en la publicación del ITGE, Manual para el Diseño y Construcción de Escombreras y Presas de Residuos Mineros, donde se relaciona el ángulo de rozamiento interno efectivo de la escombrera ( $\phi'$ ) con una serie de parámetros fácilmente estimables.

De esta forma,  $\phi'$  aumenta con la angulosidad de las partículas, el tamaño de las mismas, la buena gradación granulométrica, y la compactación o energía de vertido. Disminuyendo con la altura de escombros, el contenido en finos y la friabilidad o alteración de las rocas.





Fotografía 3.4.- Escombrera de inertes más subproductos en la Sierra de Almiréz.

La fórmula utilizada para la estimación del ángulo de rozamiento interno efectivo de la escombrera es la siguiente:

$$\phi' = (M + \phi'_1 + \phi'_2 + \phi'_3 + \phi'_4) \cdot \alpha$$

Donde los parámetros que intervienen se muestran en el **Cuadro 3.3**.

El parámetro M puede sustituirse por el ángulo de fricción básico obtenido en los ensayos tilt-test.

Para el caso de las escombreras de inertes se considera:

- |                                      |                      |
|--------------------------------------|----------------------|
| - Naturaleza carbonatada (tilt-test) | $M = 34^\circ$       |
| - Compacidad suelta                  | $\phi'_1 = -5^\circ$ |
| - Forma angulosa                     | $\phi'_2 = +2^\circ$ |
| - Tamaño de bloques                  | $\phi'_3 = +3^\circ$ |
| - Granulometría extendida            | $\phi'_4 = +3^\circ$ |
| - Nivel de tensiones medio           | $\alpha = 1$         |

Cuadro 3.3.- Parámetros para la estimación del ángulo de rozamiento interno en escombreras.

Naturaleza	M	Silíceas	36°
		Carbonatada	34°
		Esquistosa	32°
		Arcillosa	30°
Compacidad	$\phi'_1$	Suelta	-5°
		Media	0°
		Compactada	+5°
Forma y rugosidad	$\phi'_2$	Angulosa	+2°
		Media	0°
		Lajosa	-0°
		Redondeada	-2°
		Muy redondeada	-3°
Tamaño	$\phi'_3$	Arena	0°
		Grava fina	+1°
		Grava gruesa	+2°
		Bloques. Bolos	+3°
Granulometría	$\phi'_4$	Uniforme	-3°
		Media	0°
		Extendida	+3°
Nivel de tensiones (altura de escombros)	$\alpha$	Bajo (H < 20 m)	1,1
		Medio (20 < H < 40 m)	1,0
		Alto (H > 40 m)	0,9

Con lo que resulta un ángulo de rozamiento efectivo tal que  $\phi' = 37^\circ$  para las escombreras de inertes. Este valor es asimilable, del lado de la seguridad, a las escombreras formadas únicamente por grandes bloques métricos.

En el caso de escombreras de inertes mezcladas con subproductos, se considera:

- Naturaleza carbonatada con 30 % de finos     $M = 33^\circ$
- Compacidad suelta     $\phi'_1 = -5^\circ$
- Forma angulosa     $\phi'_2 = +2^\circ$

- Tamaño grava gruesa  $\phi'_3 = +2^\circ$
- Granulometría extendida a media  $\phi'_4 = +2^\circ$
- Nivel de tensiones medio  $\alpha = 1$

Resultando un ángulo de rozamiento efectivo para las escombreras de inertes + subproductos tal que  $\phi' = 34^\circ$ .

En ambos casos se considera que el nivel de tensiones no afecta al ángulo de rozamiento, ya que el SLIDE calcula la geometría real de la escombrera.

Para realizar los cálculos se ha considerado una pequeña cohesión en las escombreras que alcanza  $C = 10$  kPa.

El terreno de cimiento se considera constituido por materiales calcáreos alterados, caracterizados por parámetros de contraste respecto a la escombrera. En el **Cuadro 3.4** se muestran los parámetros de cálculo adoptados.

Cuadro 3.4.- Parámetros del terreno adoptados para el cálculo de la estabilidad de las escombreras.

MATERIAL		$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	C (kPa)	$\phi'$ (°)
TERRENO DE CIMIENTO		2,5	500	40
ESCOMBRERA	DE INERTES	2,2	10	37
	INERTES + SUBPRODUCTOS	2,0	10	34

### c) Resultados obtenidos

Se han calculado los factores de seguridad frente a la rotura global de la escombrera, en tres situaciones: terreno de cimiento horizontal, terreno de cimiento con pendiente de  $15^\circ$  y terreno de cimiento con pendientes de  $30^\circ$ .

En todos los cálculos se han considerado los resultados en condiciones estáticas (aceleración sísmica nula) y en condiciones dinámicas, considerando una aceleración sísmica tal que  $a_c = 0,08$  g, valor representativo de la provincia de Murcia en su conjunto.

En total se han realizado 108 cálculos de estabilidad utilizando el programa SLIDE, cuyas salidas gráficas se muestran en el Apéndice III.

- **Terreno horizontal y escombrera de inertes**

Los factores de seguridad obtenidos en este caso para distintas alturas de la escombrera y distintos buzamientos se presentan en el **Cuadro 3.5** para condiciones estáticas y en el **Cuadro 3.6** considerando condiciones dinámicas. En las **Figuras 3.27** y **3.28** se muestran ejemplos de las salidas gráficas de los cálculos.

Cuadro 3.5.- Factores de seguridad estáticos calculados para diversas geometrías de escombreras de inertes (Terreno de cimiento horizontal).

ESTÁTICO		BUZAMIENTO DE LA ESCOMBRERA		
		20°	30°	40°
ALTURA DE LA ESCOMBRERA (m)	15	2,753	1,864	1,417
	30	2,521	1,650	1,221
	45	2,449	1,585	1,159

Cuadro 3.6.- Factores de seguridad dinámicos calculados para diversas geometrías de escombreras de inertes (Terreno de cimiento horizontal).

DINÁMICO ( $a_c = 0,08$ g)		BUZAMIENTO DE LA ESCOMBRERA		
		20°	30°	40°
ALTURA DE LA ESCOMBRERA (m)	15	2,193	1,576	1,232
	30	2,017	1,395	1,060
	45	1,962	1,340	1,004

Para visualizar gráficamente la estabilidad de una escombrera de inertes sobre terreno horizontal se ha elaborado la **Figura 3.29**, donde se indica el factor de seguridad estático y dinámico que presenta la escombrera para diversas alturas y buzamientos.

De la figura se desprende que para alturas de la escombrera de 45 m por ejemplo, se obtiene un factor de seguridad de 1,25 con buzamientos de la escombrera en torno a 37,5° en condiciones estáticas. Si se considera el efecto del sismo (condiciones dinámicas), asegurar un factor de 1,25 para escombreras de 45 m de altura, requerirá taludes de 33°.

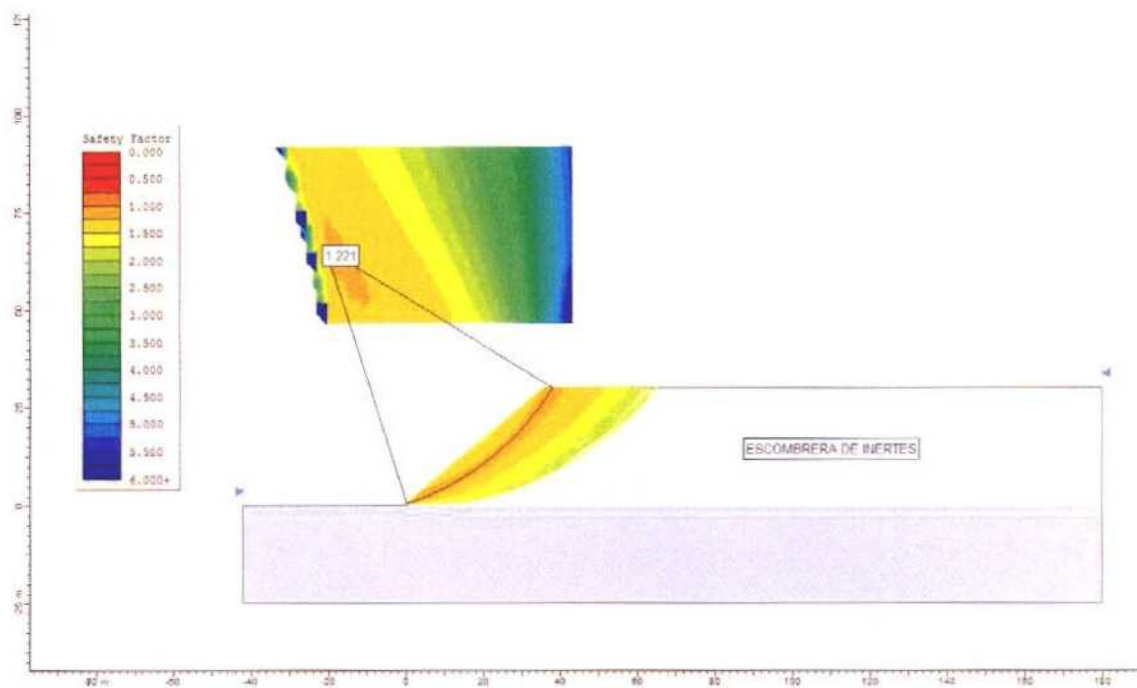


Figura 3.27.- Cálculo de estabilidad efectuado para alturas de 30 m y buzamientos de 40° en condiciones estáticas.

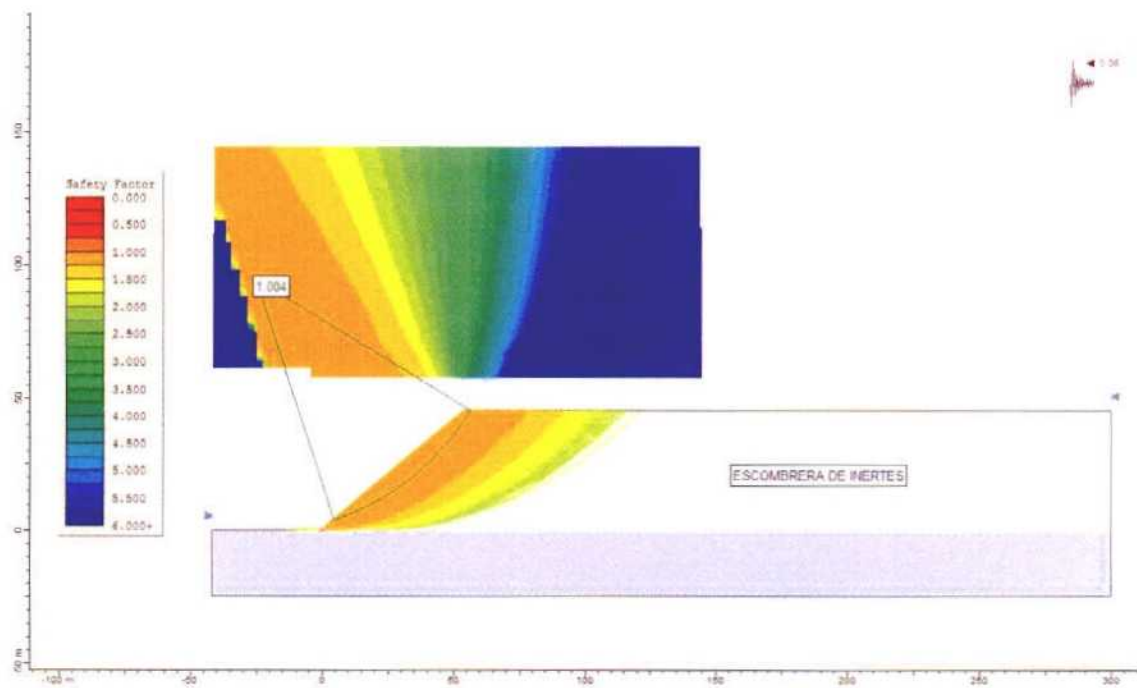


Figura 3.28.- Cálculo de estabilidad efectuado para alturas de 45 m y buzamientos de 40° en condiciones dinámicas.

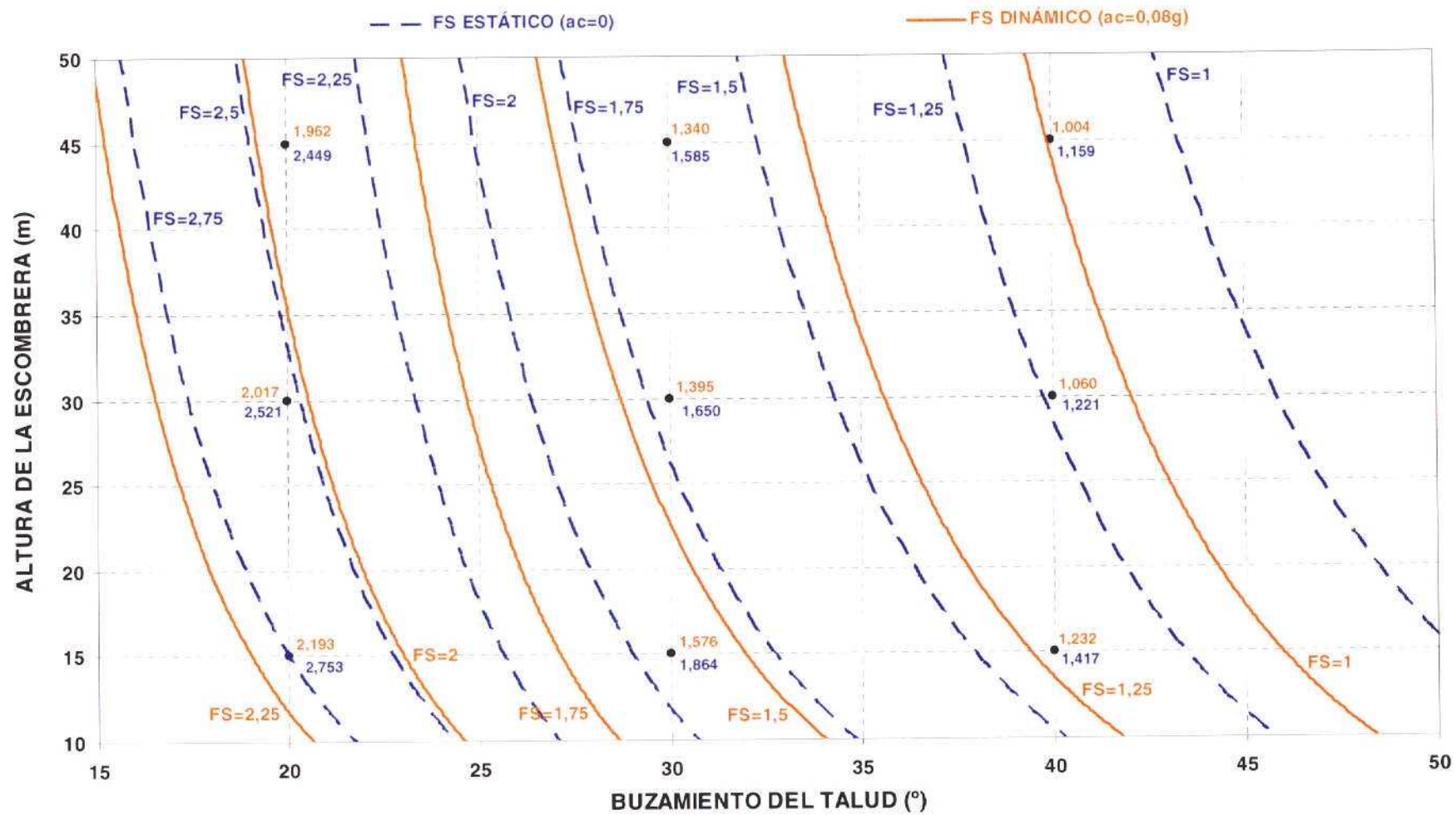


Figura 3.29.- Factores de seguridad estáticos y dinámicos de una escombrera de inertes, sobre terreno horizontal, para distintas geometrías.

- **Terreno horizontal y escombrera de inertes + subproductos**

Los factores de seguridad obtenidos en este caso para distintas alturas de la escombrera y distintos buzamientos se presentan en el **Cuadro 3.7**, para condiciones estáticas y en el **Cuadro 3.8** considerando condiciones dinámicas. En las **Figuras 3.30** y **3.31** se muestran ejemplos de las salidas gráficas de los cálculos.

Cuadro 3.7.- Factores de seguridad estáticos calculados para diversas geometrías de escombreras de inertes + subproductos (Terreno de cemento horizontal).

ESTÁTICO		BUZAMIENTO DE LA ESCOMBRERA		
		20°	30°	40°
ALTURA DE LA ESCOMBRERA (m)	15	2,542	1,746	1,337
	30	2,306	1,519	1,138
	45	2,233	1,447	1,068

Cuadro 3.8.- Factores de seguridad dinámicos calculados para diversas geometrías de escombreras de inertes + subproductos (Terreno de cemento horizontal).

DINÁMICO ( $a_c = 0,08$ g)		BUZAMIENTO DE LA ESCOMBRERA		
		20°	30°	40°
ALTURA DE LA ESCOMBRERA (m)	15	2,026	1,476	1,164
	30	1,846	1,286	0,989
	45	1,790	1,225	0,929

Con el fin de visualizar gráficamente la estabilidad de una escombrera de inertes + subproductos sobre terreno horizontal se ha elaborado la **Figura 3.32**, donde se indica el factor de seguridad estático y dinámico que presenta la escombrera para diversas alturas y buzamientos.

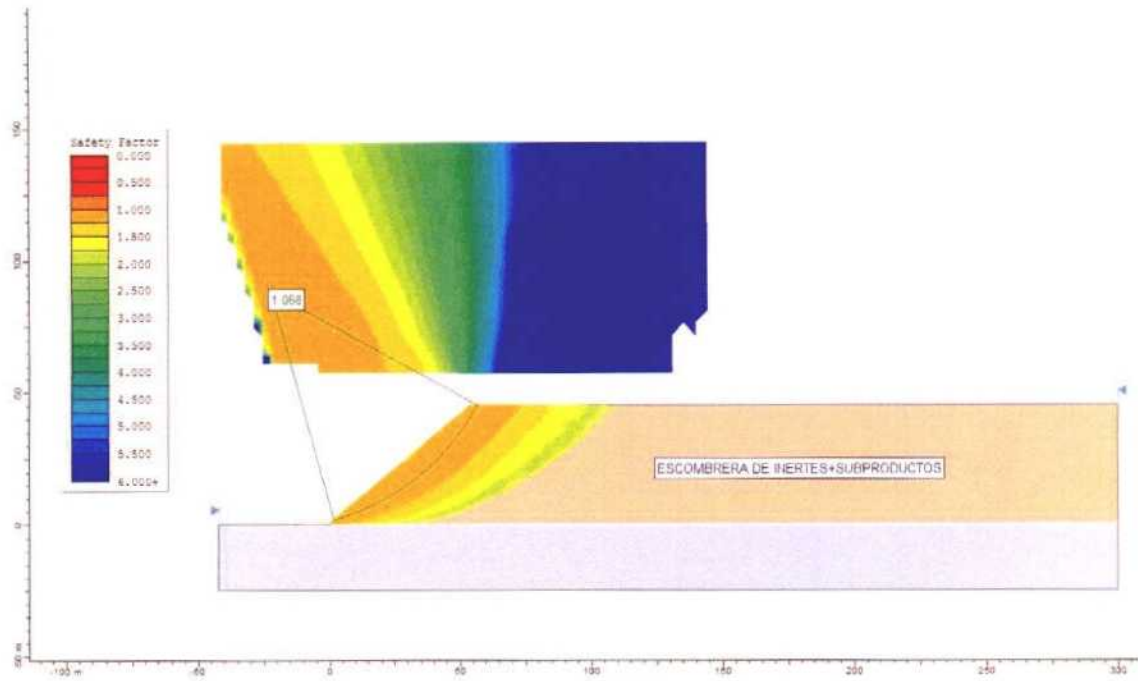


Figura 3.30.- Cálculo de estabilidad efectuado para alturas de 45 m y buzamientos de 40° en condiciones estáticas.

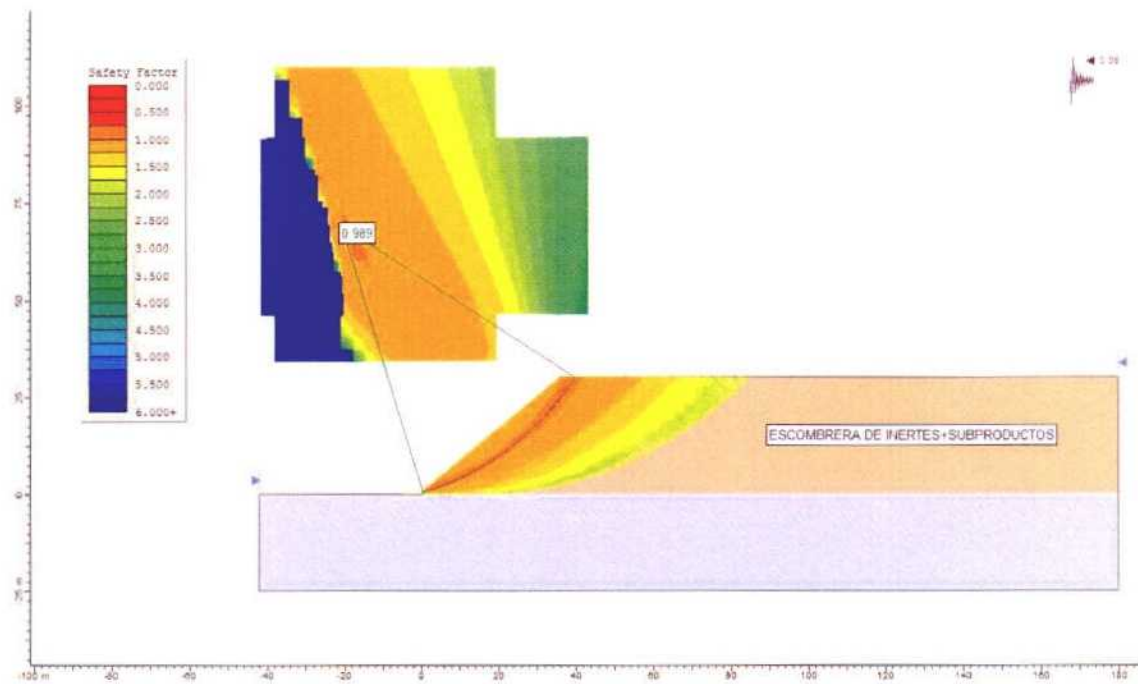


Figura 3.31.- Cálculo de estabilidad efectuado para alturas de 30 m y buzamientos de 40° en condiciones dinámicas.



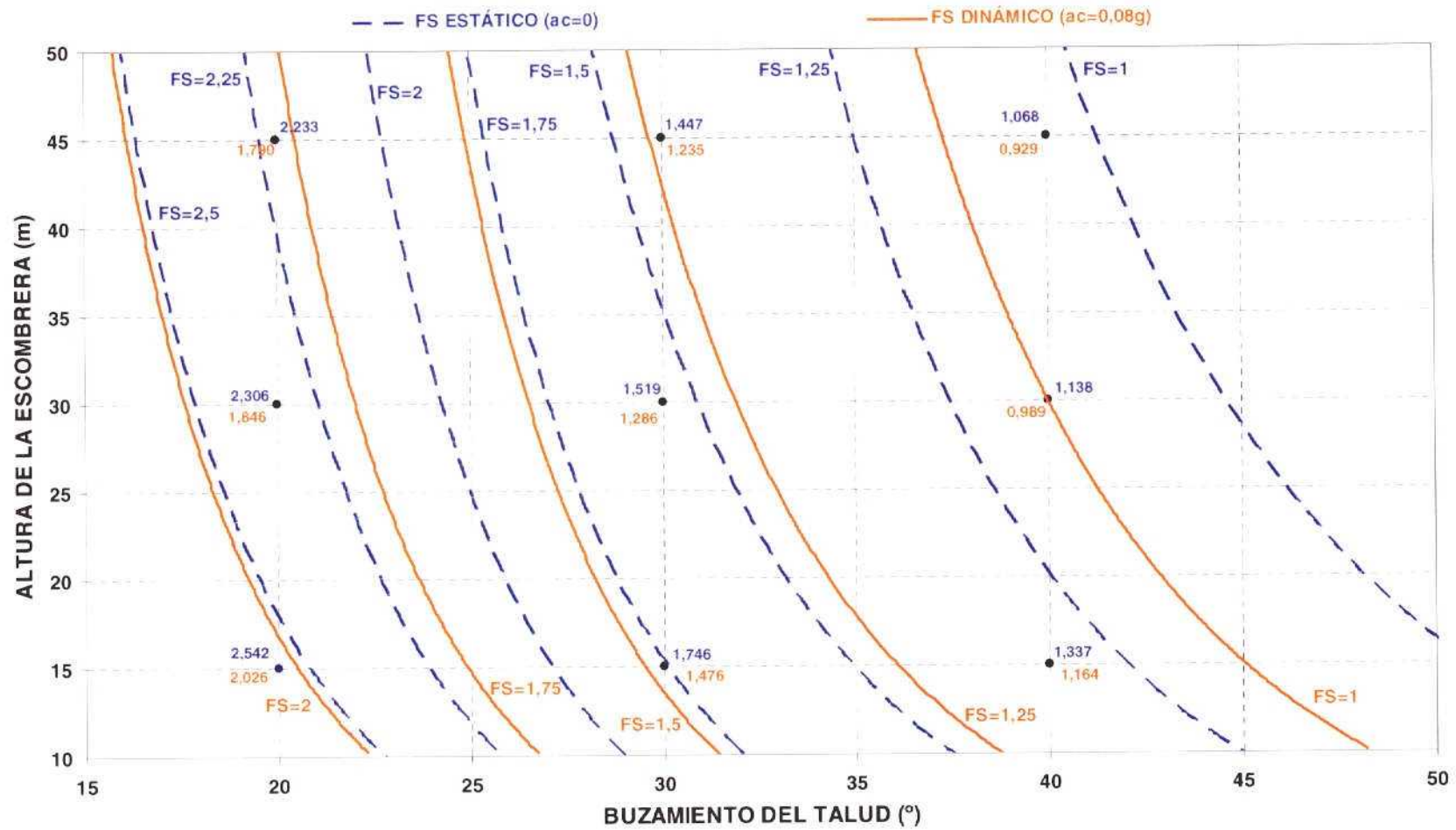


Figura 3.32.- Factores de seguridad, estáticos y dinámicos de una escombrera de inertes + subproductos, sobre terreno horizontal, para distintas geometrías.

- **Terreno inclinado 15° y escombrera de inertes**

Los factores de seguridad obtenidos en este caso para distintas alturas de la escombrera y distintos buzamientos se presentan en el **Cuadro 3.9**, para condiciones estáticas y en el **Cuadro 3.10** considerando condiciones dinámicas. En las **Figuras 3.33** y **3.34** se muestran ejemplos de las salidas gráficas de los cálculos.

Cuadro 3.9.- Factores de seguridad estáticos calculados para diversas geometrías de escombreras de inertes (Terreno de cimiento inclinado 15°).

ESTÁTICO		BUZAMIENTO DE LA ESCOMBRERA		
		25°	35°	45°
ALTURA DE LA ESCOMBRERA (m)	15	2,295	1,622	1,260
	30	2,183	1,409	1,063
	45	1,959	1,326	0,996

Cuadro 3.10.- Factores de seguridad dinámicos calculados para diversas geometrías de escombreras de inertes (Terreno de cimiento inclinado 15°).

DINÁMICO ( $a_c = 0,08 g$ )		BUZAMIENTO DE LA ESCOMBRERA		
		25°	35°	45°
ALTURA DE LA ESCOMBRERA (m)	15	1,908	1,405	1,112
	30	1,808	1,211	0,934
	45	1,617	1,137	0,866

Con el fin de visualizar gráficamente la estabilidad de una escombrera de inertes sobre terreno inclinado 15° se ha elaborado la **Figura 3.35**, donde se indica el factor de seguridad estático y dinámico que presenta la escombrera para diversas alturas y buzamientos.

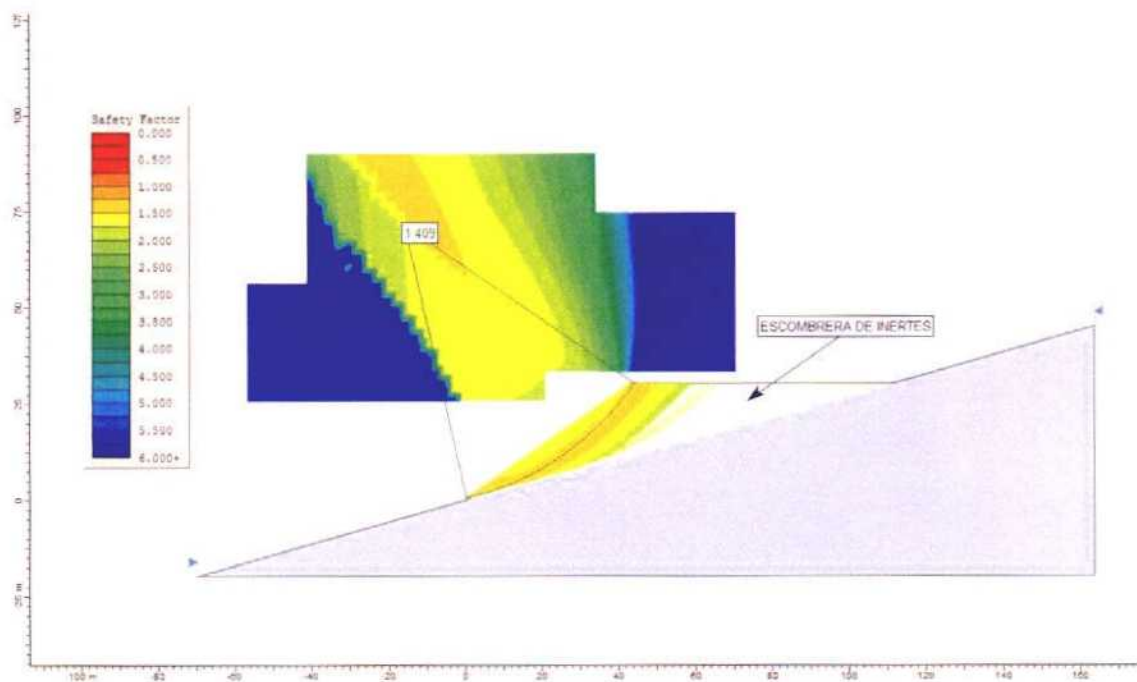


Figura 3.33.- Cálculo de estabilidad efectuado para alturas de 30 m y buzamientos de 35° en condiciones estáticas.

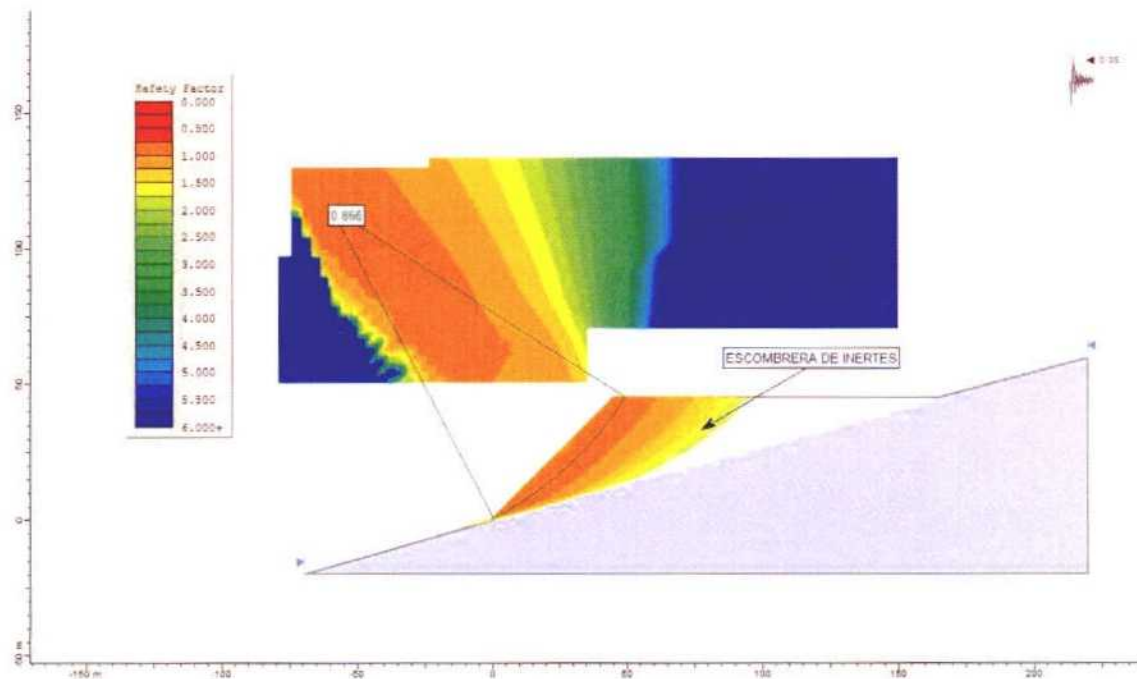


Figura 3.34.- Cálculo de estabilidad efectuado para alturas de 45 m y buzamientos de 45° en condiciones dinámicas.

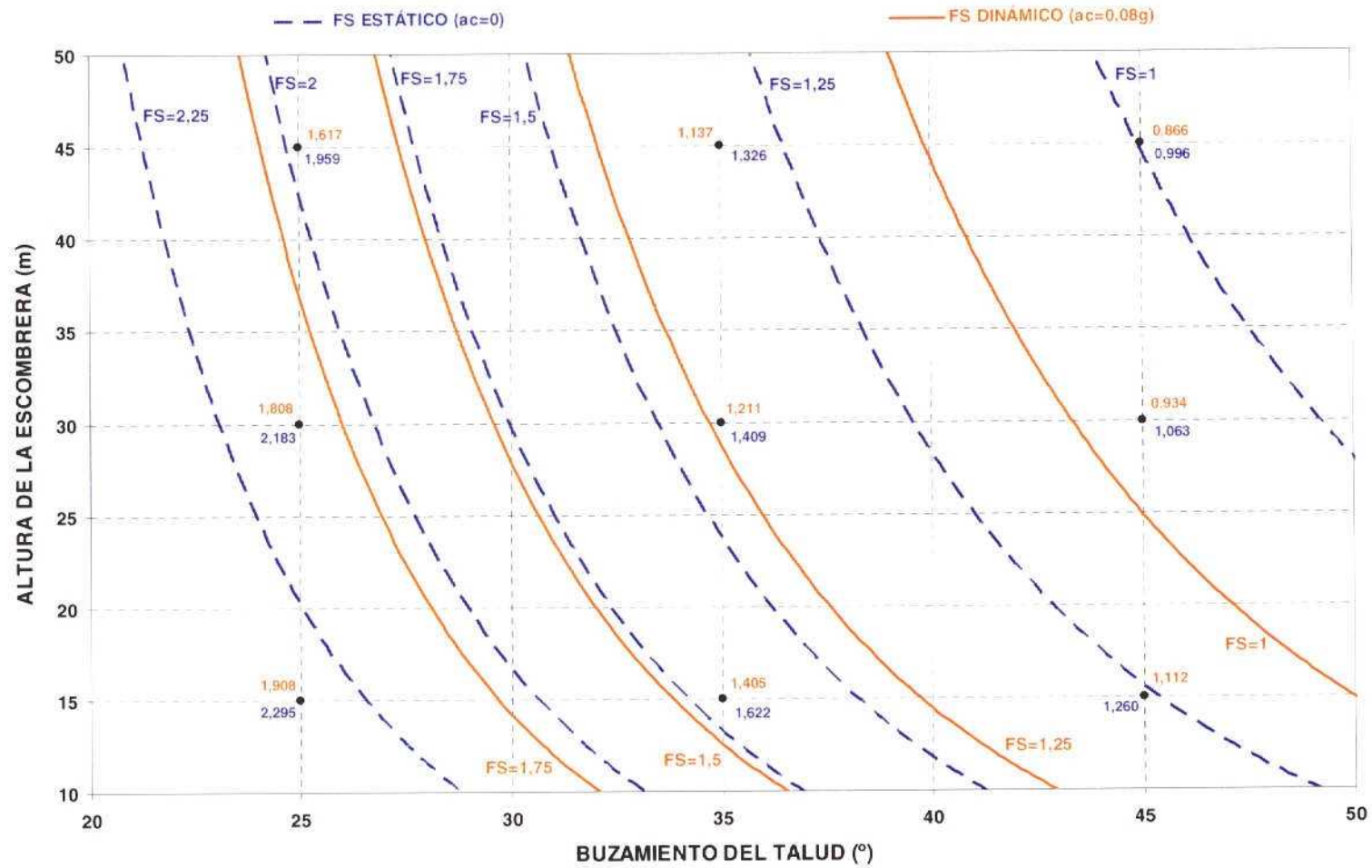


Figura 3.35.- Factores de seguridad, estáticos y dinámicos de una escombrera de inertes, sobre terreno inclinado  $15^\circ$ , para distintas geometrías.

- **Terreno inclinado 15° y escombrera de inertes + subproductos**

Los factores de seguridad obtenidos en este caso para distintas alturas de la escombrera y distintos buzamientos se presentan en el **Cuadro 3.11**, para condiciones estáticas y en el **Cuadro 3.12** considerando condiciones dinámicas. En las **Figuras 3.36** y **3.37** se muestran ejemplos de las salidas gráficas de los cálculos.

Cuadro 3.11.- Factores de seguridad estáticos calculados para diversas geometrías de escombreras de inertes más subproductos (Terreno de cimiento inclinado 15°)

ESTÁTICO		BUZAMIENTO DE LA ESCOMBRERA		
		25°	35°	45°
ALTURA DE LA ESCOMBRERA (m)	15	2,163	1,539	1,206
	30	2,038	1,305	0,997
	45	1,798	1,218	0,992

Cuadro 3.12.- Factores de seguridad dinámicos calculados para diversas geometrías de escombreras de inertes más subproductos (Terreno de cimiento inclinado 15°)

DINÁMICO ( $a_c = 0,08$ g)		BUZAMIENTO DE LA ESCOMBRERA		
		25°	35°	45°
ALTURA DE LA ESCOMBRERA (m)	15	1,800	1,336	1,069
	30	1,692	1,124	0,877
	45	1,486	1,047	0,804

Con el fin de visualizar gráficamente la estabilidad de una escombrera de inertes más subproductos sobre terreno inclinado 15° se ha elaborado la **Figura 3.38**, donde se indica el factor de seguridad estático y dinámico que presenta la escombrera para diversas alturas y buzamientos.

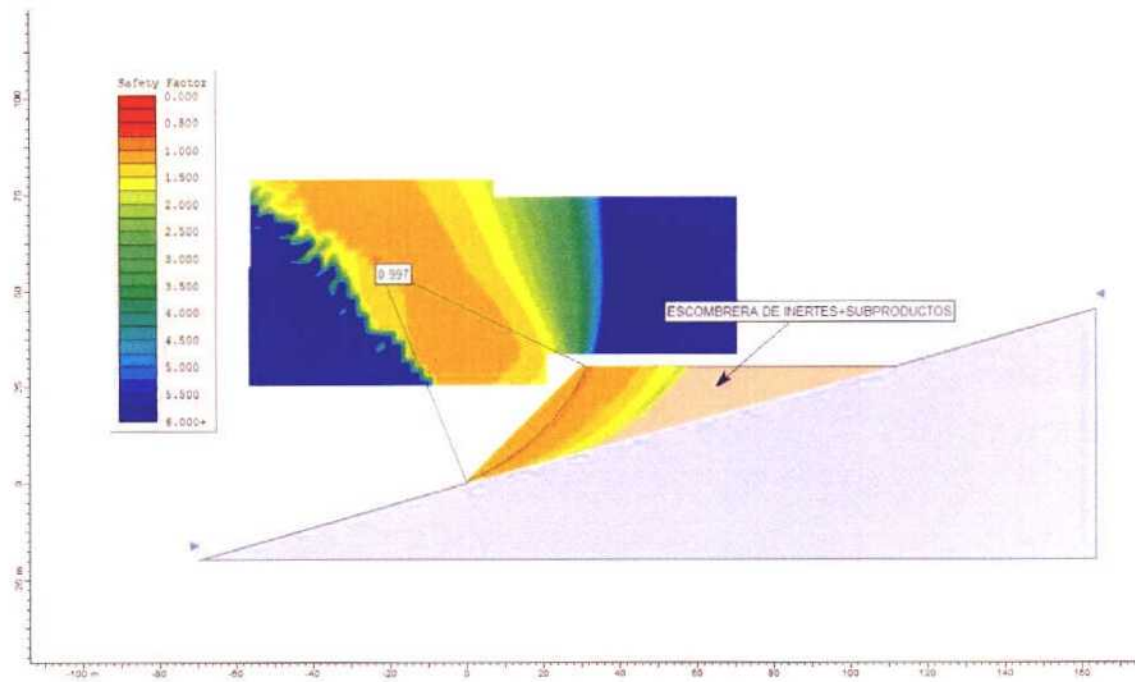


Figura 3.36.- Cálculo de estabilidad efectuado para alturas de 30 m y buzamientos de 45° en condiciones estáticas.

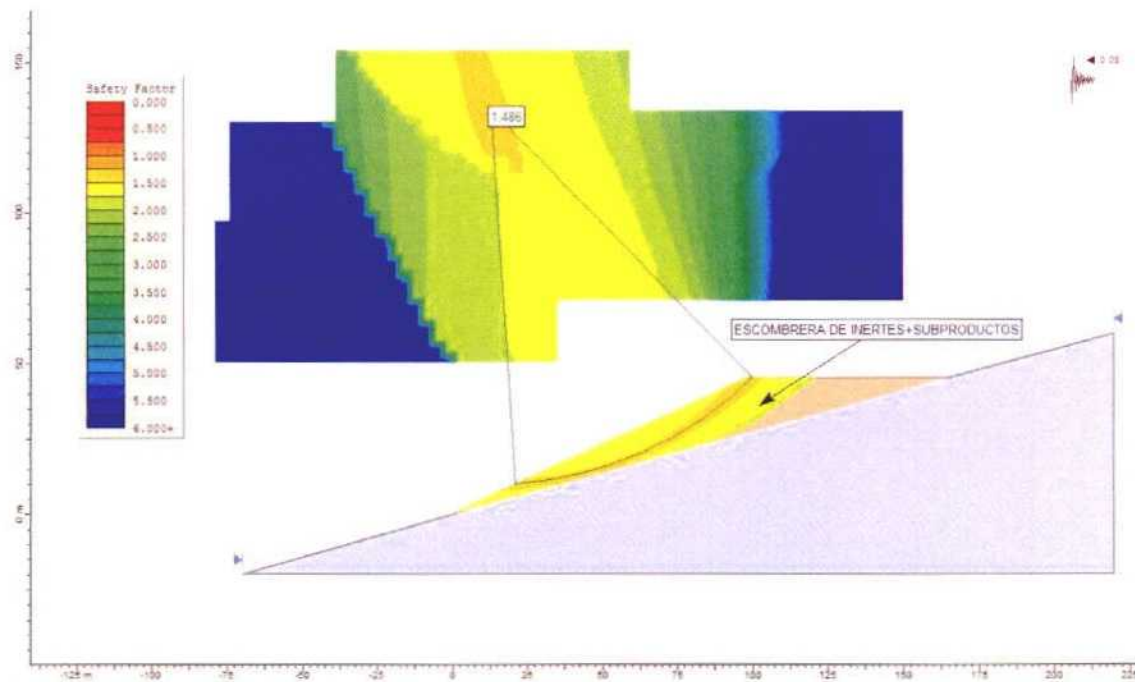


Figura 3.37.- Cálculo de estabilidad efectuado para alturas de 45 m y buzamientos de 25° en condiciones dinámicas.

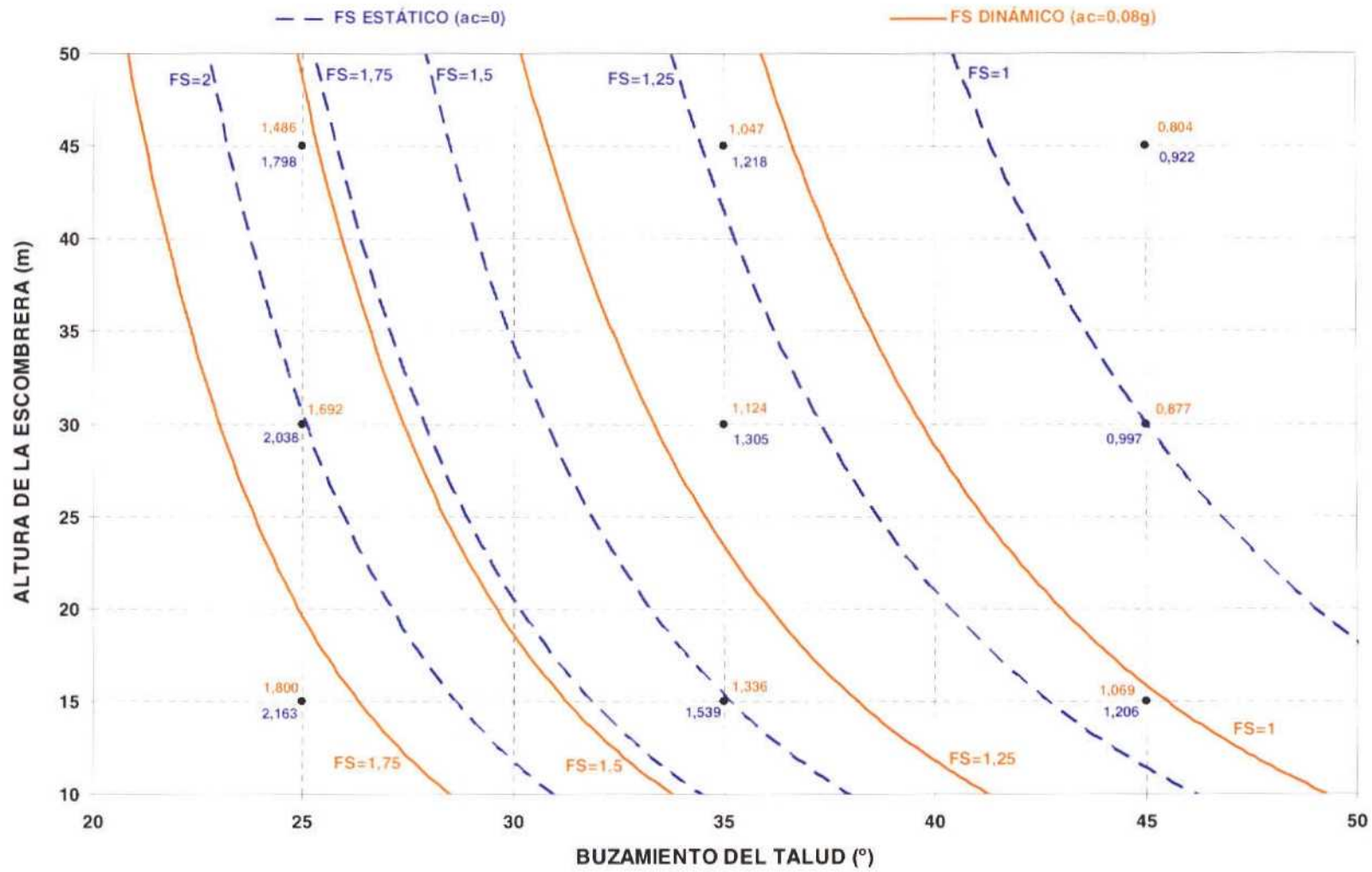


Figura 3.38.- Factores de seguridad estáticos y dinámicos de una escombrera de inertes más subproductos, sobre terreno inclinado 15°, para distintas geometrías.

**e) Terreno inclinado 30° y escombrera de inertes**

Los factores de seguridad obtenidos en este caso para distintas alturas de la escombrera y distintos buzamientos se presentan en el **Cuadro 3.13**, para condiciones estáticas y en el **Cuadro 3.14** considerando condiciones dinámicas. En las **Figuras 3.39** y **3.40** se muestran ejemplos de las salidas gráficas de los cálculos.

Cuadro 3.13.- Factores de seguridad estáticos calculados para diversas geometrías de escombreras de inertes (Terreno de cimiento inclinado 30°)

ESTÁTICO		BUZAMIENTO DE LA ESCOMBRERA		
		35°	40°	45°
ALTURA DE LA ESCOMBRERA (m)	15	2,100	1,706	1,269
	30	1,552	1,256	1,073
	45	1,439	1,163	0,995

Cuadro 3.14.- Factores de seguridad dinámicos calculados para diversas geometrías de escombreras de inertes (Terreno de cimiento 30°)

DINÁMICO ( $a_c = 0,08 g$ )		BUZAMIENTO DE LA ESCOMBRERA		
		35°	40°	45°
ALTURA DE LA ESCOMBRERA (m)	15	1,826	1,502	1,116
	30	1,335	1,090	0,940
	45	1,236	1,007	0,866

Con el fin de visualizar gráficamente la estabilidad de una escombrera de inertes sobre terreno inclinado 30° se ha elaborado la **Figura 3.41**, donde se indica el factor de seguridad estático y dinámico que presenta la escombrera para diversas alturas y buzamientos.



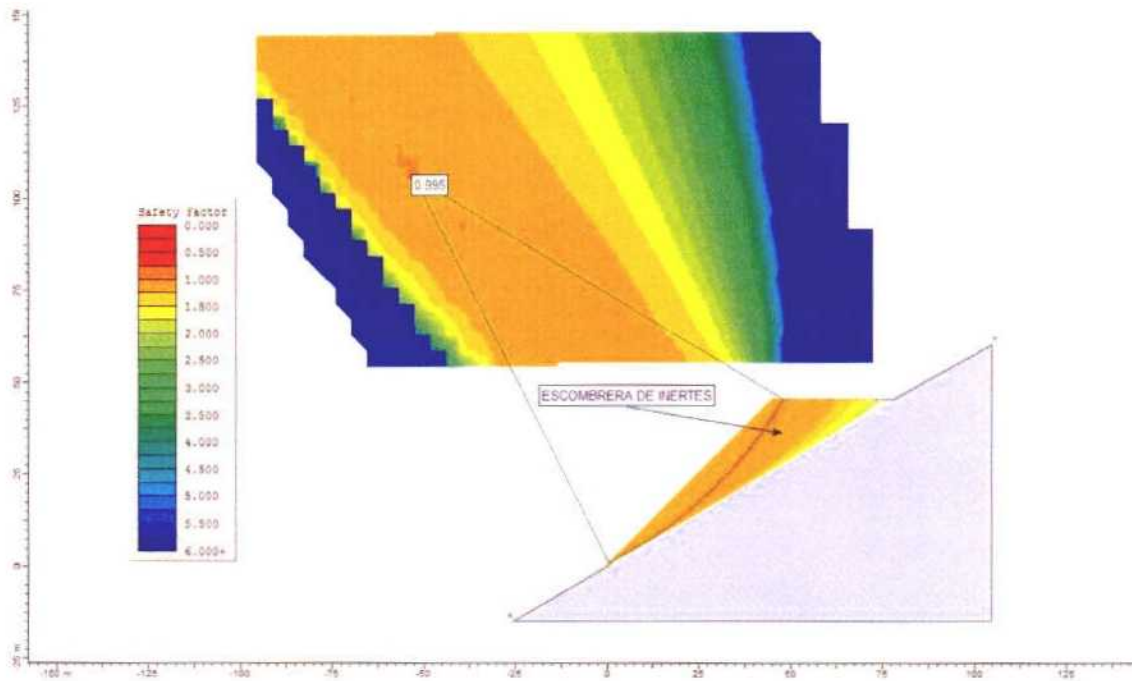


Figura 3.39.- Cálculo de estabilidad efectuado para alturas de 45 m y buzamientos de 45° en condiciones estáticas.

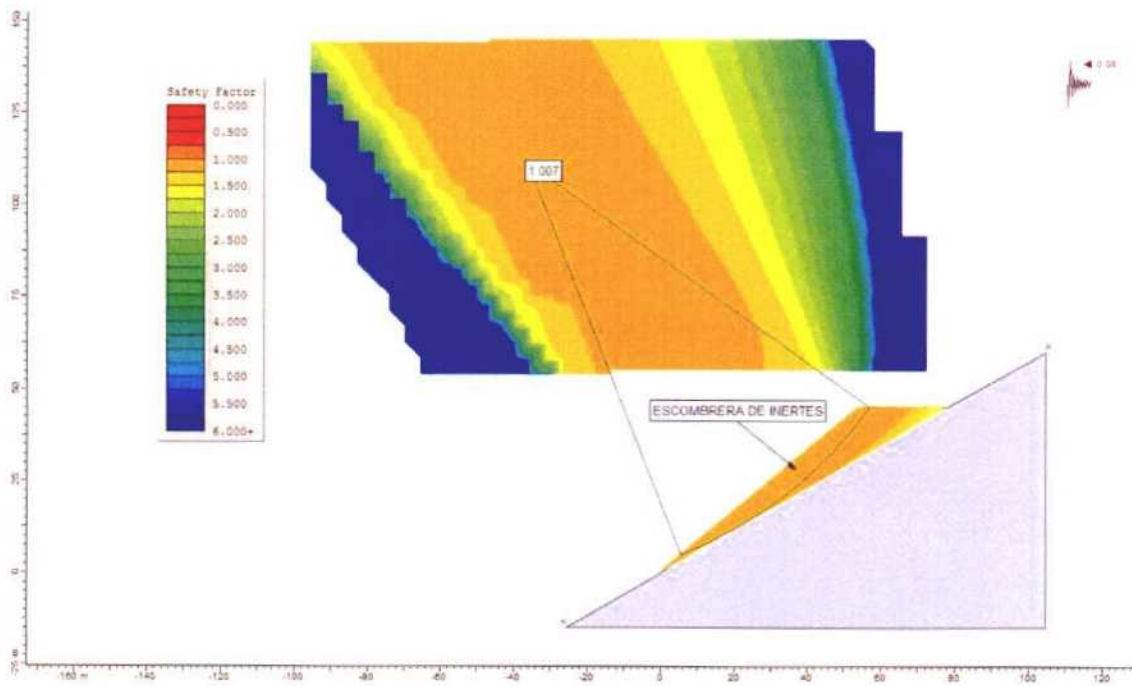


Figura 3.40.- Cálculo de estabilidad efectuado para alturas de 45 m y buzamientos de 40° en condiciones dinámicas.

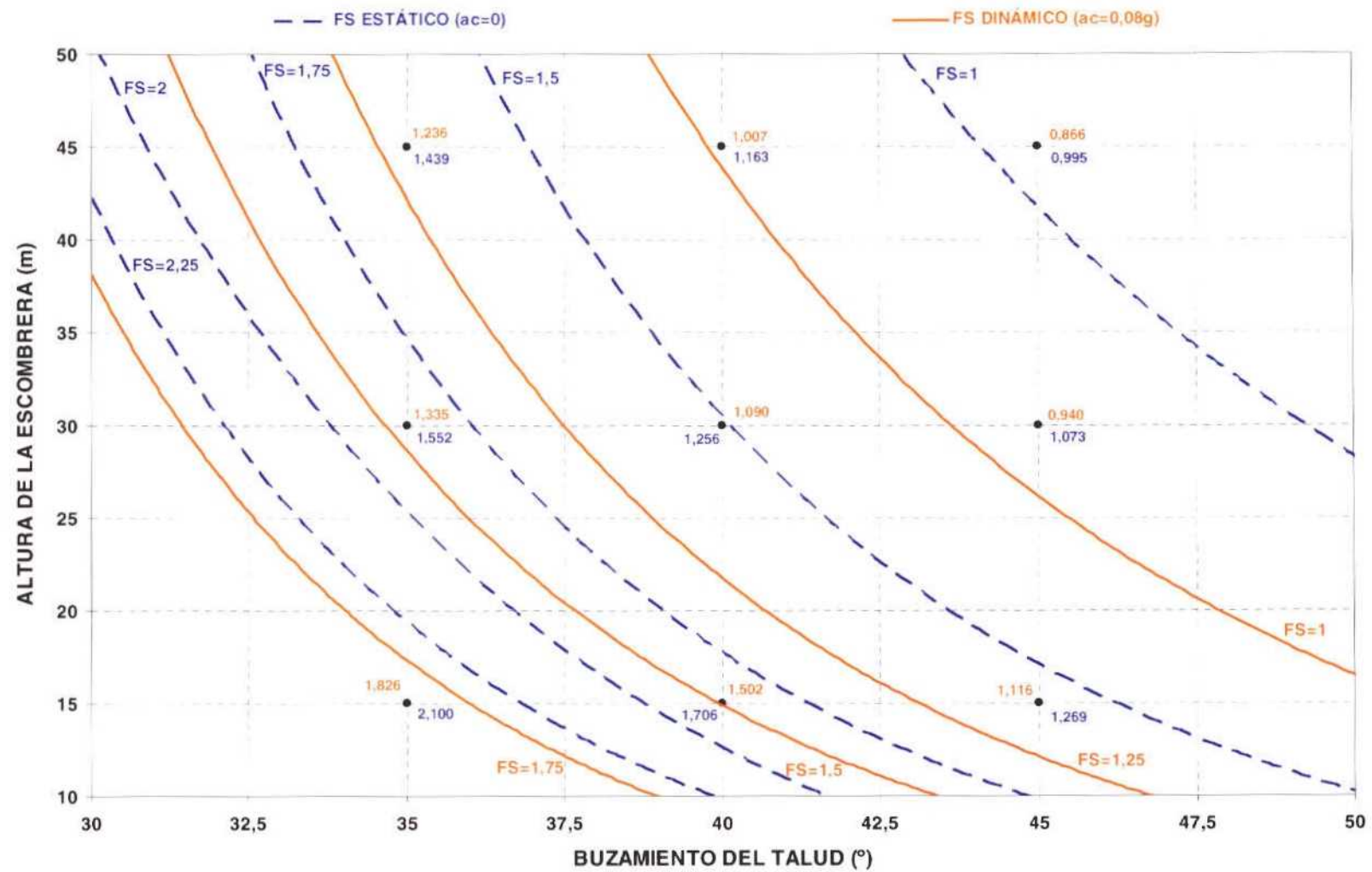


Figura 3.41.- Factores de seguridad estáticos y dinámicos de una escombrera de inertes, sobre terreno inclinado 30°, para distintas geometrías.

- **Terreno inclinado 30° y escombrera de inertes + subproductos**

Los factores de seguridad obtenidos en este caso para distintas alturas de la escombrera y distintos buzamientos se presentan en el **Cuadro 3.15**, para condiciones estáticas y en el **Cuadro 3.16** considerando condiciones dinámicas. En las **Figuras 3.42** y **3.43** se muestran ejemplos de las salidas gráficas de los cálculos.

Cuadro 3.15.- Factores de seguridad estáticos calculados para diversas geometrías de escombreras de inertes + subproductos (Terreno de cimiento inclinado 30°).

ESTÁTICO		BUZAMIENTO DE LA ESCOMBRERA		
		35°	40°	45°
ALTURA DE LA ESCOMBRERA (m)	15	2,060	1,662	1,214
	30	1,464	1,179	1,003
	45	1,347	1,080	0,924

Cuadro 3.16.- Factores de seguridad dinámicos calculados para diversas geometrías de escombreras de inertes + subproductos (Terreno de cimiento inclinado 30°).

DINÁMICO ( $a_c = 0,08$ g)		BUZAMIENTO DE LA ESCOMBRERA		
		35°	40°	45°
ALTURA DE LA ESCOMBRERA (m)	15	1,796	1,460	1,070
	30	1,226	1,024	0,881
	45	1,159	0,940	0,807

Con el fin de visualizar gráficamente la estabilidad de una escombrera de inertes + subproductos sobre terreno inclinado 30° se ha elaborado la **Figura 3.44**, donde se indica el factor de seguridad estático y dinámico que presenta la escombrera para diversas alturas y buzamientos.

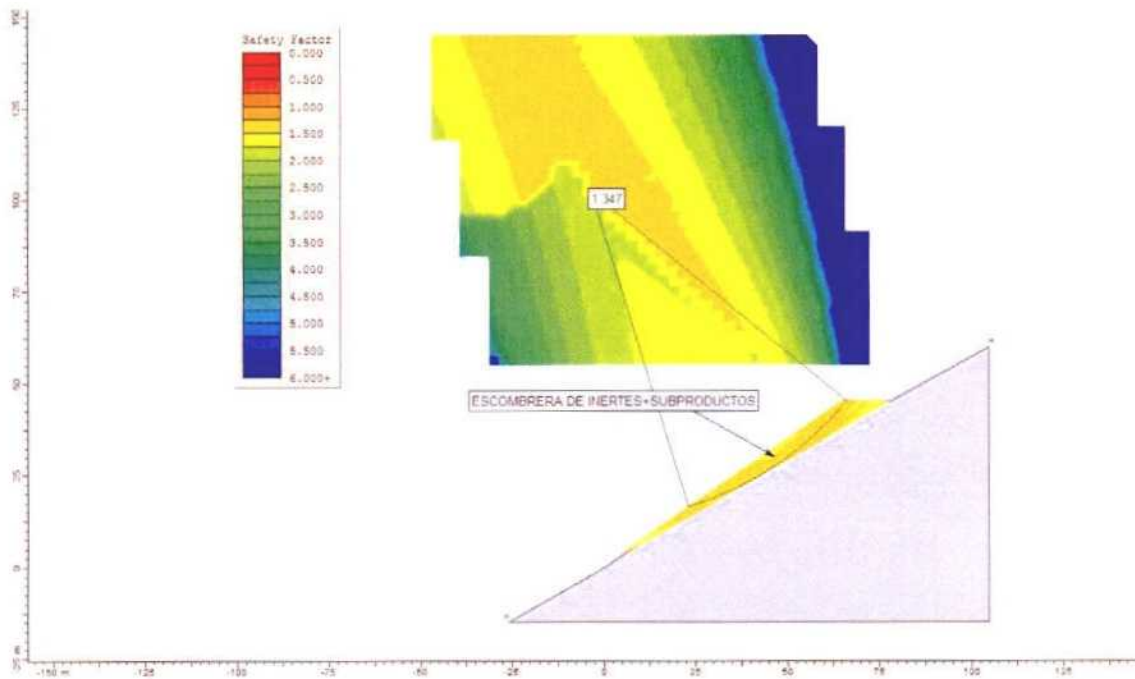


Figura 3.42.- Cálculo de estabilidad efectuado para alturas de 45 m y buzamientos de 35° en condiciones estáticas.

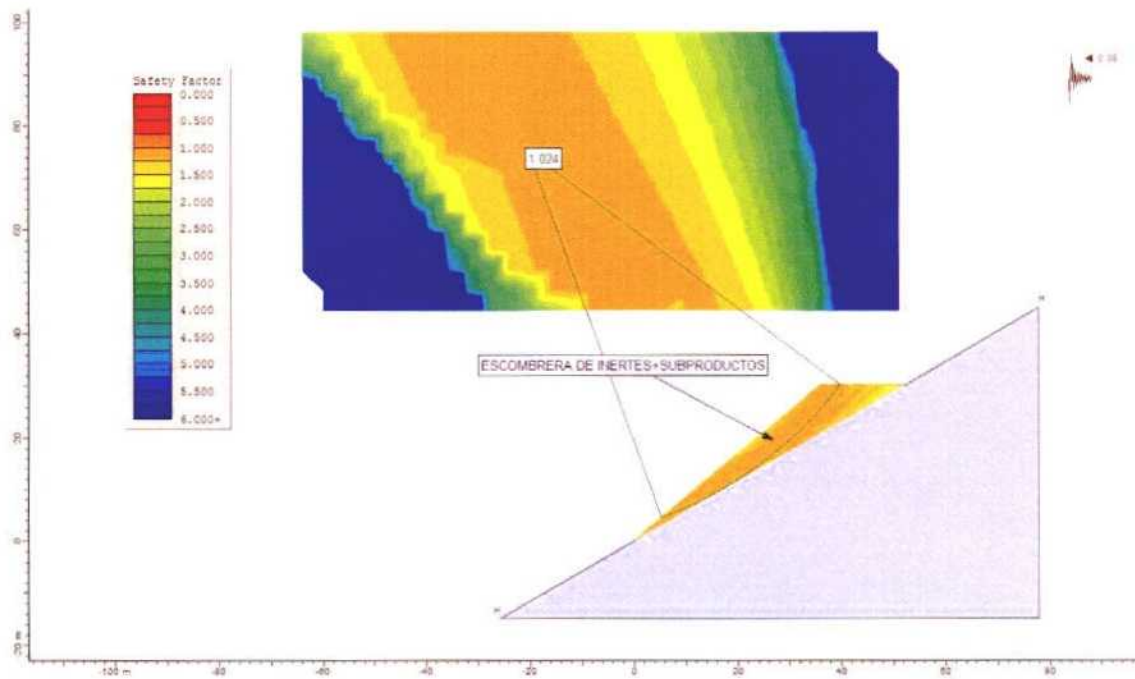


Figura 3.43.- Cálculo de estabilidad efectuado para alturas de 30 m y buzamientos de 40° en condiciones dinámicas.

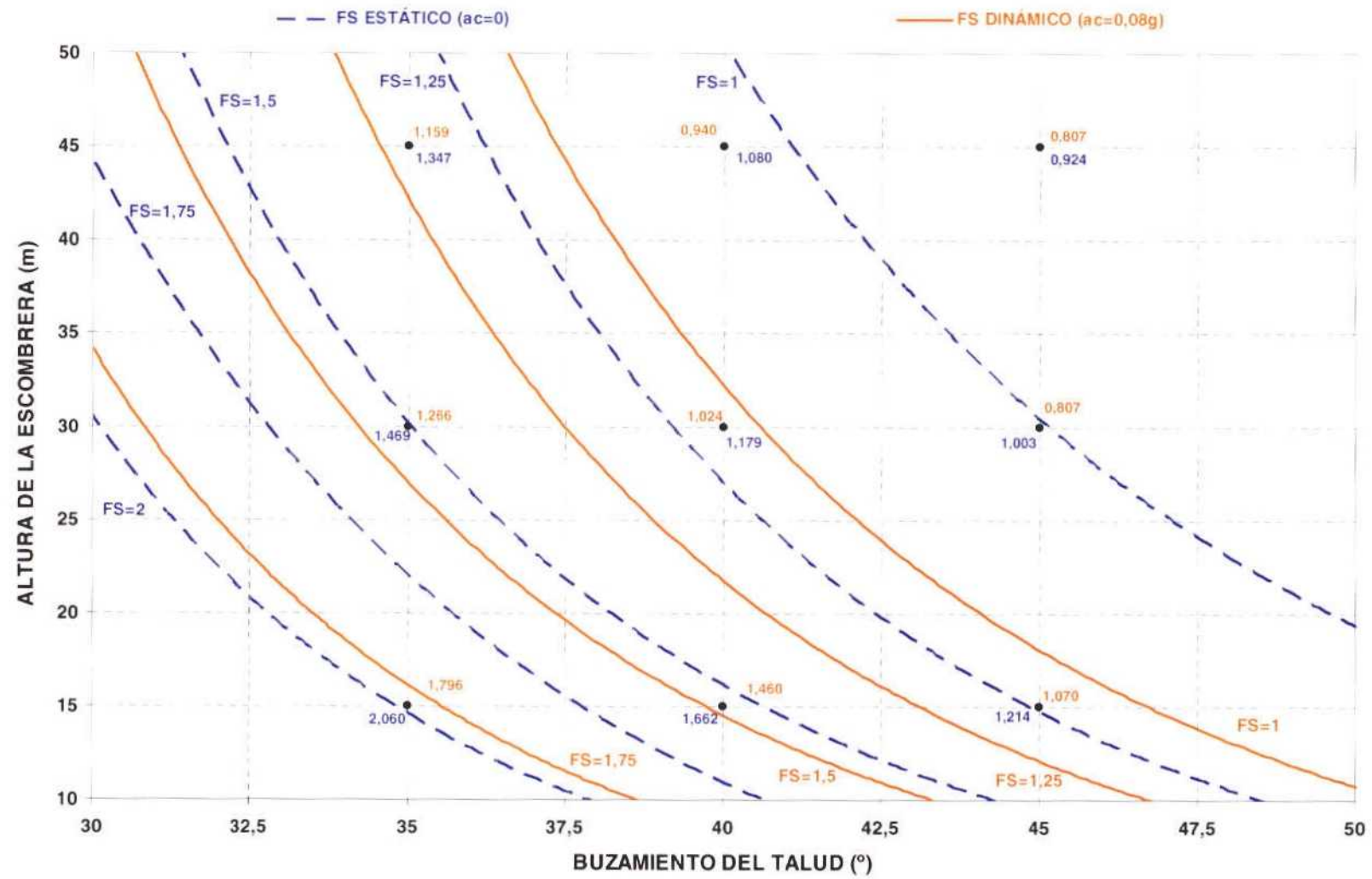


Figura 3.44.- Factores de seguridad estáticos y dinámicos de una escombrera de inertes más subproductos, sobre terreno inclinado 30°, para distintas geometrías.

### **3.2.2.- Análisis tensodeformacional de la estabilidad de las escombreras**

En el presente apartado se analiza la estabilidad de las escombreras mediante métodos tensodeformacionales, tanto en condiciones estáticas como en condiciones dinámicas.

Hay que señalar que el proceso de cálculo es un proceso iterativo que partiendo de unas soluciones establecidas inicialmente, permite afinarlas hasta que se considera que la solución es satisfactoria y ajustada a la realidad.

#### **a) Metodología de cálculo en condiciones estáticas**

A continuación se presentan los fundamentos, los métodos de cálculo y las hipótesis simplificativas que se han utilizado en el análisis de la estabilidad de las escombreras.

- Modelización numérica en elastoplasticidad

Para el cálculo en elastoplasticidad de la estabilidad de las escombreras se ha recurrido a la simulación numérica. El modelo utilizado para su resolución es el programa FLAC por el Método de Diferencias Finitas, ya comentado en el punto 3.1.2. del presente informe.

- Condiciones de contorno

En toda simulación numérica, no basada en elementos infinitos, es necesario establecer unos límites al modelo. De esta manera se asegura que el efecto de los bordes del mismo no distorsione las zonas que son objeto de la modelización. El establecimiento de dichos límites en el modelo obliga a fijar unas condiciones en ellos, bien de desplazamiento, bien de presiones.

En general, en problemas en que el modelo llega a la superficie, es preferible definir las condiciones de contorno fijando los desplazamientos.

Frecuentemente, se realiza en primer lugar una pasada de asentamiento para establecer el estado de tensiones "in situ" en todos los elementos del modelo. En este caso suele aceptarse que el estado tensional se defina por:

$$\sigma_{yy} = \rho \cdot g \cdot h$$

donde:

$\sigma_{yy}$  : Tensión vertical

$\rho$ : Densidad del terreno

g : Aceleración de la gravedad

h : Altura de las tierras

$\sigma_{xx} = \sigma_{zz} = K_0 \sigma_{yy}$  : Tensiones horizontales.

$K_0$  : Coeficiente de reparto de tensiones, que en el caso de tensiones elásticas viene dado por:

$$K_0 = \frac{\nu}{1-\nu}$$

siendo  $\nu$  el coeficiente de Poisson.

En los modelos realizados, el coeficiente de reparto de tensiones adoptado ha sido de  $K_0 = 1$ , considerado representativo del contexto geotécnico de la zona.

En el caso de la modelización de las escombreras, la influencia de los contornos del modelo es limitada, al producirse los movimientos mayoritarios en la escombrera y no en el terreno de soporte.

- Propiedades del terreno

En el presente apartado se presentan las propiedades del terreno que se han utilizado en el cálculo con el programa FLAC. Estas propiedades han sido justificadas en el apartado 3.2.1 y se muestran en el **Cuadro 3.17**.

Cuadro 3.17.- Propiedades del terreno consideradas para el cálculo.

	<b>c</b> (MPa)	$\phi$ (°)	<b>E</b> (MPa)	<b><math>\nu</math></b>	<b><math>\rho</math></b> (t/m <sup>3</sup> )
Terreno de apoyo	0.5	40	5000	0,25	2,5
Escombrera de inertes	0.01	37	150	0.35	2.2
Escombrera de inertes más subproductos	0.01	34	120	0.35	2.0

- Modelo geomecánico

El modelo geométrico de cálculo se ha realizado para alturas de escombrera de 45 m con buzamientos de 35°, 37° y 40°, considerando además escombreras compuestas únicamente por inertes y escombreras compuestas por inertes + subproductos, en ambos casos sobre terrenos inclinados 30°.

En la **Figura 3.45** se muestra el modelo de cálculo de la escombrera formada por inertes + subproductos con 45 m de altura y una inclinación de talud de 37°. Abarca 192 m en horizontal y 110 m en vertical, discretizándose un total de 2.000 elementos.

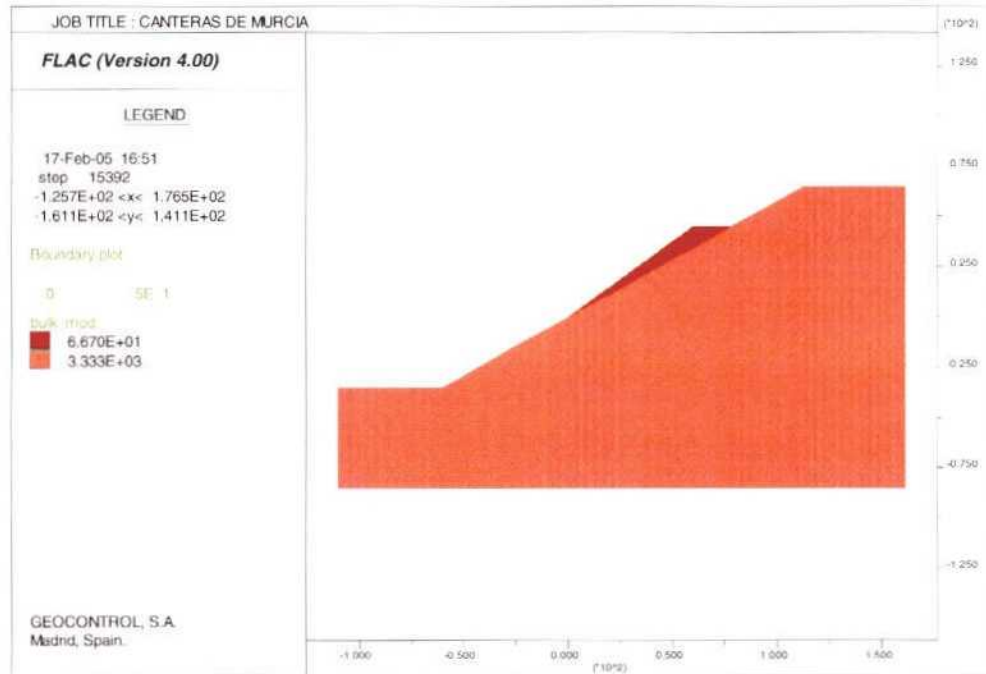


Figura 3.45.- Modelo empleado para los cálculos de la escombrera con buzamiento de 37° (Altura de escombrera de 45 m, e inclinación del terreno de 30°).

La secuencia de cálculo utilizada ha sido la siguiente:

- Fase previa de cálculo para ajustar el estado tensional en el modelo, de acuerdo al coeficiente de reparto de tensiones escogido.
- Colocación de la escombrera.

#### b) Metodología de cálculo en condiciones dinámicas

En el apartado se simula un sismo una vez estabilizada la escombrera en condiciones estáticas.

Las características de los sismos vienen definidas por la Norma Sismorresistente NCSE-02 (como se muestra en el apartado 2.3. del presente informe), considerándose una aceleración de cálculo tal que  $a_c = 0,08$  g representativa de un terremoto de 5,5 de magnitud Richter (aplicable en las Sierras de La Puerta, Burete y Quipar) y una aceleración de cálculo tal que  $a_c = 0,012$  g representativa de terremotos de 6,5 de magnitud en la escala Richter (aplicable en la Sierra de Almírez).

Para contrastar los valores recomendados por la Norma se ha realizado una recopilación de los datos del reciente terremoto de Mula, acaecido el pasado 29 de Enero de 2.005.



En la **Figura 3.46** se muestra la ubicación, magnitud y tensor del momento sísmico del terremoto de Mula, y en la **Figura 3.47** el Acelerograma generado por el sismo. La información anterior ha sido obtenida del Instituto Geográfico Nacional.



Figura 3.46.- Ubicación, magnitud y tensor del Momento Sísmico del terremoto de Mula. (Instituto Geográfico Nacional, 2005).

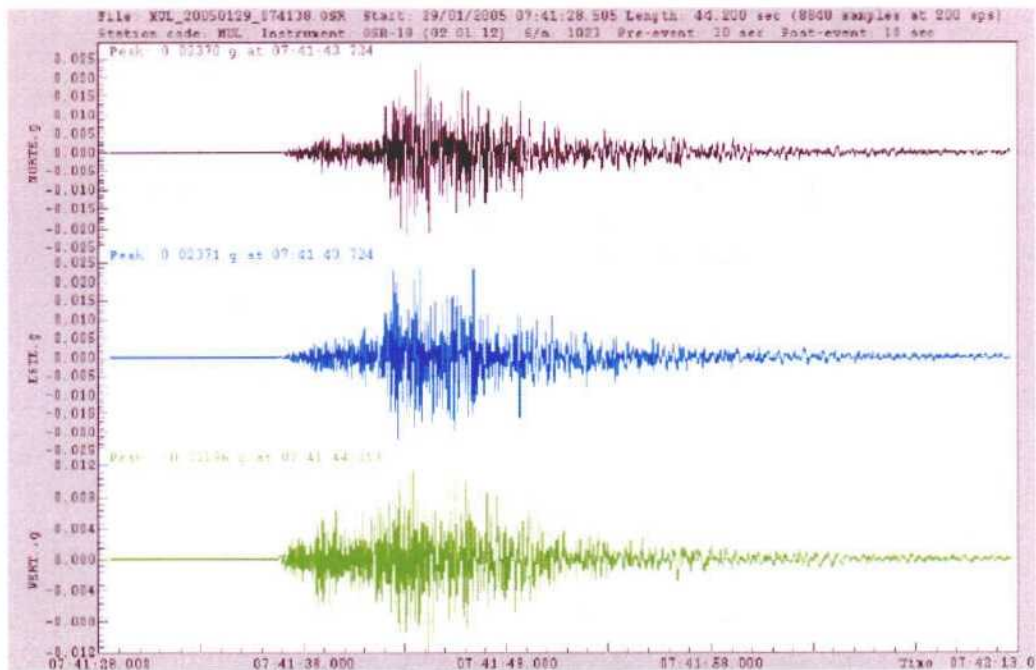


Figura 3.47.- Acelerograma del terremoto de Mula del 29 de Enero de 2005. (Instituto Geográfico Nacional, 2005).

La magnitud del terremoto de Mula fue de 4,6 en la escala de Richter, presentando una duración de 44,2 segundos, intensidades inferiores a las recomendadas para el cálculo en condiciones dinámicas en la zona.

- Aplicación de cargas sísmicas

El cálculo en condiciones sísmicas se ha efectuado para el sismo pésimo, definido, según lo comentado anteriormente, por una aceleración de cálculo tal que  $a_c = 0,12 \text{ g}$  (6,5 de magnitud en la escala Richter).

En estas condiciones, y según lo expuesto en el apartado 3.1.2, se obtiene un periodo predominante de 0,22 s (frecuencia predominante de 3,33 Hz).

En la **Figura 3.48** se muestra el acelerograma de proyecto utilizado en el cálculo.

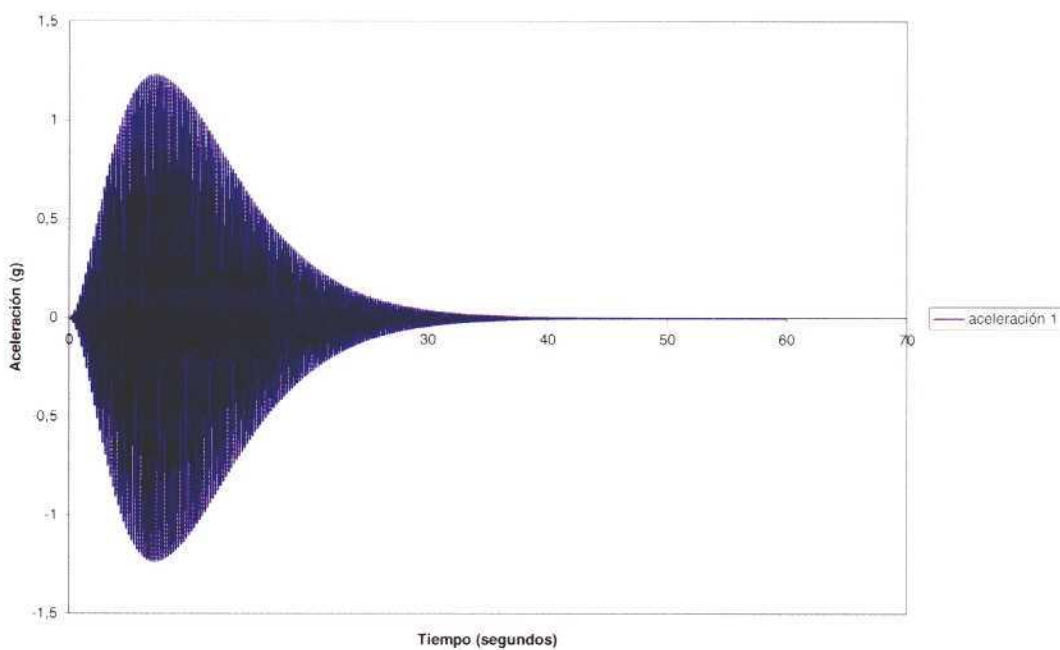


Figura 3.48.-Representación gráfica del acelerograma de proyecto para un sismo de 0,12 g y magnitud Richter 6,5.

### c) Resultados obtenidos en condiciones estáticas

El cálculo se ha efectuado considerando una altura de escombrera de 45 m y terreno de cimentación inclinado 30°, variándose el buzamiento de la escombrera (35°, 37° y 40°) y su composición.

- Resultados en condiciones estáticas para la escombrera de 35° formada por inertes

En la **Figura 3.49** se muestran los desplazamientos horizontales máximos de una escombrera de 35° formada por inertes. El factor de seguridad calculado en este caso es de 1,24 y los desplazamientos horizontales máximos de 3 mm.

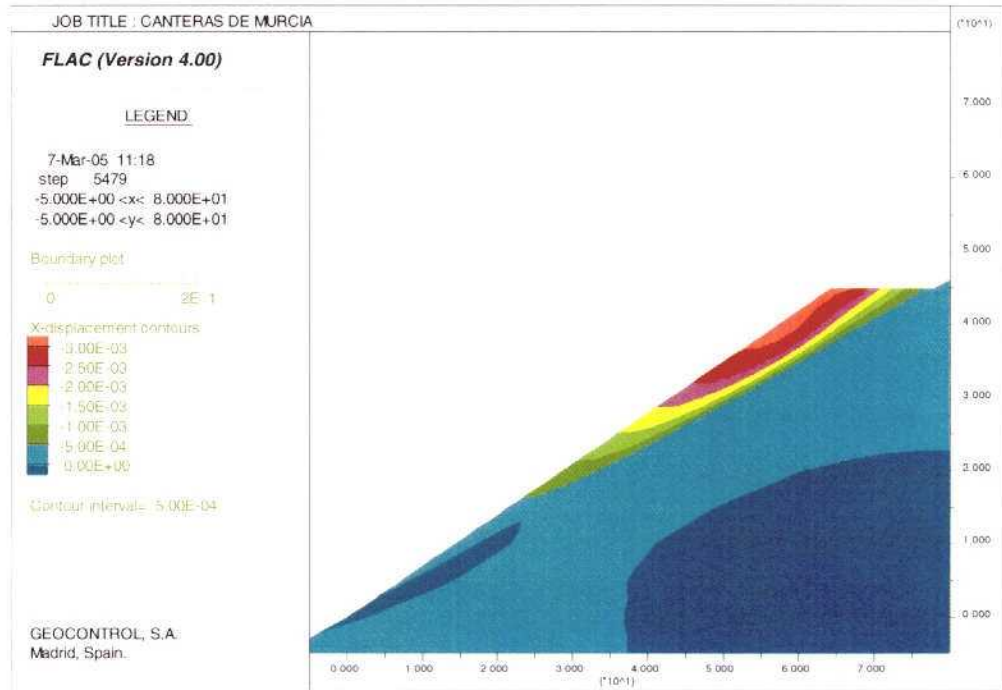


Figura 3.49.- Desplazamiento horizontal máximo de una escombrera de 35° formada por inertes.

En la **Figura 3.50** se muestran las deformaciones cortantes máximas generadas en una escombrera de 35° formada por inertes.

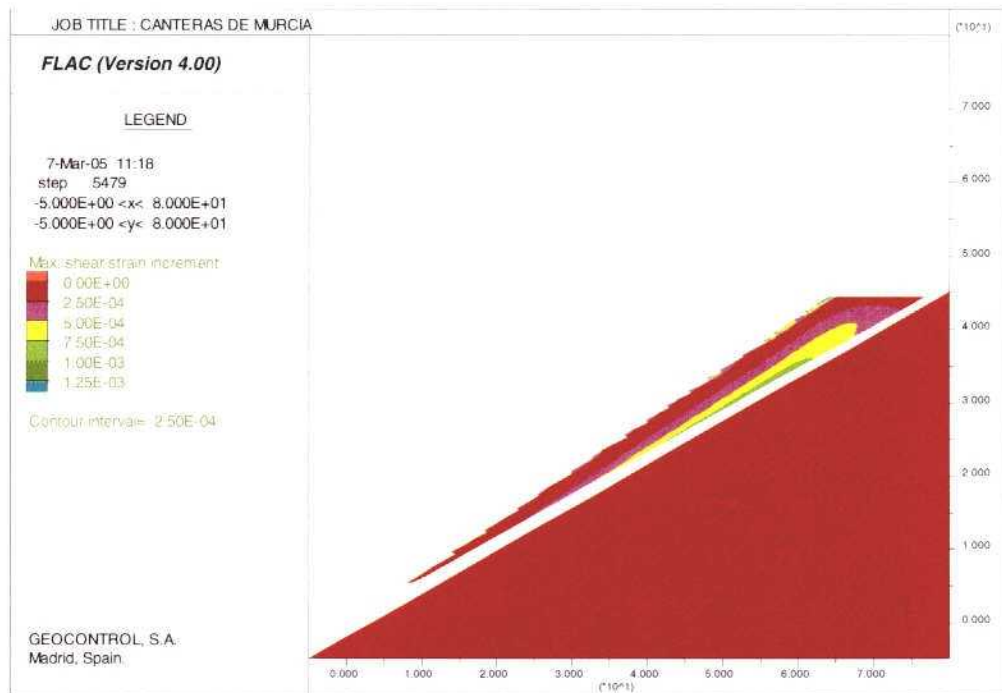


Figura 3.50.- Deformación cortante máxima de una escombrera de 35° formada por inertes.

- Resultados en condiciones estáticas para la escombrera formada por inertes + subproductos

En la **Figura 3.51** se muestran los desplazamientos horizontales máximos de una escombrera de 35° formada por inertes + subproductos. El factor de seguridad calculado en este caso es de 1,17 y los desplazamientos horizontales máximos se limitan a 8 mm.

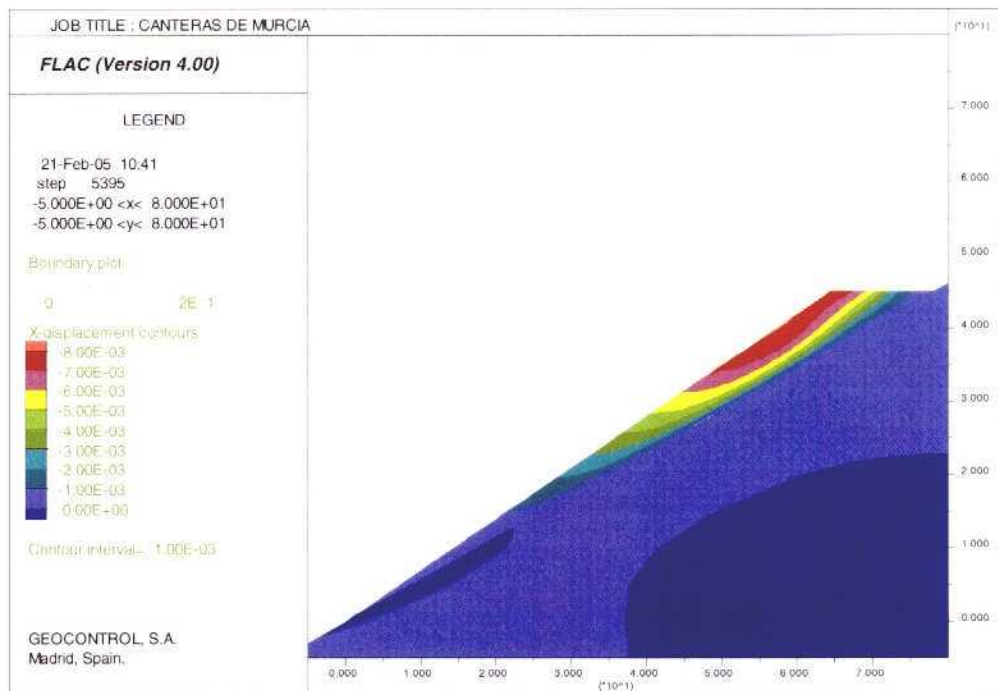


Figura 3.51.- Desplazamiento horizontal máximo de una escombrera de 35° formada por inertes + subproductos.

En la **Figura 3.52** se observan las deformaciones cortantes máximas producidas en una escombrera de 35° formada por inertes + subproductos.

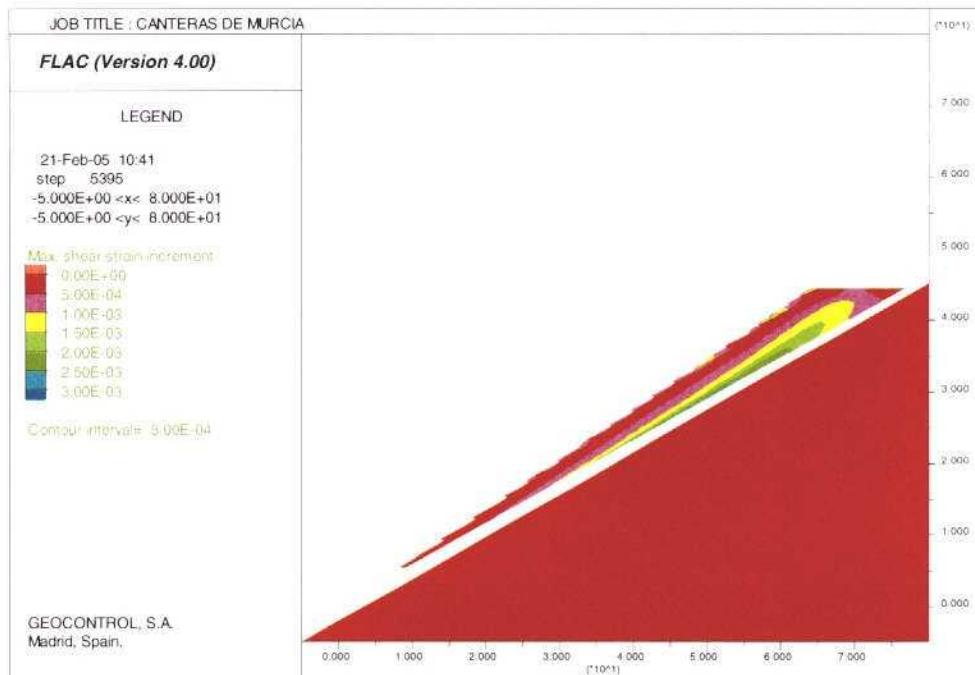


Figura 3.52.- Deformación cortante máxima de una escombrera de 35° formada por inertes + subproductos.

- Resultados en condiciones estáticas para la escombrera de 37° formada por inertes

En la **Figura 3.53** se muestran los desplazamientos horizontales máximos de una escombrera de 37° formada por inertes. El factor de seguridad calculado en este caso es de 1,12, generándose desplazamientos horizontales máximos de 6 mm.

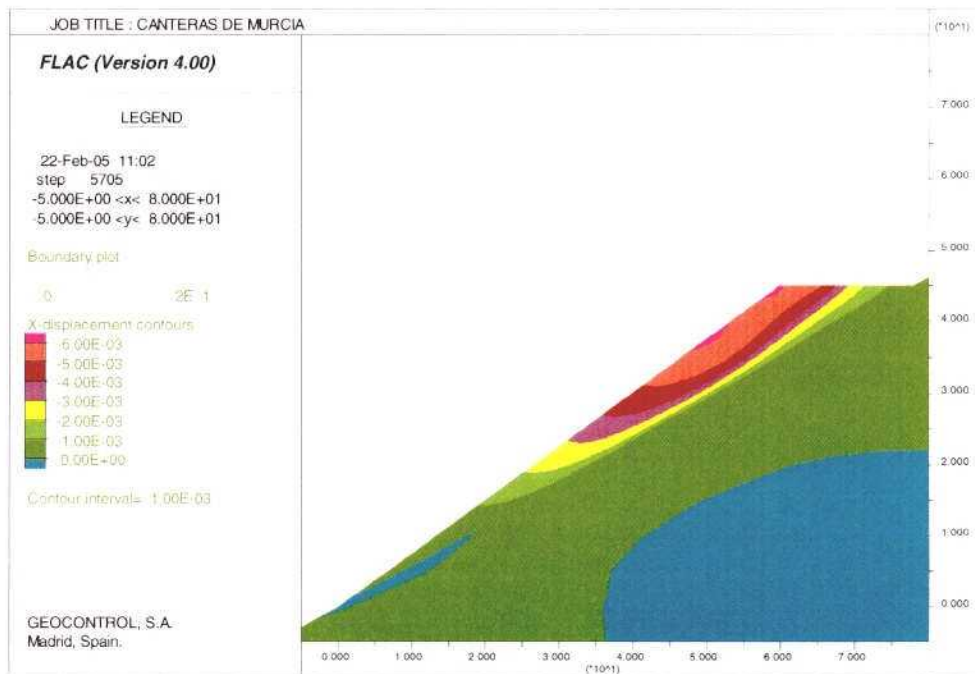


Figura 3.53.- Desplazamiento horizontal máximo de una escombrera de 37° formada por inertes.

En la **Figura 3.54** se muestran las deformaciones cortantes máximas generadas en una escombrera de 37° formada por inertes.

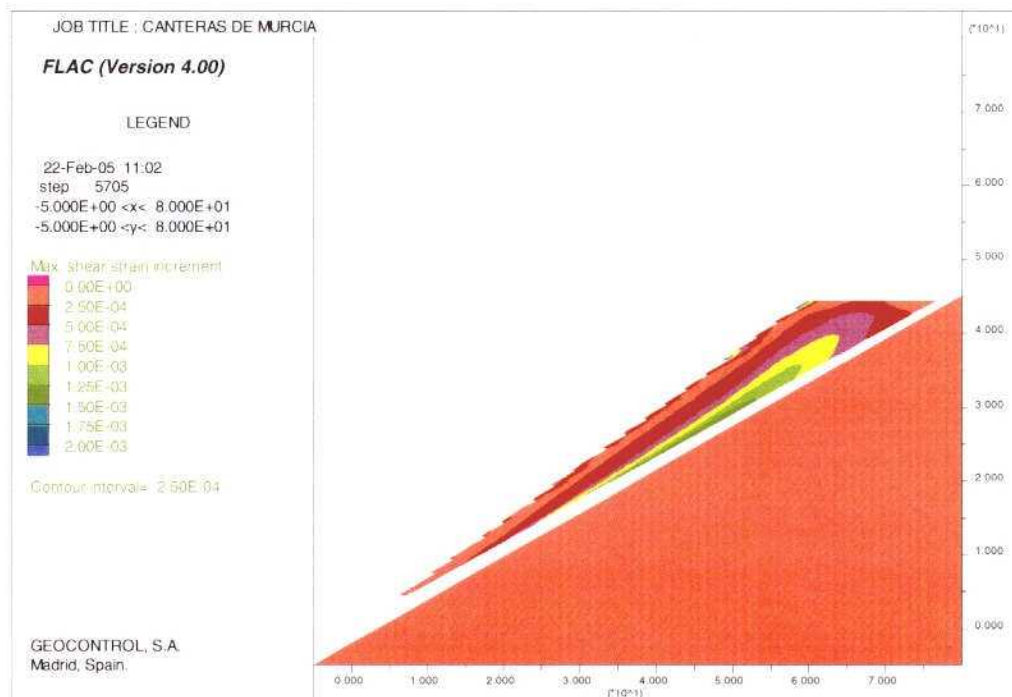


Figura 3.54.- Deformación cortante máxima en una escombrera de 37° formada por inertes.

- Resultados en condiciones estáticas para la escombrera de 37° formada por inertes más subproductos

En la **Figura 3.55** se muestran los desplazamientos horizontales máximos producidos en una escombrera de 37° compuesta por inertes + subproductos. El factor de seguridad obtenido es de 1,05, que resulta un valor estable, aunque está próximo al equilibrio estricto, y los desplazamientos horizontales máximos alcanzan los 17,5 mm.

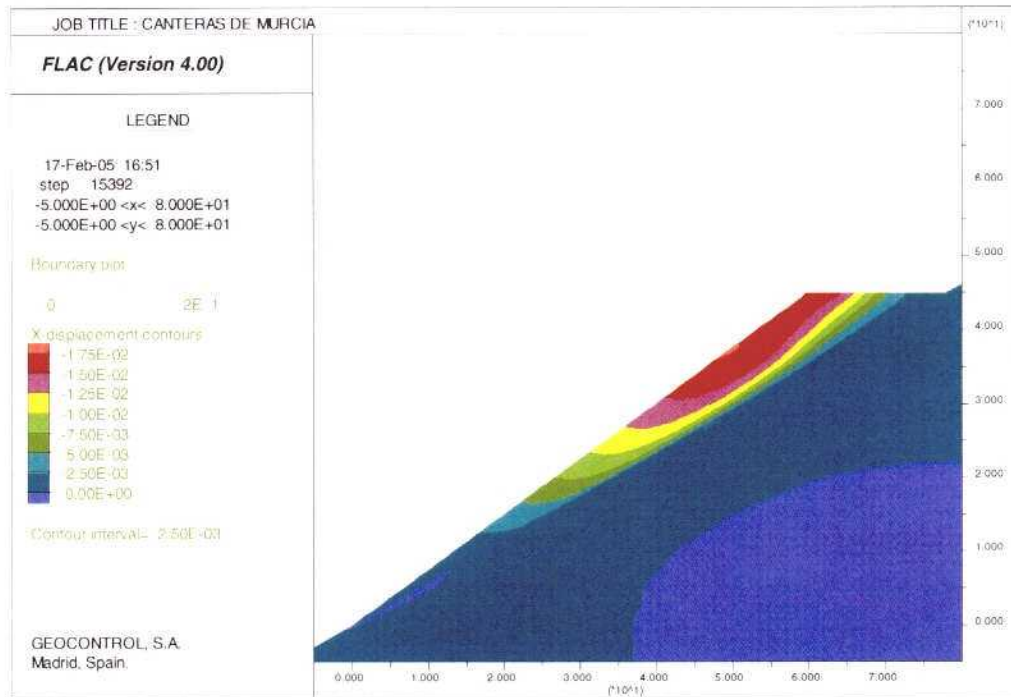


Figura 3.55.- Desplazamiento horizontal máximo de una escombrera de 37° formada por inertes + subproductos.

En la **Figura 3.56** se presentan las deformaciones cortantes máximas generadas en una escombrera de 37° formada por inertes + subproductos.

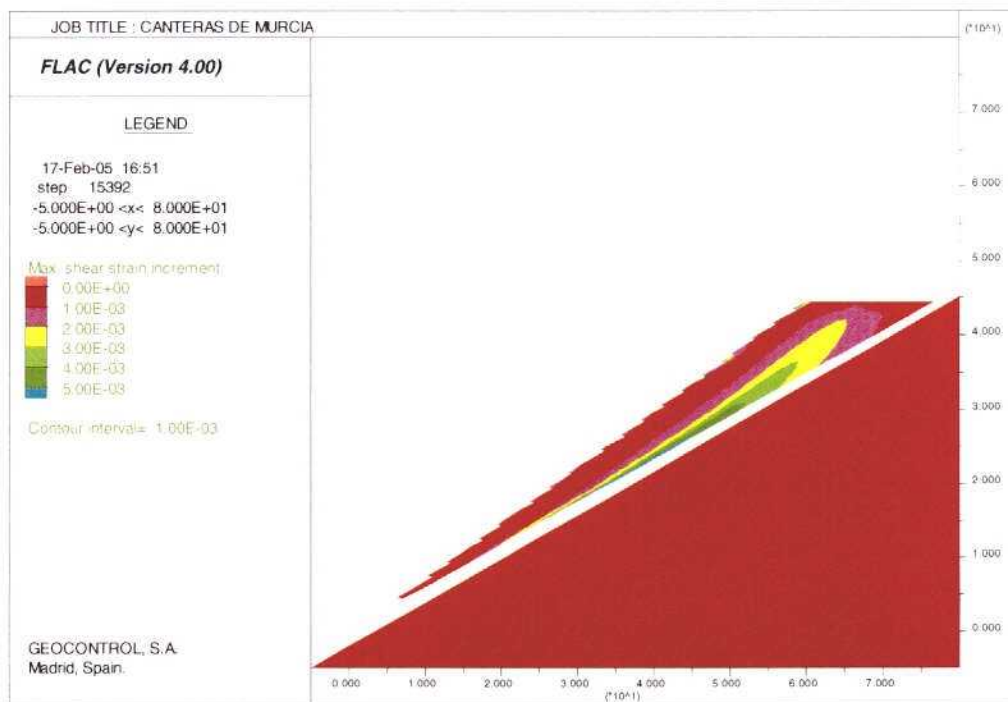


Figura 3.56.- Deformación cortante máxima en una escombrera de 37° formada por inertes + subproductos.

A modo de resumen se presenta el **Cuadro 3.18** donde se muestran los resultados obtenidos en los cálculos tensodeformacionales realizados en una escombrera de 45 m de altura sobre un terreno inclinado 30°.

Cuadro 3.18.- Factores de seguridad y desplazamientos máximos horizontales para distintas geometrías y composiciones de escombreras de 45 m de altura, sobre terreno inclinado 30° en condiciones estáticas.

ESCOBRERA	BUZAMIENTO DE 35°	BUZAMIENTO DE 37°	BUZAMIENTO DE 40°
Escombrera de Inertes	F.S. = 1,24 d.m.h.= 3 mm	F.S. = 1,12 d.m.h.= 6 mm	F.S. = 1,01 d.m.h.= 100 mm
Escombrera de Inertes + Subproductos	F.S. = 1,17 d.m.h.= 8 mm	F.S. = 1,05 d.m.h.= 17,5 mm	F.S. = 0,92 d.m.h.= Rotura

d.m.h.: desplazamiento máximo horizontal.

Como se muestra en el cuadro anterior, los factores de seguridad obtenidos disminuyen, lógicamente, con el aumento del buzamiento de la escombrera y con la disminución de la calidad del material que la compone.

Para factores de seguridad similares, aunque con distintas geometrías, los desplazamientos máximos horizontales son mayores en las escombreras de Inertes + Subproductos, de acuerdo con su mayor deformabilidad.

#### d) Resultados obtenidos en condiciones dinámicas

Para el estudio de estabilidad en condiciones dinámicas se ha analizado una escombrera compuesta por inertes + subproductos con buzamientos de 37° y altura de 45 m, sobre un terreno inclinado 30°, que se sitúa, en condiciones estáticas, próxima al equilibrio estricto (F.S.= 1,05).

Como se ha comentado anteriormente el sismo pésimo aplicado se caracteriza por una aceleración de cálculo tal que  $a_c = 0,12$  g, una magnitud 6,5 en la escala de Richter y una duración de 60 segundos.

En la **Figura 3.57** se muestran los desplazamientos horizontales máximos producidos en la escombrera tras la aplicación del sismo, que alcanzan los 70 cm (en condiciones estáticas los desplazamientos máximos horizontales son inferiores a 2 cm).



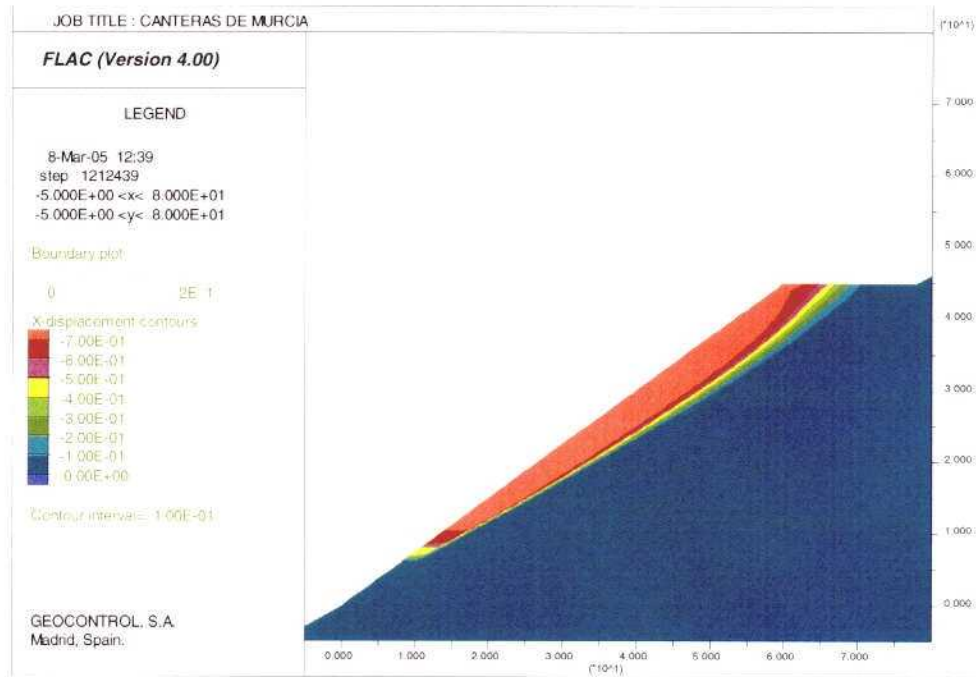


Figura 3.57.- Desplazamientos horizontales máximos alcanzados por la escombrera de inertes + subproductos con 37° tras la aplicación del sismo con  $a_c = 0,12 g$ .

En la **Figura 3.58** se muestran los desplazamientos verticales máximos alcanzados tras la aplicación del sismo, que alcanzan valores de 60 cm, y en la **Figura 3.59** las deformaciones cortantes máximas.

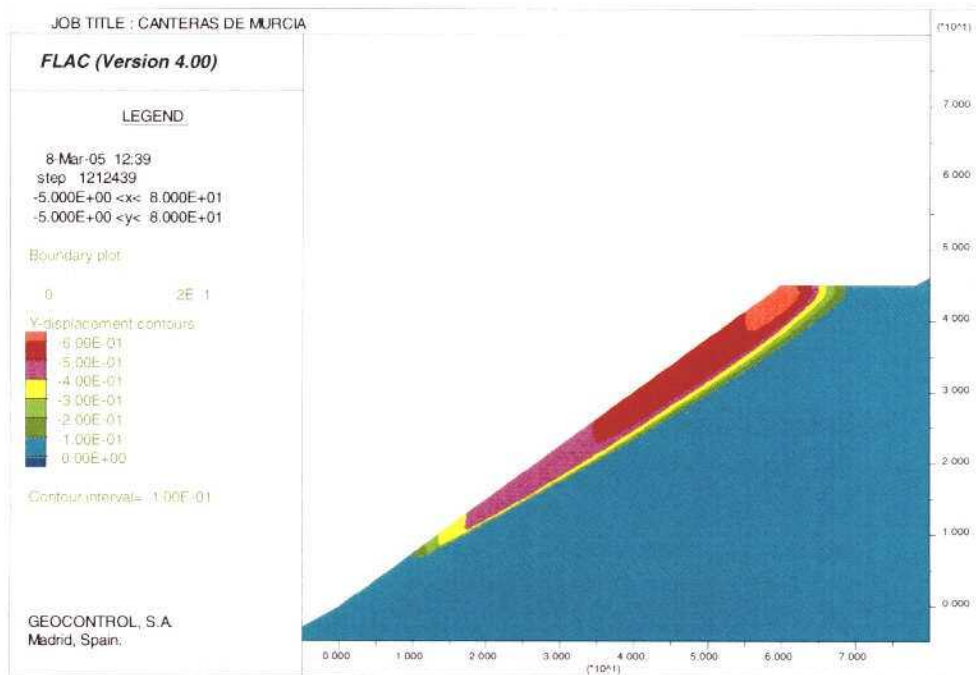


Figura 3.58.- Desplazamientos verticales máximos alcanzados por la escombrera de inertes + subproductos con 37° tras la aplicación de un sismo con  $a_c = 0,12 g$ .

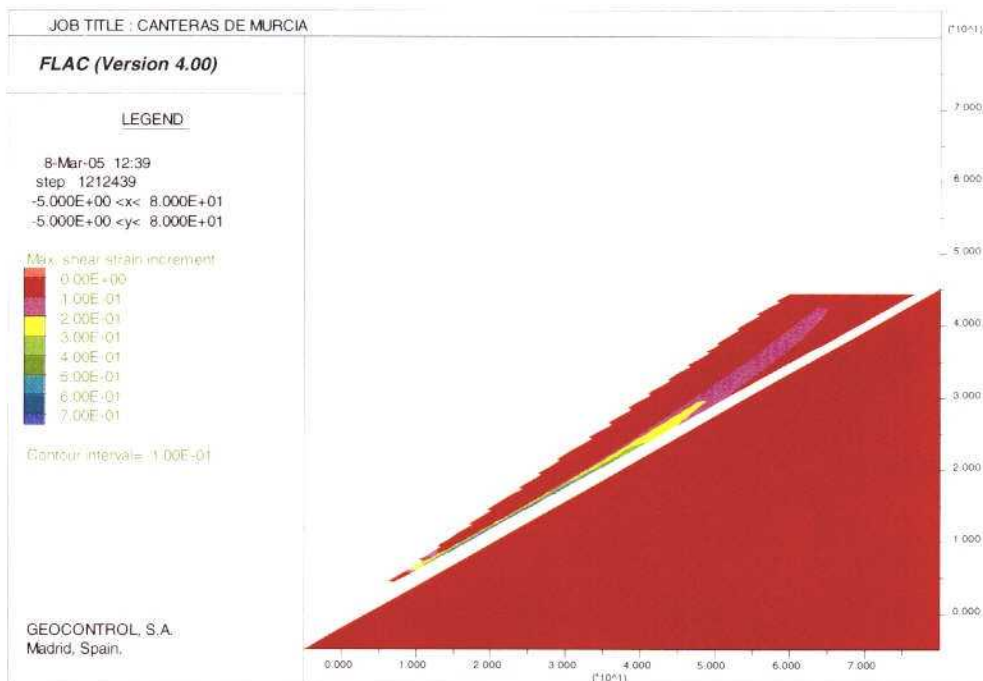


Figura 3.59.- Deformaciones cortantes máximas generadas en una escombrera de inertes + subproductos con 37° tras la aplicación de un sismo con  $a_c = 0,12 g$ .

En la **Figura 3.60** se refleja la variación del desplazamiento horizontal (en color verde) y vertical (en color azul) con el tiempo sobre el acelerograma de cálculo.

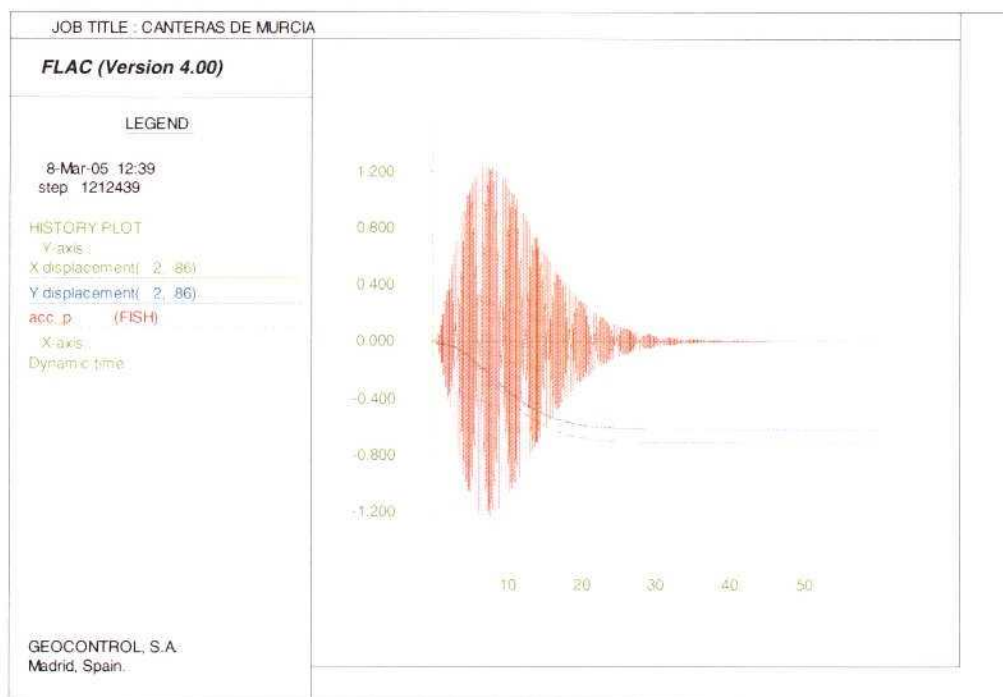


Figura 3.60.- Variación del desplazamiento de la escombrera con respecto al tiempo de duración del sismo.

De la figura se desprende que el máximo desplazamiento horizontal (70 cm) se alcanza a los 29 segundos de iniciarse el sismo, y el máximo desplazamiento vertical (60 cm) se alcanza a los 23 segundos.

Como conclusión se demuestra que tras la acción del sismo crítico, se genera inestabilidad general en una escombrera estable en condiciones estáticas, produciéndose un aumento de los desplazamientos máximos horizontales superior a los 68 cm.

### 3.2.3.- Conclusiones

La estabilidad de las escombreras se ha estudiado mediante los métodos de equilibrio límite (bishop simplificado) en el apartado 3.2.1, para distintas geometrías y composiciones de escombrera, y tanto en condiciones dinámicas como estáticas. Esta metodología ha sido contrastada en el apartado 3.2.2 utilizando métodos tensodeformacionales, concretamente el método de las diferencias finitas con el programa FLAC.

En el Cuadro 3.19 se comparan los factores de seguridad estáticos obtenidos por ambos métodos para una escombrera de 45 m de altura y sobre un terreno inclinado 30°, considerando distintas composiciones y buzamientos.

Cuadro 3.19.- Factores de seguridad estáticos calculados por distintos métodos para una escombrera de 45 m de altura sobre un terreno inclinado 30°.

		BUZAMIENTO DE LAS ESCOMBRERAS (°)	
		35°	40°
ESCOMBRERAS DE INERTES	MÉTODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE	1,439	1,163
	MÉTODOS TENSODEFORMACIONALES	1,240	1,010
ESCOMBRERAS DE INERTES + SUBPRODUCTOS	MÉTODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE	1,159	0,940
	MÉTODOS TENSODEFORMACIONALES	1,170	0,920

El cuadro muestra que los factores de seguridad son del mismo orden de magnitud. En el caso de las escombreras de inertes + subproductos (con peores propiedades y situaciones próximas al equilibrio estricto), los métodos de cálculo prácticamente convergen. Considerando las escombreras constituidas únicamente por inertes, más estables, los factores de seguridad calculados mediante métodos de equilibrio límite son ligeramente superiores a los calculados con métodos tensodeformacionales, si bien tienden a converger en situaciones próximas al equilibrio estricto.

- Factores de seguridad a adoptar en el cálculo de estabilidad de las escombreras

En el **Cuadro 3.20** se muestran los factores de seguridad recomendados para determinar la geometría estable de la escombrera según los gráficos del apartado 3.2.1.

Cuadro 3.20.- Factores de seguridad recomendados para determinar la geometría estable de escombreras en las gráficas del Apartado 3.2.1.

ZONA	ACELERACIÓN SÍSMICA DE CÁLCULO	F.S. EN CONDICIONES ESTÁTICAS	F.S. EN CONDICIONES DINÁMICAS
Sierra de La Puerta	0,08 g	1,25	1,25
Sierra de Burete			
Sierra de Quipar			
Sierra de Almírez	0,12 g		1,5

Los factores de seguridad adecuados se han propuesto comparando los resultados obtenidos por los distintos métodos de cálculo utilizados.

De esta forma, en el **Cuadro 3.21** se presentan los ángulos de talud máximos requeridos para cumplir el factor de seguridad en las escombreras en condiciones estáticas para distintas alturas de talud e inclinaciones del terreno. Los ángulos de talud máximos en este caso oscilan entre 34° y 46°.

En el **Cuadro 3.22** se muestran los taludes máximos para las escombreras en condiciones dinámicas (teniendo en cuenta el efecto sísmico) aplicable a las zona de Sierra de La Puerta, Sierra de Burete y Sierra de Quipar. Los ángulos de taludes máximos oscilan entre 30° y 43°.

En el **Cuadro 3.23** se incluyen los taludes máximos para las escombreras en condiciones dinámicas en la Sierra de Almirez (de alta sismicidad), observándose ángulos máximos de talud de entre 30° y 40°.

Por último, cabe reseñar, que la presente metodología para el cálculo de la estabilidad asume necesariamente simplificaciones en cuanto a las características del material que compone la escombrera, la geometría y propiedades del terreno de apoyo, etc, siendo apropiada para labores de planificación y ordenación a gran escala y no para casos proyectos concretos que, lógicamente, deberán estudiarse de forma individual. En estos casos podrían justificarse factores de seguridad más estrictos.

Cuadro 3.21.- Ángulos máximos de talud para las escombreras en condiciones estáticas.

<b>TODAS LAS ZONAS DE ESTUDIO</b>								
<b>CONDICIONES ESTÁTICAS</b>		<b>ALTURA DE LA ESCOMBRERA (m)</b>						
		<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>45</b>
<b>ESCOMBRERA DE INERTES</b>	<b>TERRENO HORIZONTAL</b>	43°	42°	41°	40°	39°	38°	37°
	<b>TERRENO INCLINADO 15°</b>	45°	43°	41°	39°	38°	37°	36°
	<b>TERRENO INCLINADO 30°</b>	46°	43°	42°	40°	39°	38°	37°
<b>ESCOMBRERA DE INERTES + SUBPRODUCTOS</b>	<b>TERRENO HORIZONTAL</b>	42°	40°	38°	37°	36°	36°	35°
	<b>TERRENO INCLINADO 15°</b>	43°	40°	38°	37°	36°	35°	34°
	<b>TERRENO INCLINADO 30°</b>	45°	42°	41°	39°	38°	37°	36°

Cuadro 3.22.- Ángulos máximos de talud para las escombreras de Sierra de La Puerta, Sierra de Burete y Sierra de Quipar en condiciones dinámicas.

SIERRA DE LA PUERTA, SIERRA DE BURETE Y SIERRA DE QUIPAR								
CONDICIONES DINÁMICAS		ALTURA DE LA ESCOMBRERA (m)						
		15	20	25	30	35	40	45
ESCOMBRERA DE INERTES	TERRENO HORIZONTAL	39°	38°	37°	36°	35°	34°	33°
	TERRENO INCLINADO 15°	40°	37°	36°	35°	34°	33°	32°
	TERRENO INCLINADO 30°	43°	41°	39°	37°	36°	35°	34°
ESCOMBRERA DE INERTES + SUBPRODUCTOS	TERRENO HORIZONTAL	36°	34°	33°	32°	31°	30°	30°
	TERRENO INCLINADO 15°	38°	36°	34°	33°	32°	32°	31°
	TERRENO INCLINADO 30°	43°	41°	38°	37°	36°	35°	34°

Cuadro 3.23.- Ángulos máximos de talud para las escombreras de la Sierra de Almírez en condiciones dinámicas.

SIERRA DE ALMÍREZ								
CONDICIONES DINÁMICAS		ALTURA DE LA ESCOMBRERA (m)						
		15	20	25	30	35	40	45
ESCOMBRERA DE INERTES	TERRENO HORIZONTAL	39°	38°	37°	36°	35°	34°	33°
	TERRENO INCLINADO 15°	40°	37°	36°	35°	34°	33°	32°
	TERRENO INCLINADO 30°	40°	38°	36°	34°	33°	33°	32°
ESCOMBRERA DE INERTES + SUBPRODUCTOS	TERRENO HORIZONTAL	36°	34°	33°	32°	31°	30°	30°
	TERRENO INCLINADO 15°	38°	36°	34°	33°	32°	32°	31°
	TERRENO INCLINADO 30°	39°	37°	36°	34°	33°	32°	31°

## **4.- ESCOMBRERAS**

### **4.1.- INTRODUCCIÓN**

Los estériles producidos en las explotaciones de roca ornamental corresponden generalmente a una tipología definida por tamaños gruesos, que proceden directamente de la excavación o del escuadrado de los bloques. Ocasionalmente se presentan materiales finos, suelos o tierra vegetal relacionados con diaclasas, fracturas, materiales de cobertera, etc.

Estos estériles se comportan de forma diferente al macizo rocoso del que son arrancados. Este hecho es importante ya que al depositarse en la escombrera tienen cohesión rota, no favoreciendo la estabilidad y seguridad de la misma.

Los suelos deben ser conservados para su posterior utilización en la restauración de terrenos.

En ningún caso se permitirá el vertido libre de material desde el hueco de explotación aprovechando la pendiente del terreno sin más.

### **4.2.- PROYECTO CONSTRUCTIVO DE NUEVAS ESCOMBRERAS**

El proyecto constructivo de las escombreras que se implanten para dar servicio a las explotaciones debe contemplar los estudios y recopilaciones de datos preliminares para justificar el emplazamiento del depósito, las características del mismo y de los materiales a verter, así como la relación del depósito con su entorno natural, los datos y estudios relativos a su estabilidad, las medidas de control a desarrollar y el mantenimiento a realizar para la buena conservación del depósito y, en su caso, las medidas a implementar cuando finalice su vida activa a efectos del abandono definitivo.

También debe incluirse, como parte del proyecto constructivo, una descripción detallada de las medidas de seguridad previstas tanto para garantizar la estabilidad del depósito como la seguridad de las personas y bienes.

El proyecto constructivo de una nueva escombrera debe considerar siempre los siguientes factores generales:

- Aprovechamiento máximo de los volúmenes disponibles y simplicidad de los métodos de vertido.
- Utilización racional de los medios de transporte y de la maquinaria pesada.
- Proyecto constructivo que favorezca la restauración, revegetación e integración en el entorno.

- Establecimiento de una buena red de drenaje de fondo y desagüe general.
- Distribución adecuada de los productos a verter.
- Obtención de condiciones de estabilidad satisfactorias.
- Máxima disminución posible del impacto ambiental y la contaminación (polvo, agua, ruidos, etc.)
- Preparación de un plan de mantenimiento y control.
- Seguridad en el trabajo. La instalación se proyectará con las debidas condiciones de seguridad de personas y bienes, tanto en la ejecución como durante las fases de mantenimiento.

Los proyectos de las escombreras deben ir acompañados por los cálculos de estabilidad en cada caso, empleando los métodos que se consideren más adecuados y que serán debidamente justificados por el proyectista.

Debe justificarse, mediante estudios geotécnicos, la estabilidad de los taludes del depósito, tanto los temporales en avance como los finales, y las soluciones constructivas a adoptar con bermas y plataformas. La importancia del estudio será función de los condicionantes geométricos y de la posible incidencia sobre instalaciones, infraestructuras, etc. Se debe justificar la estabilidad de las escombreras creadas tanto por la resistencia del cimiento como por su propio diseño y ubicación.

En el estudio de la estabilidad y resistencia de la escombrera proyectada, la utilización del método de formación de la escombrera tiene importancia sobre la homogeneidad y estabilidad de la misma. En este sentido, se admitirá el vertido directo de camión cuando no exista riesgo de daños al pie por rodadura de piedras.

Se deben definir las escombreras por su grado de estabilidad, coeficiente de seguridad y riesgo potencial, y justificarse los cálculos de estabilidad con los coeficientes de seguridad establecidos.

Dado que las escombreras se situarán en zonas de especial susceptibilidad sísmica, se deben realizar estudios sismorresistentes que permitan conocer la influencia de estos fenómenos en la estabilidad del depósito.

En el recrecimiento de escombreras deben estudiarse todas las circunstancias geotécnicas del material ya vertido que le sirva de base, sobre todo su compactación y grado de estabilidad. Por lo tanto, debe realizarse de la forma más homogénea posible, por capas horizontales no superiores a un metro, o lo previsto en el posible sistema de compactación. Debe evitarse adosar estériles a montones o plataformas mucho más altas ya que puede dar lugar a zonas flojas.



### 4.3.- TIPO DE ESTÉRILES MINEROS Y PROPIEDADES

#### 4.3.1.- Granulometría

La granulometría de los materiales tiene una influencia directa sobre la permeabilidad y la resistencia al corte. Por lo general, los materiales gruesos y con pocos finos (menos del 10% de Malla 200) tienen buena resistencia y alta conductividad hidráulica.

Las técnicas de explotación presentes en las explotaciones actuales condicionan en gran medida la granulometría de los estériles con destino a escombrera, ya que estos son mayoritariamente grandes fragmentos de material procedentes del rechazo y escuadrado de material, así como polvo depositado en la propia explotación procedente de las técnicas de explotación.

La granulometría puede variar con el tiempo debido a que los materiales experimentan cambios físicos y químicos al entrar en contacto con el aire y el agua (oxidación, heladas, esponjamiento, meteorización y otros).

La granulometría está muy relacionada con el fenómeno de la segregación, producido cuando los estériles transportados con camión o pala se vierten en la cresta del talud.

Generalmente, en la segregación que se produce en un talud se pueden distinguir tres zonas:

- Concentración de finos en la cresta del talud
- Distribución uniforme de tamaño intermedio en el resto del talud hasta el pie
- Una amplia dispersión de material grueso que se extiende mas allá del pie del talud.

Internamente, la escombrera está compuesta de una serie de capas paralelas a la cara del vertido donde, alternativamente, se suceden las compuestas por granos finos y las de granos gruesos. Se puede observar que los granos finos situados en una capa exterior no suelen poder pasar a través de capas de granos gruesos mas profundas.

La altura de talud prácticamente no influye en la distribución granulométrica de la segregación, siguiendo un gráfico semejante al de la **figura 4.1**. Sin embargo, la cantidad de material segregado será algo menor. Por otra parte, y en relación a la influencia del tamaño de grano, se puede decir, como regla general, que siempre a parecen tres zonas de segregación anteriormente definidas, y que éstas serán mas pronunciadas a medida que el tamaño de grano aumenta. La aparición de un material más fino también disminuye el efecto de segregación.

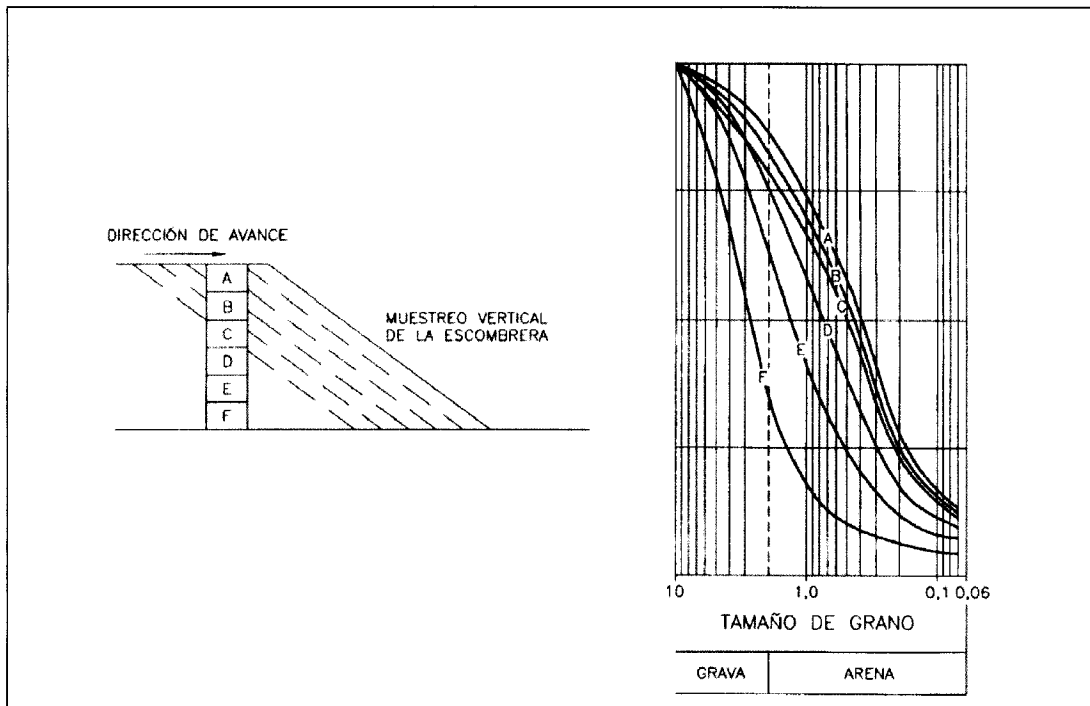


Figura 4.1.- Esquema de las distintas granulometrías presentes en una escombrera (Marcus J.J., 1997).

Por tanto, teniendo en cuenta la presencia de un amplio volumen de materiales gruesos, se puede resaltar la presencia de tres pronunciadas zonas de segregación, correspondientes a la zonificación izquierda de la figura anterior.

También se puede distinguir entre los efectos que se producen en la segregación al realizarse un vertido por empuje (tractor) de un vertido desde una cierta altura (volquete, pala cargadora). En el primer caso disminuye la segregación de finos en la zona alta del talud, pero las partículas gruesas se siguen acumulando en el pie, disminuyendo, en general, la cantidad de material segregado. Esto es debido a que las partículas gruesas ruedan más cuando el vertido se hace desde una cierta altura, como consecuencia de la aparición de un momento en las mismas que hace que las partículas rueden hasta el final del talud, a no ser que la pendiente del mismo no sea suficiente o que choquen con partículas mayores, mientras que en el vertido por empuje sólo giran las partículas que se hayan vertido en la superficie del talud, ya que el resto quedarán incluidas en los finos.

En relación a la estabilidad en función de la granulometría, cabe destacar que cuando el vertido es por empuje, la posibilidad de producirse deslizamientos aumenta; mientras que en los vertidos desde altura, este efecto disminuye ya que el momento que obtienen las partículas al deslizar por la pala es suficiente para que las partículas rueden hasta el final del talud, formando un ángulo menor que el ángulo de rozamiento interno.

En cuanto a la hidrogeología de una escombrera donde se haya producido segregación, destaca el fenómeno de que los finos acumulados en la zona alta del talud impiden el paso

de agua, produciéndose infiltraciones a lo largo del propio talud de la escombrera, por lo que un correcto drenaje del pie de la misma favorece la estabilidad.

De la siguiente tabla, y considerando el material de las escombreras como grueso y la altura de talud de las escombreras proyectadas como baja, se definen los factores por los que multiplicar las fracciones originales relativas al D80, D50 y D20 del material vertido para calcular el porcentaje de material componente de la cresta, zona intermedia y pie de talud resultando los factores:

**D80**

- Cresta de talud; 0,26
- Zona intermedia; 0,53
- Pie de talud; 1,39

**D50**

- Cresta de talud; 0,16
- Zona intermedia; 0,77
- Pie de talud; 1,96

**D20**

- Cresta de talud; 0,17
- Zona intermedia; 0,75
- Pie de talud; 4,17

	D <sub>80</sub>				D <sub>50</sub>				D <sub>20</sub>			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Material original	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Cresta de talud	0,17	0,26	0,59	0,92	0,12	0,16	0,42	0,84	0,11	0,17	0,33	0,63
Zona intermedia	0,53	0,83	0,83	0,92	0,57	0,77	0,75	0,81	0,53	0,75	0,67	0,68
Pie de talud	1,39	1,57	1,22	1,75	2,17	1,96	1,88	1,91	3,94	4,17	4,44	3,68

Fuente: R.S. Nichols (1966).

- 1: Vertido en altura, material grueso, talud alto.
- 2: Vertido en altura, material grueso, talud bajo.
- 3: Vertido en altura, material fino, talud bajo.
- 4: Vertido por empuje, material grueso, talud bajo.

Figura 4.2.- Factores de multiplicación de las fracciones originales de material vertido

**4.3.2.- Resistencia al corte**

Para conseguir un análisis y un diseño correctos es fundamental tener un conocimiento de las características de resistencia al corte de los materiales de las escombreras. La resistencia efectiva al esfuerzo cortante de estos estériles depende de una amplia gama de

parámetros interrelacionados, entre los que se incluyen la resistencia de la partícula intacta y resistencia anisotrópica, angulosidad de las partículas, granulometría, rugosidad de las superficies, y propiedades de fricción, composición litológica, mineralogía y grado de saturación. En este sentido, la resistencia al corte puede variar con el tiempo debido a factores como la consolidación; se puede producir la degradación por los efectos de congelación/descongelación, hinchamientos o desgastes, oxidación, filtración y cambios químicos, además de deformaciones inducidas por los cimientos o reagrupamientos internos y migración de finos.

Las escombreras diseñadas se han determinado suponiendo el criterio de rotura lineal de Mohr-Coulomb, con un ángulo de reposo natural de los materiales de la escombrera igual al ángulo de rozamiento, oscilante entre 35-40° y sin cohesión. Esta teoría se puede considerar válida para escombreras de medio tamaño, donde las tensiones internas son bajas en comparación con la resistencia de la roca intacta. Además se ajusta a los materiales de escombrera que contienen una cantidad limitada de finos (menor del 10%) y no estén sometidos a degradación.

#### **4.3.3.- Ángulo de rozamiento interno de los materiales de la escombrera**

La determinación del ángulo de rozamiento interno de los estériles para el diseño de las escombreras de las explotaciones se calcula estimándolo en función de una serie de condicionantes como son nula cohesión de los materiales, granulometría existente, etc.

Como concepto general, se debe tener en cuenta que el ángulo de rozamiento interno efectivo aumenta con la angulosidad de las partículas, el tamaño de las mismas, la graduación granulométrica y la compactación de vertido, disminuyendo con las tensiones efectivas, el contenido de finos arcillosos y la alteración de las rocas.

Considerando un material estéril con alta angulosidad y tamaño de las mismas, se puede estimar el ángulo de rozamiento adoptando los valores típicos obtenidos por aplicación de la siguiente **tabla 4.1**.

Considerando el estéril tipo de los materiales de escombrera de las explotaciones como de naturaleza carbonatada, compacidad suelta, forma angulosa, tamaño de bloques, granulometría media y nivel bajo de tensiones en función de la altura de escombros, se estima un valor de ángulo de rozamiento de 38°.

La compresibilidad de las escombreras es alta debido a su propio peso, produciéndose asientos considerables por saturación o infiltración. Los asientos finales oscilarán entre el 0,5% al 3% de la altura, con un valor medio del 1,5%,

Tabla 4.1.- Estimación del ángulo de rozamiento

NATURALEZA	M	SILÍCEA	36°
		CARBONATADA	34°
		ESQUISTOSA	32°
		ARCILLOSA	30°
COMPACIDAD	$\phi'_1$	SUELTA	-5°
		MEDIA	0°
		COMPACTADA	+5°
FORMA Y RUGOSIDAD	$\phi'_2$	ANGULOSA	+2°
		MEDIA	0°
		LAJOSA	-0°
		REDONDEADA	-2°
		MUY REDONDEADA	-3°
TAMAÑO	$\phi'_3$	ARENA	0°
		GRAVA FINA	+1°
		GRAVA GRUESA	+2°
		BLOQUES. BOLOS	+3°
GRANULOMETRÍA	$\phi'_4$	UNIFORME	-3°
		MEDIA	0°
		EXTENDIDA	+3°
NIVEL DE TENSIONES (ALTURA DE ESCOMBROS)	$\alpha$	BAJO (H < 20 M)	1,1
		MEDIO (20 < H < 40 M)	1,0
		ALTO (H > 40 M)	0,9

#### 4.3.4.- Conductividad hidráulica

Será necesario estimar la conductividad hidráulica de los materiales de la escombrera para los análisis de filtración y el conocimiento del drenaje interno. Asimismo la conductividad hidráulica sirve para conocer las condiciones piezométricas en el interior de la escombrera que pueden producir la inestabilidad.

Debido, principalmente, a la segregación natural de los materiales de escombrera durante la construcción y a la diferencia de compactación en diferentes zonas de la misma, se produce una amplia variación de la conductividad hidráulica, dependiendo de la localización y dirección del punto de control dentro de la escombrera.

La conductividad hidráulica puede variar también debido a la migración de finos o a la meteorización de los materiales de la escombrera. Por tanto, los programas de ensayos en laboratorio o *in situ* que proporcionan datos exactos de la conductividad hidráulica, normalmente, no son efectivos.

#### 4.3.5.- Consolidación y asentamiento

Los procesos de consolidación y asentamiento que las escombreras sufren durante y después de su construcción, influyen en la densidad y en las características de resistencia al corte de los materiales de dichas estructuras. Dependiendo de las técnicas de construcción,

las distintas zonas del interior de las escombreras pueden sufrir diferentes esfuerzos de compactación.

Las características de los asientos es variable, produciéndose asientos diferenciales en el tiempo y su consecuente rotura, lo cual puede conducir a la rotura de la superficie de drenaje, terrenos de recubrimiento, etc., además de grandes infiltraciones en la escombrera.

Debido a la granulometría gruesa de los materiales estériles presentes en las explotaciones, los ensayos de compactación en laboratorio son difíciles, y los resultados no son representativos. Las estimaciones preliminares de la densidad de los materiales de escombrera están, normalmente, basadas en factores de esponjamiento conocidos, tolerantes con la consolidación y los asentamientos. Los factores se encuentran en torno al 1,3.

#### **4.4.- DISEÑO TIPO DE LAS ESCOMBRERAS**

Para el diseño de la escombreras tipo deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

- Tipos de estériles mineros y propiedades.
- Elección y preparación del emplazamiento.
- Diseño de la escombrera.
- Proceso constructivo.
- Análisis de la estabilidad de la escombrera.

##### **4.4.1.- Métodos y sistemas constructivos**

En el diseño de escombreras se deben tener en cuentas una serie de consideraciones para determinar las distintas zonas de vertido, así como maximizar la longitud de la cresta de la escombrera. Esta planificación presenta dos ventajas:

- Si aparece una superficie de rotura en una zona del depósito o la subsidencia de la cresta es excesiva, las operaciones en esta parte de la escombrera pueden ser suspendidas hasta alcanzar condiciones estables.
- Si se puede verter sobre una gran longitud de cresta de talud, el ritmo de avance disminuirá, reduciéndose la carga aplicada sobre la cimentación y la correspondiente generación de altas presiones intersticiales en la zona del pie. Un ritmo lento de avance también permite una mayor consolidación de los materiales y un aumento en su resistencia al corte.

La formación con vertido libre solo es aconsejable en escombreras de moderadas dimensiones y cuando no exista riesgo de rodadura de piedras. Se caracteriza por presentar

en cada momento un talud que coincide con el ángulo de reposo de los estériles y una segregación por tamaños muy acusada.

El recrecido de una escombrera debe realizarse de la manera mas homogénea posible y de ello depende en gran medida la modalidad de vertido elegida.

Los métodos de construcción principales son por basculamiento final y por tongadas en aquellas ocasiones donde no se alcancen las condiciones de estabilidad deseadas.

El método constructivo mediante vertido libre consiste en la descarga de los estériles desde altura, consiguiendo las condiciones de drenaje por la segregación natural que sufre el material durante el descenso por rodadura. Los bloques grandes se encontrarán en el pie del talud, disminuyendo la granulometría en sentido ascendente.

El método por tongadas consiste en depositar y compactar los estériles en capas o tongadas, con lo que se aumenta notablemente la resistencia al corte y la capacidad de vertido, pues se reduce el efecto de esponjamiento. Las condiciones de drenaje se consiguen creando un núcleo central de escollera.

#### **4.4.2.- Proceso constructivo**

La secuencia de construcción de las escombreras a implantar para la gestión de los estériles de las explotaciones que se propone como modelo de referencia básico, teniendo en cuenta cuestiones ambientales, es la que se detalla a continuación (véase capítulo 6.6. del documento relativo a restauración):

1. Delimitación del espacio a ocupar por la escombrera.
2. Desbroce, arranque de suelo en la superficie a afectar, acopio de tierras. Construcción de un caballón perimetral creado, por ejemplo, aprovechando bloques no útiles para su aprovechamiento en fábrica.
3. Construcción y preparación del talud exterior con materiales seleccionados y pendiente final de restauración. Puede iniciarse el vertido en el espacio delimitado.
4. Realización de las labores de restauración sobre el talud exterior. Relleno del espacio destinado a escombrera hasta la cota de coronación del talud anterior. Este relleno, en principio, puede realizarse por vertido libre.
5. Repetición de la secuencia de operaciones en sucesivas fases superpuestas, cuando sea el caso, dejando bermas que permitan el paso de maquinaria ligera y garanticen la seguridad para posibles labores de mantenimiento de lo restaurado.

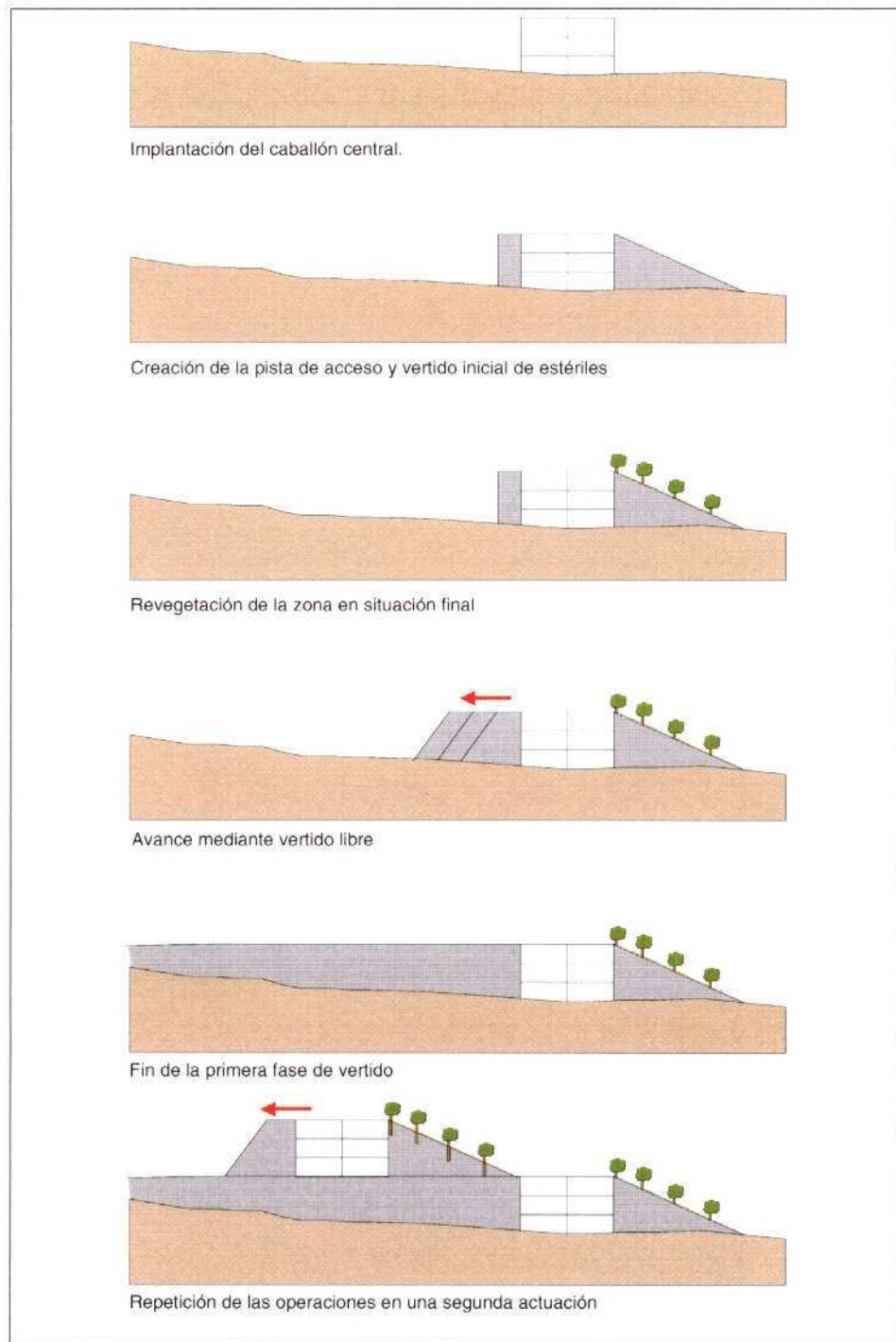


Figura 4.3.- Esquema del proceso de construcción de las escombreras



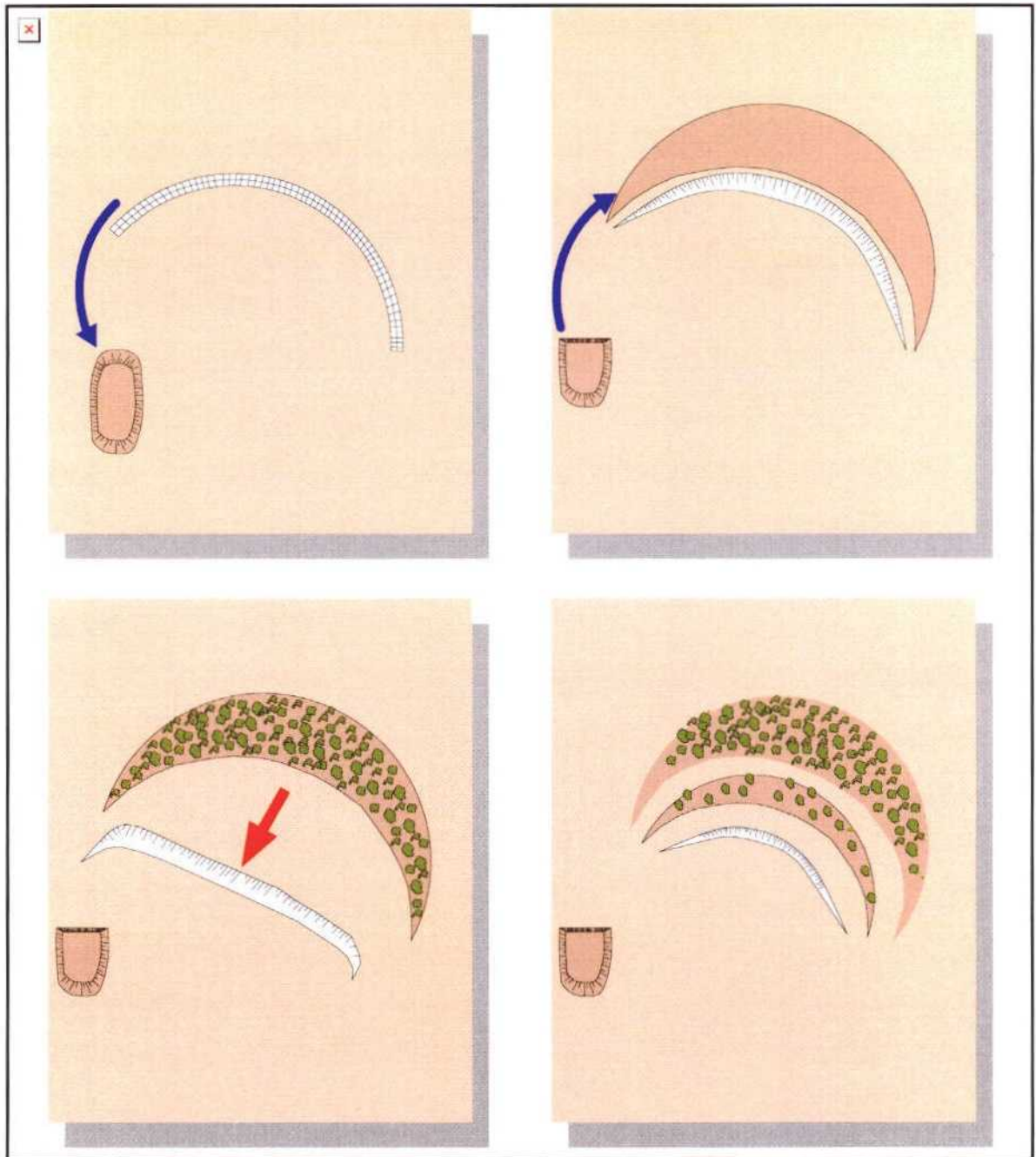


Figura 4.4.- Esquema en planta del proceso de construcción de las escombreras

## 4.5.- MÉTODO OPERATIVO

### 4.5.1.- Introducción

El método de construcción de escombreras tiene una gran importancia sobre la homogeneidad y estabilidad de la misma, predominando la estratificación horizontal o la paralela al talud. Además, se debe prestar una especial atención al sistema de vertido. Así,

deben diferenciarse el sistema de vertido directo desde camión, que será admisible cuando no exista riesgo de rodadura de rocas, del sistema de vertido por empuje con tractor de orugas o pala.

#### **4.5.2.- Preparación del cimientto y sistemas de drenaje**

Dependiendo de la situación, tanto el control del drenaje como la preparación del cimientto pueden jugar un papel importante en la estabilidad de la escombrera. Ambos aspectos deben ser contemplados en la etapa de diseño y controlarse durante la etapa de construcción u operación de dicha estructura. Es importante que todas las obras que se efectúen queden debidamente documentadas para estudios futuros.

- **Cimientto**

La preparación del cimientto de apoyo de la escombrera debe ser un capítulo más del proyecto, siendo debidamente modificado durante la construcción en función de criterios tales como niveles piezométricos, superficie y carga a soportar por la base de apoyo.

Los trabajos de preparación de los terrenos a ocupar incluyen el desbroce, con eliminación de la vegetación existente antes del vertido, retirada selectiva de los horizontes de suelo más superficiales y su posterior aprovechamiento en los trabajos de restauración. También debe realizarse la excavación de suelos de recubrimiento que, aún cuando puedan no ser aptos para la restauración, pueden ofrecer una baja capacidad portante o baja resistencia.

En la mayoría de los casos, tanto la cubierta vegetal como los suelos de cobertera afectan negativamente a la estabilidad de las escombreras.

En algunos emplazamientos se pueden precisar distintas actuaciones además de las indicadas, tales como el refuerzo o consolidación del material de la base de apoyo, o la construcción de un sistema de drenaje. El grado de preparación del cimientto debe valorarse económicamente y compararse con los costes de tratamiento de otras posibles alternativas teniendo en cuenta los diseños de esas estructuras, las secuencias constructivas y los ritmos de vertido.

Cuando exista ya una escombrera y se pretenda actuar sobre el cimientto contiguo aún sin ocupar, se debe prestar una atención especial a las medidas de seguridad tanto del personal como de los equipos que estén trabajando en el lugar. En tales situaciones se debe suspender el vertido en las zonas próximas y comprobar la estabilidad de los taludes que forman los estériles en las proximidades de las zonas donde se vaya a trabajar. Se recomienda preparar, con suficiente antelación, el cimientto de apoyo de la escombrera, tanto en su totalidad como parcialmente, dejando una franja de seguridad hasta el pie del talud de vertido.

## • Drenaje

El control del agua es un aspecto básico en la construcción y operación de las escombreras. Las fuentes principales de agua que deben considerarse con vistas al drenaje de las escombreras, y las superficies circundantes de éstas, son las siguientes:

- Escorrentías de los terrenos que constituyen la cuenca de recepción de las escombreras.
- Precipitaciones directas de agua o nieve sobre la escombrera.
- Filtraciones del cimiento de apoyo o de las laderas ocupadas por la escombrera.
- Arroyos o cauces de agua existentes en emplazamientos de vaguada.

Los fenómenos principales que deben estudiarse con relación a estas fuentes de agua son: la estabilidad y erosión de las escombreras, así como la calidad de las aguas procedentes de dichos depósitos.

Existen ciertas normas o recomendaciones encaminadas a mejorar la resistencia de las masas estériles frente a los deslizamientos, así como a rebajar los niveles de agua dentro de las estructuras. Así, la primera norma a seguir consiste en la retirada de la vegetación y de los suelos del lugar de asentamiento. La descomposición de esta vegetación con el tiempo y la existencia de una capa de suelo, constituyen una zona de rotura probable por la baja resistencia al corte que presentan. En el caso de que estos materiales no puedan ser apartados, se recomienda la compactación o tratamiento de mejora de los mismos.

Si existe agua estancada en la base de apoyo deberá ser drenada antes de verter los primeros estériles o, si esto no es posible, rellenar dichas zonas con material de escollera. En zonas de surgencia de acuíferos se procederá a la captación y drenaje de las mismas con la doble finalidad de evitar el efecto de las presiones intersticiales del agua en la escombrera y conservar las fuentes y manantiales. Si la surgencia es puntual, la captación se hace mediante una arqueta construida sobre el terreno explanado. Desde ésta se suele implantar una tubería de PVC de 50-75 mm de diámetro y exteriormente un tubo metálico de acero corrugado, flexible y muy resistente, que permita adaptarse a los asentamientos del terreno. Con este sistema se pueden ir depositando los estériles encima y, al mismo tiempo, ir acoplado los tubos necesarios durante el avance.

En general, los cursos de agua superficiales que puedan afectar a las escombreras se desviarán con anterioridad a su construcción. Se llevarán a cabo los pertinentes estudios hidrológicos para calcular los caudales de máxima avenida y dimensionar así las obras de desvío necesarias. Estos estudios constituyen un capítulo esencial del proyecto de una escombrera. Las obras de desvío liberarán el área ocupada por la escombrera y, tanto el

fondo como las paredes laterales, serán protegidas frente a la erosión mediante la colocación de escollera, garantizando, además, una baja permeabilidad para evitar las filtraciones.

El drenaje interno del agua filtrada en el propio cuerpo de la escombrera, o procedente del cimientado de apoyo, debe ser también objeto de estudio. En el diseño de muchas escombreras se supone una segregación natural de los fragmentos de distinto tamaño, resultando así un drenaje efectivo a través de los fragmentos más gruesos que aparecen en el fondo de estos depósitos. Esa situación es favorable para garantizar que no va a aparecer una presión de poros en la estructura ya construida que desemboque en inestabilidades. En general, también se supone que la segregación natural de las partículas producirá una zona filtro que impedirá que las partículas o fragmentos más finos migren hacia las zonas de drenaje. Si esto no se verifica, es posible que la zona de drenaje se vaya colmatando de finos, cegando los canales de circulación del agua y, consecuentemente, disminuyendo la conductividad hidráulica. En estas situaciones, se incrementarán las presiones piezométricas y disminuirá la estabilidad.

Inevitablemente, la infiltración aparecerá como el resultado de las precipitaciones directas sobre la superficie de las escombreras. De manera ideal, el agua percolará a través del cuerpo de la escombrera debido a la alta permeabilidad de la capa base (formada por bloques de roca gruesa estratégicamente colocados, o por la propia segregación natural) que facilitará su salida de la escombrera.

La infiltración en las plataformas de las escombreras puede minimizarse manteniéndolas con una cierta inclinación desde las crestas de los taludes de vertido hacia los canales de guarda del interior. Se debe poner especial atención para evitar que el agua quede retenida formando charcos en la superficie, o que pueda infiltrarse a través de las grietas formadas por subsidencia.

El asentamiento de las escombreras debe estar previsto en la planificación del drenaje. El grado de asentamiento final de un depósito de estériles depende del espesor del relleno, siendo invariablemente mayor cuanto más altura tenga la escombrera. Esto deberá tenerse en cuenta en la configuración final prevista de la escombrera de manera que los asentamientos no afecten a las obras de drenaje diseñadas. Estos aspectos deberán ser considerados en el proyecto de abandono y clausura de la misma.

#### **4.5.3.- Control de la calidad de los materiales**

El material vertido puede variar considerablemente en su resistencia y durabilidad. Los materiales vertidos en la zona son rocas duras y durables, y los fragmentos gruesos y angulares resistentes, facilitando la estabilidad de la estructura.

Será necesaria una planificación estratégica del vertido de los estériles para minimizar problemas futuros. Esta planificación podría estar dirigida hacia la colocación del material de más calidad en áreas tales como:

- Zonas de drenaje (e. g. vaguadas, fondos de valle, etc.)
- Áreas que requieren protección frente a la erosión (e. g. canales de desvío, disipadores de energía).
- Zonas de escombrera de gran altura.

La calidad de los estériles que aparecen en cada banco se puede estimar a partir de los testigos de los sondeos, mediante la utilización de rayos gamma capaces de identificar los cambios en su composición, en caso de que la inspección visual no sea definitiva. En general, la roca de calidad media y alta se suele utilizar como material de drenaje, mientras que las rocas de calidad inferior se colocarán en zonas cuya estabilidad esté garantizada (cerca del terreno natural, entre dos escombreras construidas con materiales de alta calidad, zonas de cimentaciones planas y zonas de mezcla con materiales de alta calidad). Por lo tanto, los materiales de baja calidad no se deberán utilizar en las capas inferiores ya que será necesario crear un pie del talud fuerte y permanente capaz de soportar el resto de los vertidos.

Los materiales procedentes de las monteras terrígenas deben excluirse del vertido en las escombreras, así como las zonas que supongan una baja resistencia al corte o zonas que dificulten el drenaje. Los horizontes superficiales deben ser retirados y depositados en lugares concretos. Cuando ello sea posible, los materiales podrán ser mezclados y vertidos, conjuntamente con los estériles, siguiendo unos criterios preestablecidos. El objetivo es que los materiales más finos puedan rellenar los huecos que aparecen entre los fragmentos rocosos gruesos sin que tenga un efecto significativo sobre los parámetros resistentes del conjunto de estériles vertidos.

Normalmente los suelos deben ser mezclados de tal manera que no supongan más de un 10 por ciento del material estéril vertido. En ningún caso deben mezclarse con estériles de mala calidad.

Los suelos de recubrimiento se utilizarán en los trabajos de restauración, de tal manera que, si la planificación lo permite, se extiendan directamente sobre zonas modeladas que hayan llegado a su situación final, mejor que acopiarlos temporalmente o perderlos mezclados con estériles rocosos.

Con el fin de confirmar las hipótesis de diseño, deben llevarse a cabo una serie de ensayos y verificaciones, ya que si las propiedades reales de los materiales del cemento y de los estériles evaluados durante la operación son muy distintas a las de partida, puede resultar aconsejable modificar el diseño de la escombrera. Estas modificaciones pueden así

estar dirigidas tanto a solucionar posibles problemas de estabilidad como a adoptar criterios no tan conservadores y costosos.

Los parámetros que deben ser objeto de comprobación y ensayo deben ser los siguientes:

- Distribuciones granulométricas.
- Durabilidad y segregación de los fragmentos gruesos que constituyen los drenajes de fondo.
- Susceptibilidad a la meteorización física y química.
- Posibilidades de aparición de niveles piezométricos y presiones de poro en el cimiento y cuerpo de la escombrera.

En este último caso es conveniente instalar, en el número y en los lugares adecuados, piezómetros para el estudio y seguimiento de los niveles freáticos.

#### **4.5.4.- Operaciones de vertido**

##### **• Procedimientos de vertido**

Las normas generales de vertido son las siguientes:

- En general, se necesitará un operador en cada una de las zonas de vertido.
- En los casos en los que la cresta de vertido supere los 3 m de altura no se podrá verter sobre dicho banco, excepto que exista una banqueta de seguridad y un operario dirija los vehículos al punto de vertido.
- La altura de la banqueta debe ser, al menos, igual al radio máximo de las ruedas de los volquetes de transporte.
- La superficie de la banqueta se debe construir y mantener con una cierta inclinación hasta llegar al punto de vertido para evitar que los volquetes caigan en el frente de la escombrera. Dicha superficie debe tener una inclinación de un 2 %, aproximadamente.
- Cuando dos o más volquetes están vertiendo al mismo tiempo, se deberá guardar una distancia de seguridad equivalente, al menos, al ancho de dos volquetes.
- Si no existe ningún operario en la escombrera, los volquetes deben verter su carga sin alcanzar la cresta de la banqueta y, posteriormente, ésta será empujada por un tractor hasta el frente de vertido.

Los procedimientos que deben seguir los vehículos de transporte en el vertido de materiales serán los siguientes:

- La circulación de los volquetes en la plataforma de vertido se realizará en el sentido de las agujas del reloj para que la visión de la escombrera por parte de los conductores sea nítida antes de llegar a la misma.
- Los vehículos de transporte avanzarán marcha adelante hasta llegar al punto de vertido en el que deberán de dar la vuelta.
- Normalmente, las rocas de grandes tamaños serán sometidas a destrucciones secundarias. En cualquier caso, los camiones que transportan este tipo de material deben seguir las siguientes recomendaciones:
  - En primer lugar, se deberá utilizar material fino que amortigüe la caída de los bloques de roca mayores.
  - Los bloques rocosos más grandes se deberán apoyar en un lecho de material fino.
  - Para ello, el operario deberá señalar la parada del volquete en el momento en que la caja esté alineada con el lecho.
  - Se producirá el vertido de las rocas sobre los finos.
  - Cuando el volquete haya abandonado el área de vertido, un tractor empujará el material hasta el borde de la berma.
- Los volquetes cargados deben estar situados en el sitio correcto.
- Los volquetes deberán dar la vuelta para situarse en la banqueta en el momento que indique el operario.
- Los volquetes no abandonarán la banqueta hasta que la caja no se haya vaciado.
- La carga debe ser vertida de una vez.

Los volquetes no se deberán mover hasta que la caja no esté completamente vaciada.

Los tractores pueden ser usados en la escombrera para realizar el mantenimiento de la superficie de vertido y de la berma de seguridad, además de empujar el material hasta el borde de vertido cuando sea necesario. Los tractores más utilizados son los de orugas y, también, los de ruedas con hoja de empuje.

En ciertos momentos, una o más cargas deberán ser vertidas antes de llegar a la cresta, para proporcionar el material suficiente como para realizar las tareas de mantenimiento de la banqueta y conservar la inclinación de la superficie.

Debe existir una serie de señales que sirvan para la comunicación inequívoca entre ambos.

El correcto comportamiento de los conductores de los tractores y el respeto de las normas de tráfico será responsabilidad del encargado de la escombrera.

Los operarios deben contribuir a mantener la eficiencia y seguridad de la escombrera en los temas relativos al tráfico y en las distintas tareas de la operación. Su presencia constante en la escombrera, hace de los operarios el personal adecuado para las labores de vigilancia y control de los equipos ante cualquier señal extraña. En los casos donde se requiere una especial seguridad, los operarios pueden ser responsables de su control y ejecución.

- **Ritmos de descarga**

Los ritmos de descarga se suelen expresar en términos de volumen vertido por metro lineal de cresta y día ( $m^3/m/día$ ), o en metros de cresta por día ( $m/día$ ), siendo más habitual esta última.

En un primer momento, el material recién vertido sufre un pequeño asentamiento, manteniendo el estado suelto inicial. Debido a las siguientes descargas este material quedará enterrado, incrementándose la tensión de carga, por lo que el material adoptará una configuración más densa y una mayor resistencia al corte. Por lo tanto, para estudiar la estabilidad será necesario conocer el asentamiento final de la superficie de la escombrera. Existe una importante relación entre el ritmo de descarga y la estabilidad de la escombrera. Sin embargo, también existen otros factores que actúan en la estabilidad y que hacen que no sea fácil determinar unos ritmos de descarga generales. Entre dichos factores destacan los siguientes:

- **Condiciones piezométricas:** La descarga rápida de material saturado de grano fino incrementa el nivel piezométrico, disminuyendo la tensión efectiva. Con el tiempo, el terreno consolida, permitiendo una disminución de la presión intersticial que aumenta la tensión efectiva y la estabilidad.
- **Características del material vertido:** El aumento de densidad que experimenta el material al colocar sobre él nuevas capas de vertido produce un aumento en la estabilidad debido al incremento en la resistencia al corte. Si el vertido se realiza con altos ritmos de descarga, puede que no se guarde el tiempo suficiente como para conseguir la densidad y la resistencia al corte adecuados como para asegurar la estabilidad.
- **Altura de vertido:** Para un ritmo de de descarga dado ( $m/día$ ), una mayor altura de vertido implica una mayor cantidad de material. Por lo tanto, la tensión del material vertido y de la cimentación será mayor.

En relación con el ritmo de vertido, éste debe tener en cuenta la influencia de la tensión de carga y de la resistencia al corte, cuyos valores pueden ser modificados por la degradación de las partículas. Otros factores que pueden influir en la estabilidad de la escombrera



pueden ser: la estación del año, nivel de precipitaciones, vibraciones del terreno, ángulo del talud, etc.

- **Medidas de seguridad**

No se permitirá el cruce de maquinaria pesada por debajo de las líneas eléctricas aéreas, salvo por puntos especialmente preparados para ello.

Se mostrará especial precaución en las operaciones de excavación de zanjas, apertura de caminos, actividades cercanas a conducciones de agua, etc., cuando estas operaciones tienen lugar al pie de las escombreras situadas sobre laderas en las que pueden inducirse deslizamientos. En ningún caso se podrán excavar zanjas a menos de 3 metros del pie de la escombrera, o a menos de 1,5 veces el espesor del suelo susceptible de fluencia.

No se deberá superar, en cada banco o tongada, la altura alcanzable por las palas o excavadoras.

En cualquier escombrera en la que se aprecien grietas o deformaciones indicativas de un posible deslizamiento profundo, se paralizarán inmediatamente las operaciones de vertido en el área afectada, estableciendo unos piquetes de delimitación y realizando observaciones sistemáticas de movimientos, evolución de grietas, etc. Si el deslizamiento fuera inminente y pudiera ocasionar daños graves, se darán los oportunos avisos y órdenes de desalojo, realizando las obras de contención, drenaje o estabilización que permita la evolución de los movimientos.

#### **4.6.- MANTENIMIENTO Y CONTROL DE LA ESCOMBRERA**

En la fase de proyecto, el promotor de la instalación debe definir un plan de mantenimiento y control de la escombrera en función de las características de la misma que abarcará un periodo de cinco años. Este plan de control debe garantizar la estabilidad del depósito, la ejecución del programa de restauración, la minimización del impacto ambiental, etc., de forma que se alcance la integración del depósito en el entorno de la zona en el periodo considerado.

El plan de control debe definir las magnitudes que serán objeto de control, tanto permanentes como periódicas. En ambos casos se detallará y justificará la instrumentación a instalar en la escombrera. tipo de sensores, ubicación, frecuencia de toma de datos, etc.

Este plan debe detallar los informes que se deben presentar a la Autoridad Minera, definiendo las magnitudes a medir y la periodicidad con la que serán enviados. Tanto el plan de control inicial, como sus posteriores revisiones, se someterán a la aprobación de la Autoridad Minera competente.

#### 4.7.- OCUPACIÓN TERRITORIAL DE LAS NUEVAS ESCOMBRERAS

El almacenamiento de los estériles generados en las explotaciones de roca ornamental, mediante la construcción de escombreras, plantea la necesidad de evaluar la ocupación que dicha construcción va a significar en función de la pendiente del terreno portante y de la inclinación y altura de las escombreras a implantar.

El siguiente estudio plantea la ocupación desde dos puntos de vista como son la ocupación superficial que la escombrera va a definir y cuya cuantificación es mensurable desde el punto de vista planimétrico y, por otro lado, la ocupación volumétrica real que la geometría de la escombrera determinará, condicionando la cantidad de material a almacenar y la cantidad de terreno ocupado.

Para la determinación de ambos conceptos se definen a continuación los siguientes elementos que definirán la geometría del terreno y de la escombrera (véase fig. 4.5):

- Pendiente del terreno (a).
- Pendiente de la escombrera (b).
- Altura de la escombrera (H).
- Longitud aparente de la escombrera (y): Se define como la medición proyectada sobre la horizontal del perfil longitudinal de la escombrera diseñada. El producto de esta variable por la longitud del frente de la escombrera significará la superficie de la escombrera representada en un plano, significando su ocupación superficial.
- Longitud real de la escombrera (x): Se trata de la longitud total estimada desde el pie hasta el apoyo con el terreno portante en coronación de la escombrera.

Se han considerado tres pendientes de escombreras admisibles para los cálculos de ocupación, variables entre los 20° y los 30°. Esta limitación, por motivos de seguridad, condiciona la pendiente admisible del terreno portante, habiéndose considerado en este estudio pendientes variables entre 15° y 25°.

Las alturas de las escombreras estudiadas son 15, 30 y 45 metros, siendo éstas las alturas consideradas en el estudio de estabilidad.

Para la cuantificación del volumen de escombrera por metro lineal se ha calculado el área del triángulo definido por la longitud real de la sección estándar de la escombrera, la altura y la pendiente de la misma. El producto de este valor por la longitud del frente de la escombrera determinará la ocupación volumétrica derivada de la implantación de la escombrera.

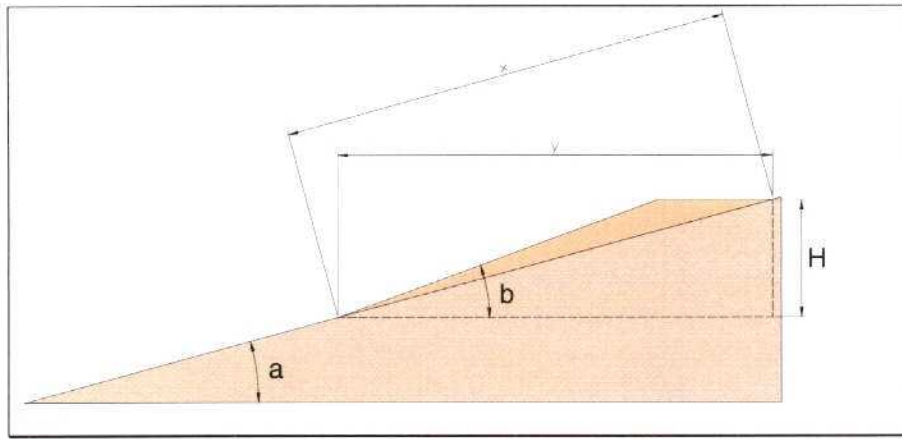


Figura 4.5.- Definición de los parámetros geométricos de terreno y escombrera

A continuación se detalla gráficamente la geometría de las escombreras, la longitud aparente y real y el volumen por metro lineal en función de los parámetros de pendiente del terreno, pendiente de la escombrera y altura de la escombrera, cuya cuantificación numérica ha sido definida anteriormente.

Los proyectos de escombreras concretas entendemos deben jugar dentro de los márgenes aquí contemplados. Para la decisión final, en cuanto a pendientes y ocupación del terreno para un volumen de escombro calculado, deben considerar factores que varían para cada caso, entre los que caben destacar el valor de los factores del medio afectados y la restaurabilidad.

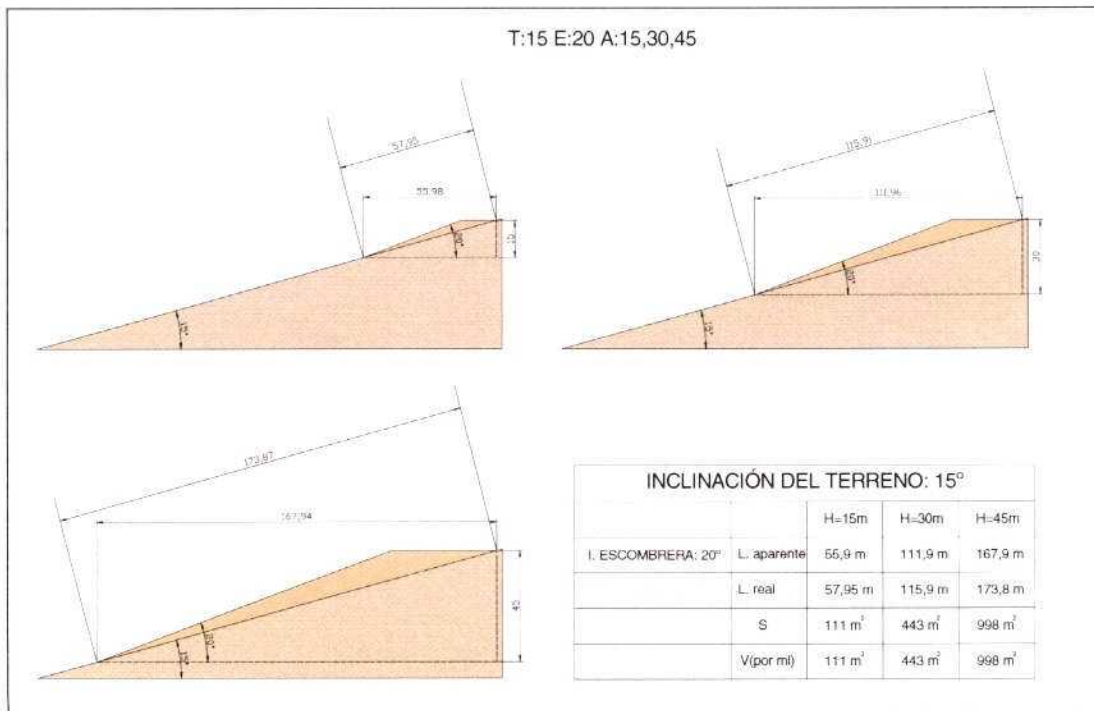


Figura 4.6.- Definición de longitudes real y aparente, superficie de la sección y volumen por metro lineal de la escombrera con talud de 20° y alturas variables de 15, 30 y 45 m apoyada en terreno con pendiente de 15°

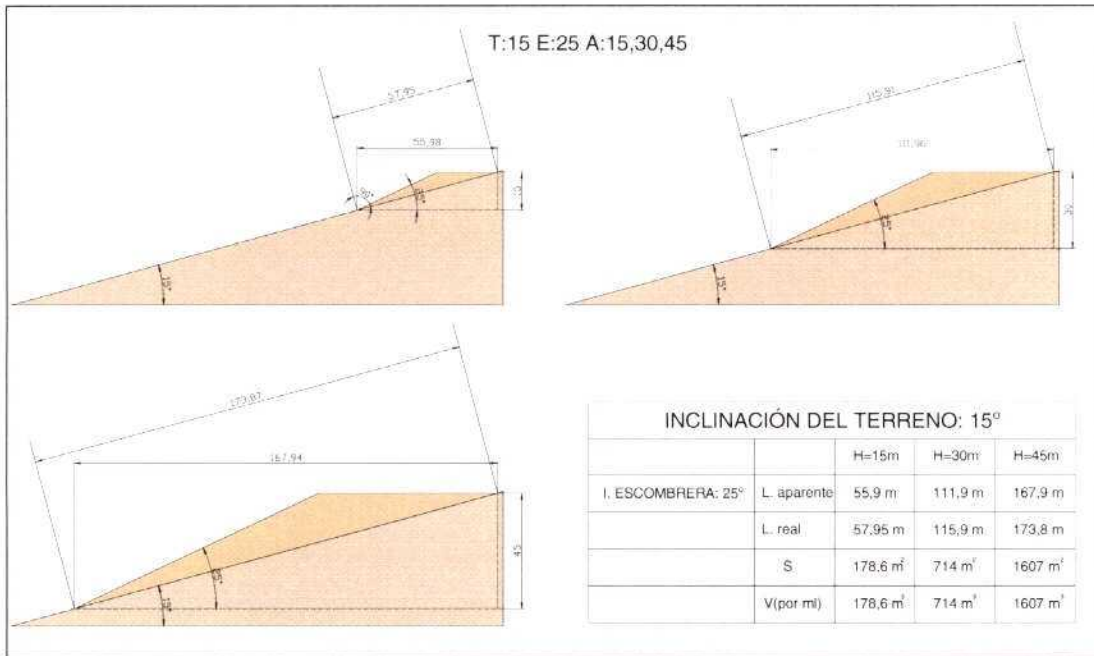


Figura 4.7.- Definición de longitudes real y aparente, superficie de la sección y volumen por metro lineal de la escombrera con talud de 25° y alturas variables de 15, 30 y 45 m apoyada en terreno con pendiente de 15°

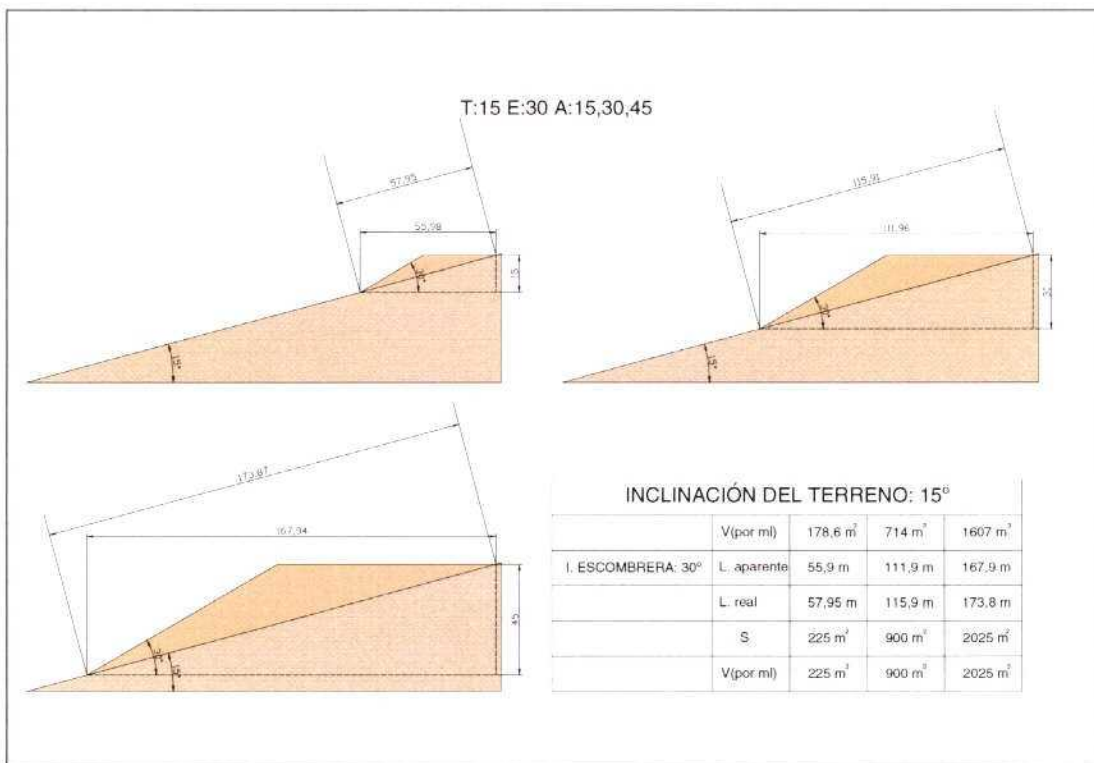


Figura 4.8.- Definición de longitudes real y aparente, superficie de la sección y volumen por metro lineal de la escombrera con talud de 30° y alturas variables de 15, 30 y 45 m apoyada en terreno con pendiente de 15°

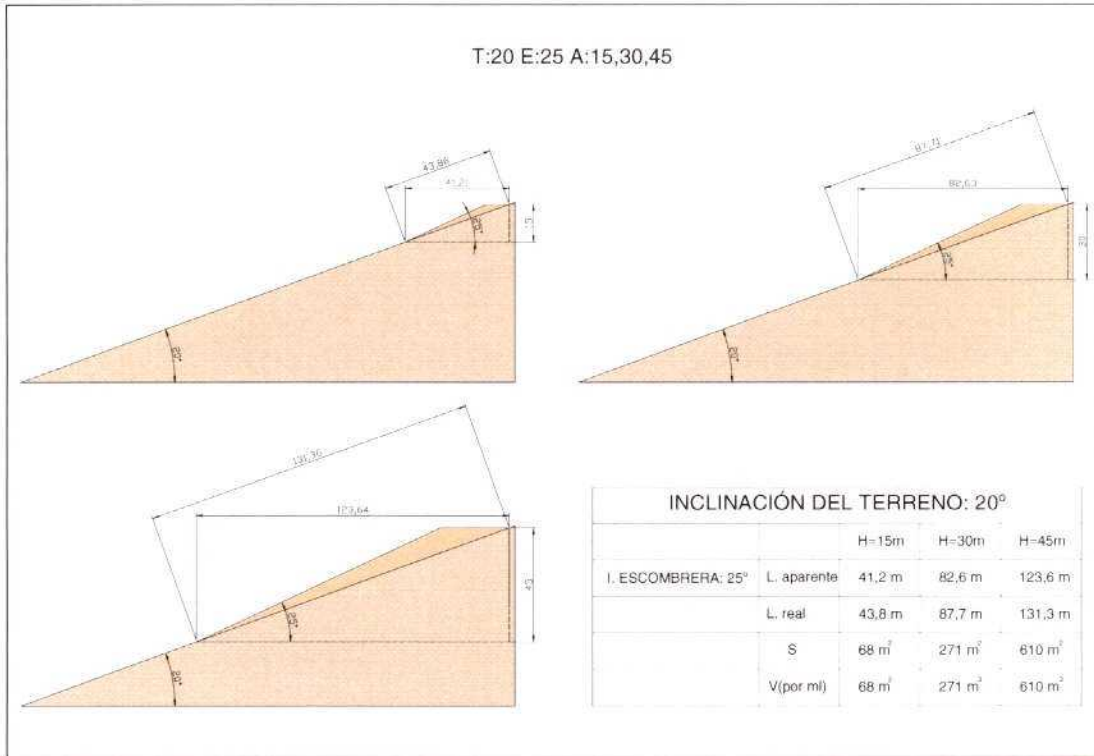


Figura 4.9.- Definición de longitudes real y aparente, superficie de la sección y volumen por metro lineal de la escombrera con talud de 25° y alturas variables de 15, 30 y 45 m apoyada en terreno con pendiente de 20°

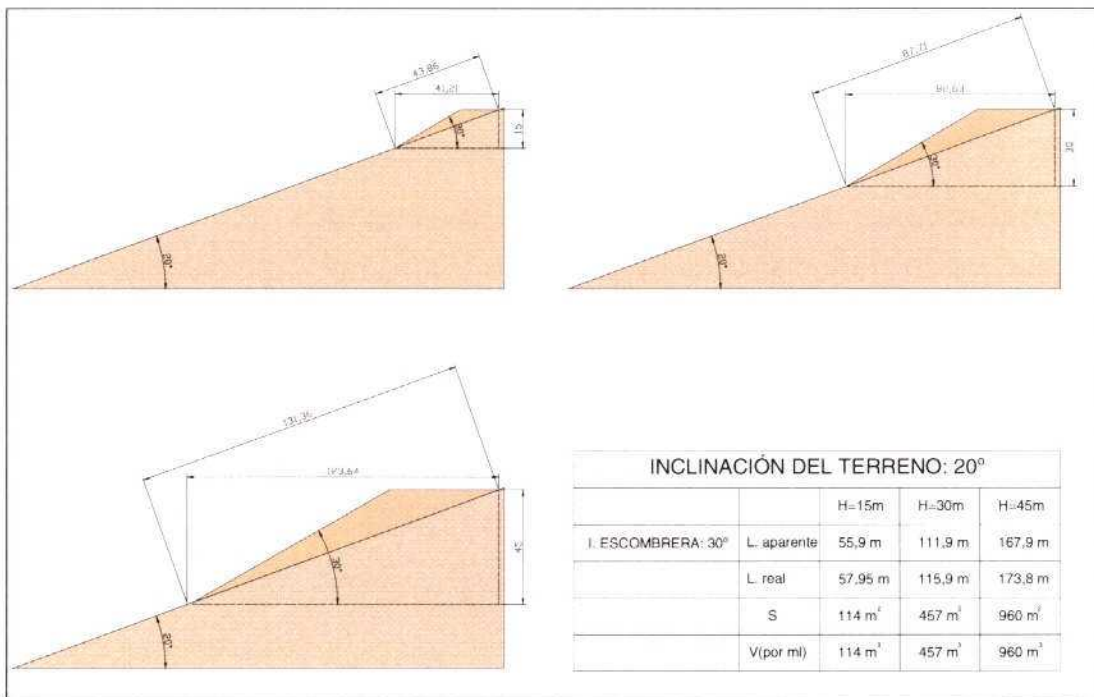


Figura 4.10.- Definición de longitudes real y aparente, superficie de la sección y volumen por metro lineal de la escombrera con talud de 30° y alturas variables de 15, 30 y 45 m apoyada en terreno con pendiente de 20°

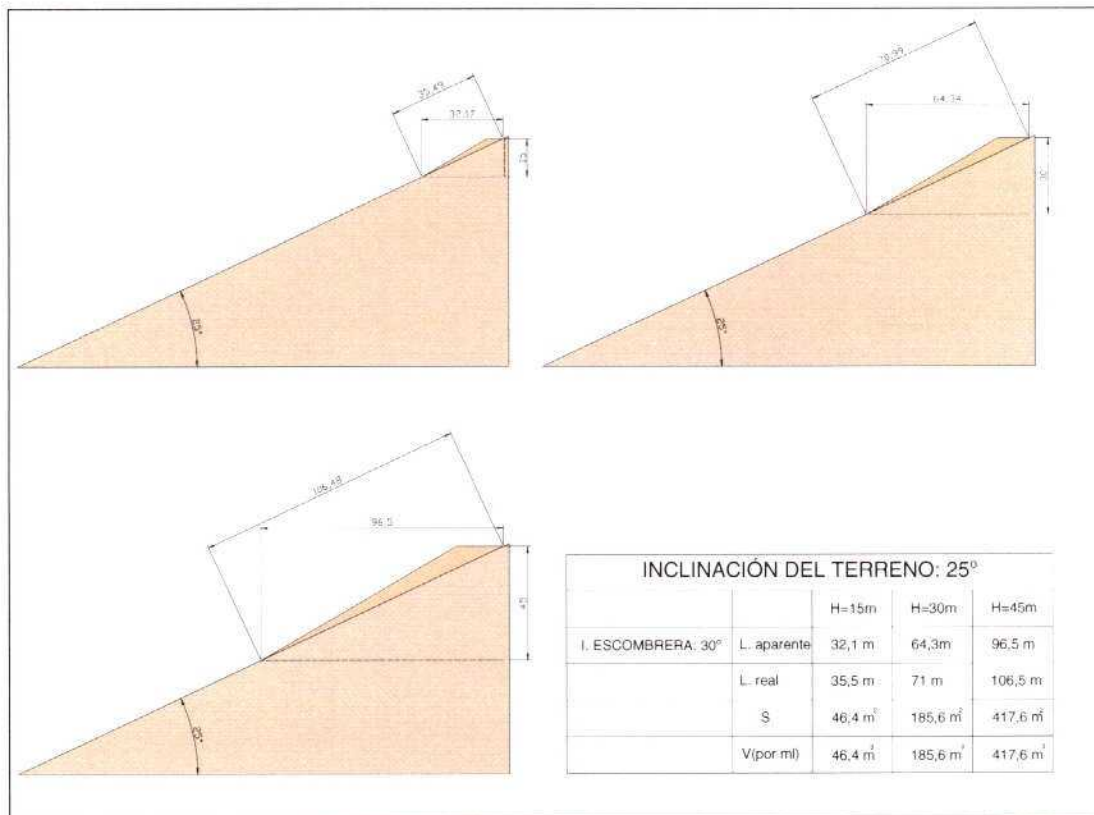


Figura 4.11.- Definición de longitudes real y aparente, superficie de la sección y volumen por metro lineal de la escombrera con talud de 30° y alturas variables de 15, 30 y 45 m apoyada en terreno con pendiente de 25°

#### 4.8.- AUSCULTACIÓN DE ESCOMBRERAS

Existe una serie de factores a considerar para la auscultación de los movimientos que experimentan los vertidos. Estos factores son los siguientes:

- Altura de los frentes de vertido.
- Cimentaciones en terrenos con pendientes pronunciadas.
- Estériles vertidos de baja resistencia al corte.
- Bajos factores de seguridad frente a rotura.
- Historial de inestabilidades o roturas.

Durante la construcción de una escombrera tienen lugar deformaciones provocadas por variaciones en las tensiones totales y en las presiones intersticiales, como consecuencia de las filtraciones, así como de otros efectos secundarios. Los movimientos en la cimentación también determinan las deformaciones. Estas deformaciones pueden provocar el asiento del material o un desplazamiento por cizalladura según una superficie de rotura. Al contrario que el desplazamiento por cizalladura, el asentamiento del material de vertido no implica necesariamente la rotura del talud.

La observación de las deformaciones se lleva a cabo por las siguientes razones:

- Seguridad del personal y de los equipos.
- Predicción del comportamiento de las escombreras.
- Obtención de información para el diseño de escombreras actuales y futuras.

Las roturas de las escombreras suelen ir precedidas de señales de alarma como son el aumento del ritmo de deformación, la aparición de discontinuidades de deformación, fracturas o incremento en la presión intersticial en la escombrera o en la cimentación. Estas señales pueden también presentarse antes de que la rotura sea inminente.

Los cambios significativos en los ritmos de deformación y la evaluación de sus posibles causas y consecuencias se estiman siguiendo los pasos que se indican a continuación:

- Instalación de instrumentos para medir deformaciones y presiones intersticiales durante y después de la construcción.
- Realización de observaciones periódicas, dependiendo del ritmo de desplazamiento y de la actividad constructiva que se lleve a cabo.
- Sistematización y evaluación de los datos.
- Registro de las posibles desviaciones.

#### **4.8.1.- Inspecciones visuales**

Las inspecciones visuales son de importancia crítica para mantener una operación segura en la escombrera.

Existen una serie de indicadores visuales que pueden reflejar problemas en una escombrera:

- Agrietamiento superficial excesivo.
- Nivel o cota de las bermas no constante.
- Necesidad de efectuar refuerzos superficiales.
- Abombamiento del talud de la escombrera.
- Deslizamiento del pie o de la cimentación.

Estas inspecciones deben implementarse durante la construcción de la escombrera y relacionarlas con las lecturas de los instrumentos.

La inspección visual es el medio más empleado para la vigilancia de las escombreras. Todo equipo técnico, así como los maquinistas y operadores de la escombrera, deben estar adiestrados en la identificación de señales de inestabilidad y también visitar y permanecer en la escombrera durante suficiente tiempo.

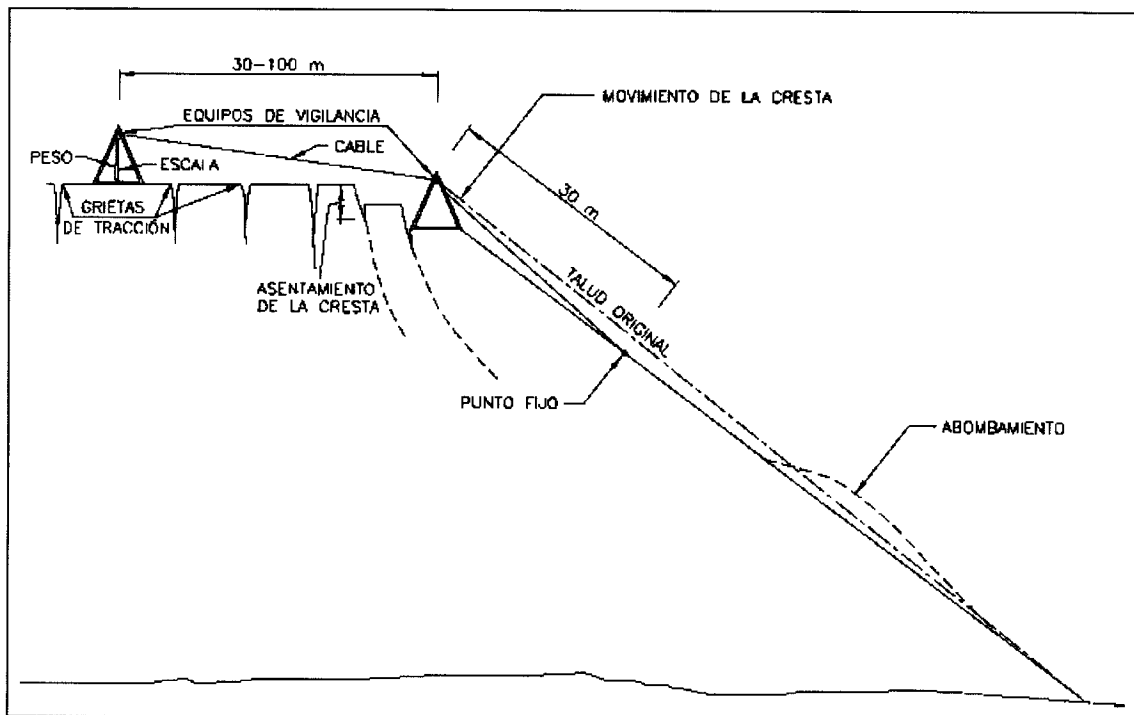


Figura 4.12.- Esquema de vigilancia realizada en una escombrera (Nichols, R.S., 1982).

- **Cresta de la escombrera**

Las inspecciones visuales regulares de la cresta de la escombrera permiten detectar signos precoces de inestabilidad, como pueden ser:

- Rocas sueltas o pequeños derrumbamientos producidos durante el asentamiento del material.
- Grietas cuyo tamaño depende de la importancia de los movimientos de subsidencia. Precisamente es en estas grietas donde es mas conveniente instalar la instrumentación. Todas las grietas existentes deben rellenarse para conseguir unos caminos de acceso hasta la cresta de la escombrera y para evitar, además, la infiltración de aguas superficiales. Los conductores de los volquetes y los maquinistas de los tractores deberán percibir y declarar su aparición a los encargados.
- Ligera concavidad superficial del talud. Esta concavidad puede deberse al abombamiento de la base o a la inclinación excesiva o sobrependiente en la cresta de la escombrera.
- Sobrependiente del talud bajo la cresta de la escombrera. Generalmente se debe a la acumulación de arteriales finos cerca de la cresta. Estos materiales suelen acumularse con un ángulo superior al de reposo, lo que les hace susceptibles de ocasionar un deslizamiento, llegando incluso a afectar a la propia cresta.



- **Talud de la escombrera**

Los abombamientos producidos en la cresta, el centro o el pie de la escombrera, durante el asentamiento del material, son señales de inestabilidad. El abombamiento de la cresta o del centro se deben a la sobrependiente del talud mas allá de su ángulo de reposo normal. Puede aparecer como consecuencia de la insuficiente segregación del material, por un ritmo excesivo de carga, o por la presencia de zonas de material saturado. No será un problema de importancia si, a medida que se continúe depositando material, se va alcanzando el ángulo de reposo adecuado en el talud. Por el contrario, cuando la sobrependiente persiste, una gran zona de la cresta puede verse afectada. En ese caso, la deposición de material debe detenerse hasta que el movimiento del talud cese.

El abombamiento del pie de la escombrera es síntoma de un asentamiento a gran escala. Las roturas de escombreras suelen ir precedidas de abombamientos del pie, aunque no todos los abombamientos del pie desembocan en la rotura de la escombrera.

- **Cimentación de la escombrera**

Algunas roturas a gran escala están provocadas por la rotura de los materiales de los cimientos. Estos fallos se pueden detectar por la elevación de los materiales de cimentación por delante del pie de la escombrera, lo cual puede inspeccionarse regularmente.

#### **4.8.2.- Auscultación acústica**

La presencia de sonidos procedentes del pie del talud en algunas escombreras construidas con materiales gruesos denominados “ruidos de roca” pueden preceder a la rotura de la estructura. El ruido puede ir aumentando de nivel y frecuencia durante horas y días antes de la rotura. Se debe probablemente a la fracturación de materiales de baja resistencia y al rozamiento lento entre las superficies de las rocas mas competentes. La detección de estos sonidos sirve para reubicar los trabajos de vertido hasta que se haya restablecido el equilibrio.

#### **4.8.3.- Auscultación instrumental**

Los métodos de auscultaciones se encuentran dentro de alguna de las categorías siguientes:

- Instrumentación actualmente aplicable, métodos y software. Esto incluye aquellos que están listos para ser aplicados, así como la instrumentación que puede requerir alguna modificación o adaptación al aplicarse a una escombrera. Los sistemas presentan variaciones desde simples y generalistas, hasta innovadores y particularizados a ejemplos concretos.

- Métodos aplicados en otros campos que tienen aplicación directa a la auscultación de escombreras.

#### **4.9.- MEDIDAS ANTIEROSIÓN DE LAS ESCOMBRERAS**

La erosión hídrica es un fenómeno presente en las zonas de estudio y que hace necesaria una evidente planificación en el diseño de las escombreras para la mitigación de los efectos de la acción erosiva.

Una adecuada revegetación de los taludes de la escombrera disminuiría la acción erosiva del agua, pero esta actuación en ocasiones no es viable mientras la vertiente de la escombrera se encuentre en operación, por lo que el material constituyente de la misma es fácilmente erosionable.

Se considera que una lluvia comienza a ser erosiva a partir de los 10 mm/h, coincidiendo con la capacidad de infiltración de un suelo compactado y desnudo. Teniendo en cuenta que los valores de intensidad de lluvia en las zonas de estudio alcanzan con asiduidad valores de entre 50 y 100 mm/h en época otoñal, resalta la necesidad de emprender medidas para paliar el efecto erosivo.

La solución a este problema radica en la construcción de elementos de ruptura del talud de la escombrera favoreciendo el tránsito del agua captada en la porción taluzada superior al elemento.

Se consideran elementos de ruptura de pendientes aquellos que favorezcan el tránsito transversal de las aguas captadas hasta su encauzamiento controlado, con posible y posterior decantación en trampas de sedimentos, antes de su vertido a cauces naturales.

La tipología de los elementos de ruptura de pendientes es variable, destacando como más comunes los canales abiertos, caballones, terrazas argelinas de fondo trapezoidal, cordones predegosos, y bermas de drenaje.

Es necesario calcular un módulo vertical que defina la altura máxima a la cual sería necesario situar un elemento de ruptura de pendiente. Este módulo vertical unificado definirá la distancia en la pendiente a la cual habrá que colocar los elementos de ruptura, y será función de la inclinación de la escombrera. El número de elementos de ruptura dependerá de la pendiente de la escombrera y de su altura.

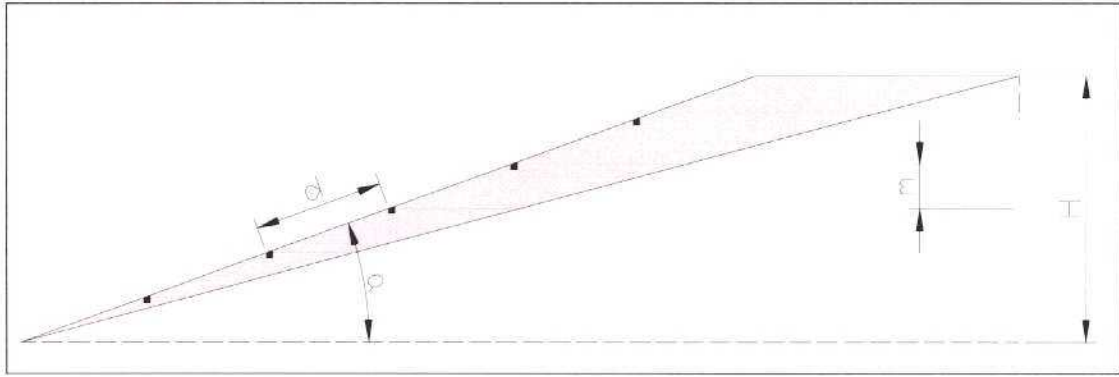


Figura 4.14.- Definición de los parámetros para la deducción de la distancia en pendiente de los elementos de ruptura ( $d$ ) en función de la altura de la escombrera ( $H$ ), el módulo vertical de ruptura ( $m$ ) y la pendiente de la escombrera ( $a$ ).

En virtud a criterios derivados de la experiencia obtenida en conservación de suelos agrícolas en pendiente o en obra pública, aceptados también para la práctica minera, se define el módulo vertical de ruptura de pendiente en 5 metros.

En función de las pendientes de la escombrera consideradas en el apartado 4.7., y que oscilan entre los 20 y 30°, se especifican a continuación, para las alturas de escombrera de 15, 30 y 45 metros, la distancia en pendiente a la que se encuentran los elementos de ruptura y el número de elementos necesarios.

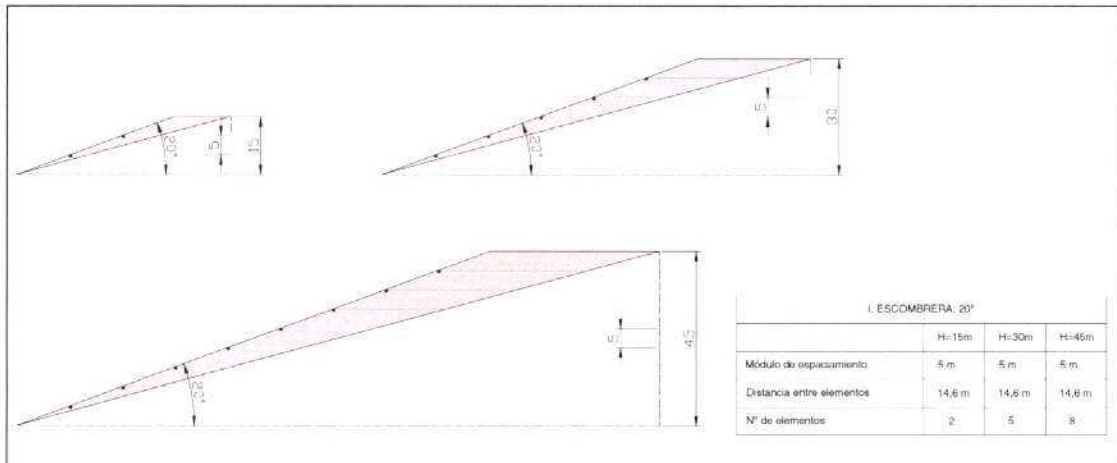


Figura 4.15.- Definición de la distancia en pendiente entre elementos de ruptura y del número de elementos para una pendiente de la escombrera de 20° y alturas de 15, 30 y 45 metros.

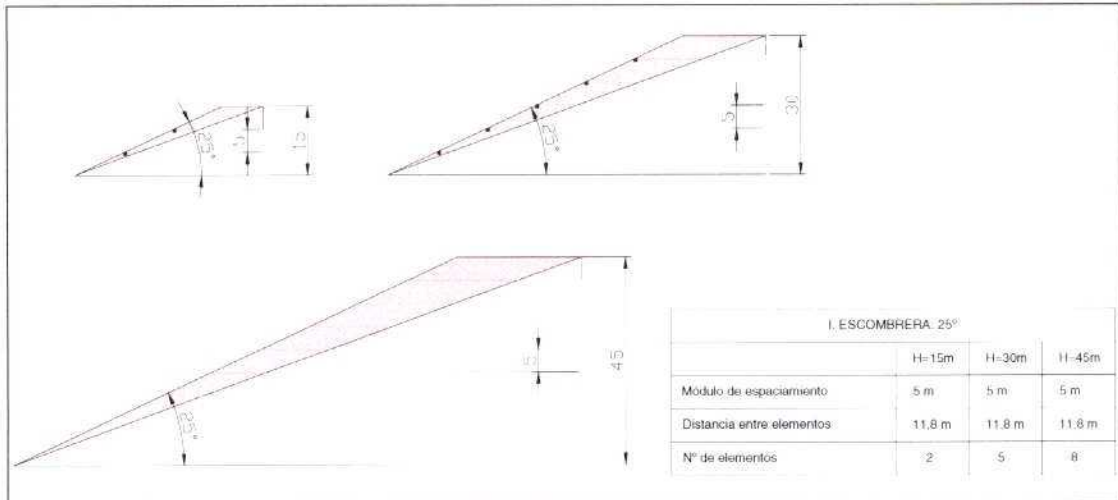


Figura 4.16.- Definición de la distancia en pendiente entre elementos de ruptura y del número de elementos para una pendiente de la escombrera de 25° y alturas de 15, 30 y 45 metros.

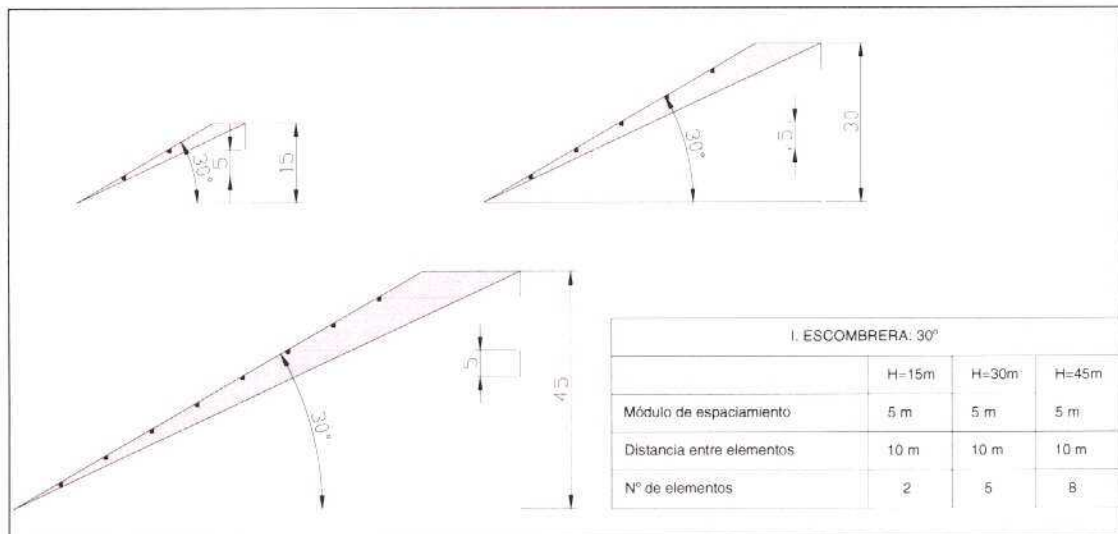


Figura 4.17.- Definición de la distancia en pendiente entre elementos de ruptura y del número de elementos para una pendiente de la escombrera de 30° y alturas de 15, 30 y 45 metros.

#### 4.10.- PROYECTO DE ABANDONO

Dentro del proyecto de instalación debe hacerse una memoria con una estimación o anteproyecto de abandono definitivo que incluirá todos aquellos aspectos técnicos que se prevean de utilidad (forma topográfica final, controles, desagües finales, etc.)

Transcurrido el periodo de tiempo definido en los programas de restauración, mantenimiento y control, y garantizada la estabilidad e inocuidad del depósito, debe enviarse a la Autoridad Minera competente un proyecto de abandono en el que se justifiquen las condiciones anteriores y se recojan todas aquellas actuaciones complementarias para su mantenimiento.

En cualquier caso, el proyecto de abandono debe incorporar las soluciones previstas para:

- Proteger los taludes exteriores de los terraplenes contra la erosión superficial y la degradación de los materiales.
- Dotar al conjunto de sistemas de drenaje de un funcionamiento a largo plazo.

Las escombreras deberán quedar protegidas frente a la erosión evitando que el agua recogida en las bermas o plataformas corra sobre los taludes. Por tanto, deben dejarse las superficies con una contrapendiente hacia el interior no inferior al 2%, disponiendo al final las oportunas cunetas de recogida y desvío.

Cuando se prevea una evolución desfavorable de una determinada escombrera debe planificarse el establecimiento de un área de protección al pie de la misma, suficientemente aislada y capaz de almacenar los estériles desprendidos o de rodadura y las masas deslizadas.

También se debe determinar el sistema de auscultación que debe permanecer operativo.

Una vez ejecutado el proyecto de abandono, la empresa propietaria debe presentar una solicitud de abandono y la Autoridad Minera emitir un *Acta Provisional de Abandono* en la que se fija un plazo razonable y justificado de responsabilidad compartida a partir del cual se considerará el depósito abandonado y clausurado y donde se emitirá un *Acta Definitiva de Abandono*.

## APÉNDICES

**APÉNDICE I. ESTACIONES GEOMECÁNICAS**

**APÉNDICE I.1. ESTACIONES GEOMECÁNICAS  
REALIZADAS EN LA SIERRA DE LA PUERTA**





**GEOCONTROL S.A.**  
PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN  
Y REHABILITACIÓN DE TÚNELES

FICHA DE  
ESTACIONES GEOMECANICAS

CANTERAS DE MURCIA

ESTACION N°: EG-19  
CLAVE: 0361-ING  
FECHA: 03/11/2004  
COORD.  
X: 605.858 Y: 4.225.408 Z:

LITOLOGIA : Calizas de grano medio a fino algo nodulosas de coloración blanquecina a crema con estructura masiva.

EDAD : Eoceno

MEDIDAS	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2
-DIR. BUZAMIENTO	128	132	142	124	126	138	146	136	131	137	21	24	28	18	19
-BUZAMIENTO	24	26	28	19	20	65	69	74	62	64	86	88	84	83	85
ESPACIADO															
>2000 mm	X	X	X	X	X										
600-2000 mm						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
200-600 mm															
60-200 mm															
<60 mm															
CONTINUIDAD															
>20 m															
10-20 m	X				X										
3-10 m		X	X	X		X	X		X	X	X		X	X	X
1-3 m								X				X			
<1 m															
APERTURA															
> 5 mm			X								X	X		X	X
1-5 mm	X	X		X	X		X						X		
< 1 mm						X		X	X	X					
RUGOSIDAD															
JRC (10)	6-8	6-8	6-8	4-6	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	12-14	10-12	12-14	12-14	12-14
L(m) / A(cm)	1/1,5					1/1					1/4				
AGUA															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
RELLENO															
NATURALEZA			marga								Ar		Ar		
ESPELOR mm			7								8		7		

CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACIÓN	PUNTAJACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	34
		D2	31
		D3	34
		Media	33
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	2
		Apertura	1
		Rugosidad	4
		Relleño	3
		Meteorización	3
		Suma	13
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	15	
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>65</b>	

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	131	23
J1	138	67
J2	22	85

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	

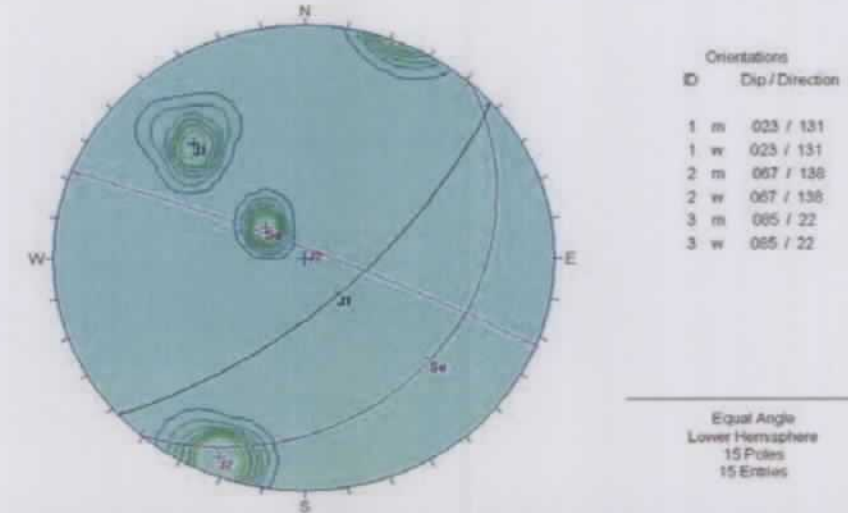


**GEOCONTROL S.A.**  
PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN  
Y REHABILITACIÓN DE TÚNELES

CANTERAS DE MURCIA

EG-19

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE											MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	45	41	46	52	41	42	39	43	46	44	44	44	820
J1	46	46	50	48	44	46	43	39	42	51	46	46	800
J2	32	44	28	18	19	34	32	19	38	37	30	30	370

FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECANICA



LITOLOGIA : Calizas de grano medio a fino algo nodulosas de coloración blanquecina a crema con intercalaciones ligeramente brechoides  
 EDAD : Eoceno

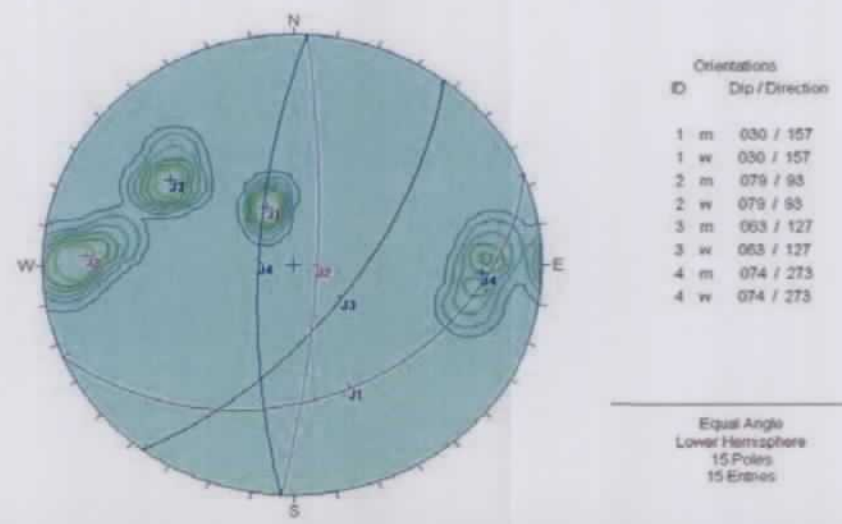
MEDIDAS	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3	J3	J4	J4	J4
-TIPO DE PLANO	158	165	154	149	93	99	91	88	123	121	135	129	272	284	264
-DIR. BUZAMIENTO	32	35	29	24	78	71	85	84	62	66	67	58	73	71	77
-BUZAMIENTO															
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
600-2000 mm	X	X		X										X	
200-600 mm			X												
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m															
10-20 m	X	X	X	X											
3-10 m					X	X	X	X					X		X
1-3 m									X	X	X			X	
<1 m												X			
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm		X													
1-5 mm	X		X	X		X							X	X	X
< 1 mm					X		X	X	X	X	X	X			
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	14-16	14-16	12-14	14-16	8-10	8-10	10-12	8-10	6-8	8-10	6-8	6-8	8-10	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/10				8/6				1/3				1/2		
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA		Dr	Ar			Dr+Ar	cc						Dr	Dr	
ESPESSOR mm		7	3			4	1						3	4	

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	4
		D2	3
		D3	4
		Media	28
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	3-10m
		Apertura	1-5 a <1mm
		Rugosidad	Rugoso
		Relleño	No a B<5mm
		Meteorización	Moderada
	Suma		17
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
		<b>SUMA TOTAL</b>	<b>64</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.	RESISTENCIA	METEORIZ.	ESTRUCT.
J1	157	30	R1=Muy debil	Grado I	MASIVA X
J2	93	79	R2=Debil	Grado II	EN BLOQUES X
J3	127	63	R3=Median. debil	Grado III X	COLUMNAR
J4	273	74	R4=Resistente X	Grado IV	TABULAR
			R5=Muy resist.	Grado V	IRREGULAR
			R6=Extrem. res:	Grado VI	DESMENUZ.

**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4	MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
	45	32	35	53	31	41	42	32	35	36	38	38						530
	28	19	37	45	35	35	39	32	36	37	34	425						
	40	30	42	41	36	38	32	40	31	25	36	480						

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA**



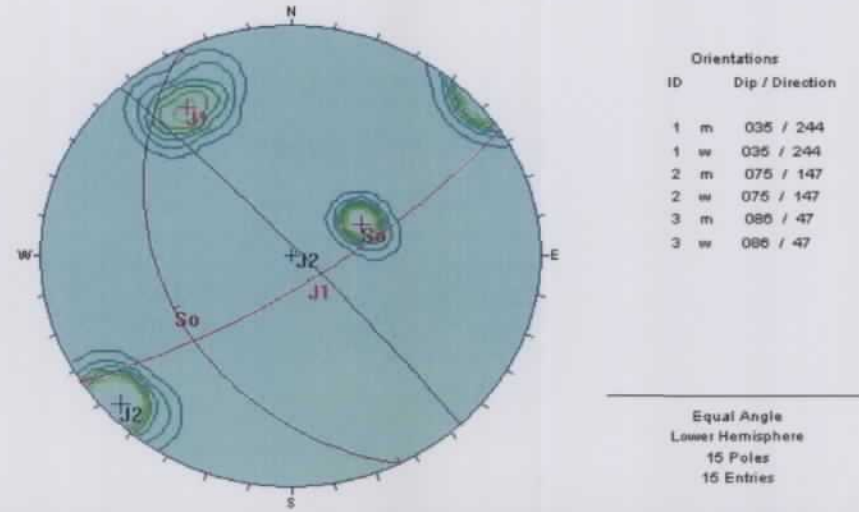
MEDIDAS															
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2
-DIR. BUZAMIENTO	242	245	256	239	237	146	156	152	141	140	48	47	41	49	52
-BUZAMIENTO	36	34	38	36	32	75	78	71	78	72	86	88	84	87	86
ESPACIADO															
>2000 mm			X			X			X	X	X	X	X	X	X
600-2000 mm	X	X		X	X		X	X							
200-600 mm															
60-200 mm															
<60 mm															
CONTINUIDAD															
>20 m	X	X	X	X	X										
10-20 m								X							
3-10 m							X	X		X			X		
1-3 m											X	X		X	X
<1 m															
APERTURA															
> 5 mm											X	X		X	X
1-5 mm	X	X		X	X								X		
< 1 mm			X			X	X	X	X	X					
RUGOSIDAD															
JRC (10)	8-10	8-10	10-12	8-10	8-10	6-8	6-8	8-10	6-8	6-8	8-10	8-10	10-12	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/2,5					1/2					0,5/1,5				
AGUA															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
RELLENO															
NATURALEZA		cc		cc							marga	marga		marga	
ESPESOR mm		2		1							8	7		8	

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR		VALORACION	PUNTUACION
RMR 1	<b>RESISTENCIA A COMP. SIMPLE</b>	400	4
RMR 2+3	<b>JUNTAS POR METRO</b>	D1	3
		D2	3
		D3	3
		Media	29
RMR 4	<b>ESTADO DE LAS JUNTAS</b>	Continuidad	10-20m
		Apertura	1-5 mm
		Rugosidad	Rugoso a lig.rugoso
		Relleño	No a B>5mm
		Meteorización	Moderada
		Suma	13
RMR 5	<b>PRESENCIA DE AGUA</b>	Seco	15
<b>SUMA TOTAL</b>			61

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.	RESISTENCIA	METEORIZ.	ESTRUCT.
So	244	35	R1=Muy debil	Grado I	MASIVA <input checked="" type="checkbox"/>
J1	147	75	R2=Debil	Grado II	EN BLOQUES
J2	47	86	R3=Median. debil	Grado III <input checked="" type="checkbox"/>	COLUMNAR
			R4=Resistente <input checked="" type="checkbox"/>	Grado IV	TABULAR <input checked="" type="checkbox"/>
			R5=Muy resist.	Grado V	IRREGULAR
			R6=Extrem. res:	Grado VI	DESMENUZ.

**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE												MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	52	54	40	46	50	46	43	48	45	47	47	850		
J1	58	58	56	56	46	51	52	53	55	48	53	1000		
J2	48	38	36	54	46	53	59	51	49	46	48	970		

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA**





**GEOCONTROL S.A.**  
PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN  
Y REHABILITACIÓN DE TÚNELES

**FICHA DE ESTACIONES GEOMECAICAS**

CANTERAS DE MURCIA

ESTACION Nº: EG-22b  
CLAVE: 0361-ING  
FECHA: 03/11/2004  
COORD.  
X: 605.920 Y: 4.223.420 Z:

**LITOLOGIA :** Calizas de grano medio a fino algo nodulosas de coloración blanquecina a crema con intercalaciones ligeramente brechoides  
**EDAD :** Eoceno

MEDIDAS															
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J3	J3	J3	J4	J4
-DIR. BUZAMIENTO	336	318	342	351	352	350	345	219	210	229	112	103	108	293	299
-BUZAMIENTO	21	23	25	19	82	85	82	79	83	81	26	37	30	76	79
ESPACIADO															
>2000 mm	X	X		X										X	X
600-2000 mm			X		X	X		X					X		
200-600 mm							X	X	X	X	X	X			
60-200 mm															
<60 mm															
CONTINUIDAD															
>20 m		X													
10-20 m	X		X	X											
3-10 m														X	
1-3 m					X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
<1 m							X	X	X						
APERTURA															
> 5 mm														X	X
1-5 mm	X	X		X	X	X	X				X	X	X		
< 1 mm			X					X	X	X	X	X			
RUGOSIDAD															
JRC (10)	4-6	4-6	6-8	4-6	6-8	6-8	6-8	8-10	10-12	8-10	6-8	6-8	8-10	6-8	6-8
L(m) / A(cm)	1/0,5				0,3/0,4			1/3			1/1,5			1/1	
AGUA															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
RELLENO															
NATURALEZA	cc		cc					cc	cc					Dr+Ar	Dr+Ar
ESPESOR mm	2		1					0,5	0,8					9	7

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1 RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3 JUNTAS POR METRO	D1	31
	D2	34
	D3	29
	Media	31
RMR 4 ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	2
	Apertura	1
	Rugosidad	3
	Relleno	4
	Meteorización	3
	Suma	13
RMR 5 PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>63</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	336	22
J1	349	83
J2	219	81
J3	107	31
J4	296	77

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

ESTRUCT.	
MASIVA	
EN BLOQUES	X
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	

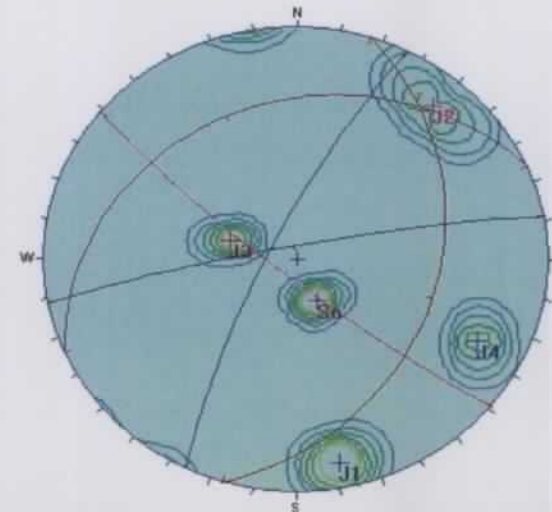


**GEOCONTROL S.A.**  
PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN  
Y REHABILITACIÓN DE TÚNELES

CANTERAS DE MURCIA

EG-22b

**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



ID	Dip / Direction
1 m	022 / 336
1 w	022 / 336
2 m	083 / 340
2 w	083 / 340
3 m	081 / 210
3 w	081 / 210
4 m	031 / 107
4 w	031 / 107
5 m	077 / 296
5 w	077 / 296

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
15 Poles  
15 Entries

DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE										MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	33	26	46	34	28	30	29	34	35	41	34	520
J1	41	55	54	52	40	56	41	45	51	46	48	910
J2	14	38	22	25	34	30	40	38	23	26	29	340
J3	29	46	49	44	46	45	52	38	37	41	43	720

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOMECAICA/**





## FICHA DE ESTACIONES GEOMECHANICAS

**CANTERAS DE MURCIA**

ESTACION Nº: EG-23a  
 CLAVE: 0361-ING  
 FECHA: 03/11/2004  
 COORD.  
 X: 605.640 Y: 4.223.578 Z:

**LITOLOGIA :** Calizas de grano medio a fino algo nodulosas de coloración blanquecina a crema con intercalaciones ligeramente brechoides

**EDAD :** Eoceno

MEDIDAS	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	115	116	112	119	302	295	294	312	212	218	215	206	28	31	33
-BUZAMIENTO	36	38	33	39	63	65	59	68	52	56	49	51	47	42	49
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm	X	X	X		X	X	X	X							
600-2000 mm				X							X				X
200-600 mm									X	X		X	X	X	
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m	X	X	X	X											
10-20 m							X								
3-10 m					X	X		X	X	X	X		X	X	X
1-3 m												X			
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm															
1-5 mm	X	X	X						X	X		X		X	
< 1 mm				X	X	X	X	X			X		X		X
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	6-8	6-8	4-6	6-8	8-10	8-10	8-10	10-12	4-6	4-6	6-8	4-6	6-8	6-8	6-8
L(m) / A(cm)	1/1,2				1/3				1/0,5				1/2		
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA		marga	marga						marga	marga			marga		
ESPESOR mm		2	2						2	1			1		

### CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR

RMR	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN	
RMR 1 RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4	
RMR 2+3 JUNTAS POR METRO	D1	34	
	D2	31	
	D3	31	
Media		32	
RMR 4 ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	3-10 a 10-20m	1
	Apertura	1-5 mm	2
	Rugosidad	Lig.rugoso a liso	2
	Relleno	No a B<5mm	4
	Meteorización	Moderada	3
Suma		12	
RMR 5 PRESENCIA DE AGUA	Seco	15	
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>63</b>	

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	116	36
J1	301	64
J2	213	52
J3	31	46

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

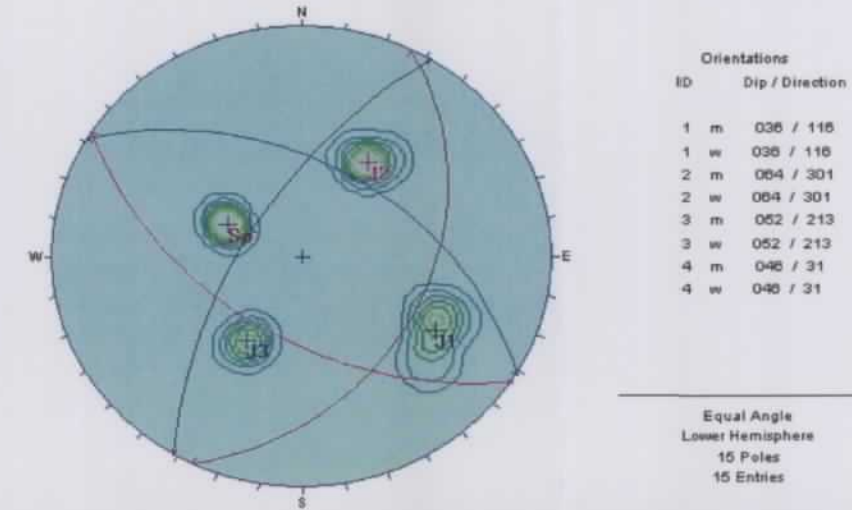
ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	
COLUMNAR	
TABULAR	X
IRREGULAR	
DESMENUZ.	



## CANTERAS DE MURCIA

EG-23a

### REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE														MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
	So	34	26	41	29	30	28	32	34	27	31	31	290			
J1	40	26	36	39	30	38	43	41	35	38	37	480				
J3	34	29	29	45	34	35	33	39	29	32	34	520				

### FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOMECHANICA





FICHA DE ESTACIONES GEOMECAICAS

CANTERAS DE MURCIA

ESTACION Nº: EG-23b  
 CLAVE: 0361-ING  
 FECHA: 03/11/2004  
 COORD. X: 605.585 Y: 4.223.370 Z:

LITOLOGIA : Calizas de grano medio a fino algo nodulosas de coloración blanquecina a crema con intercalaciones ligeramente brechoides

EDAD : Eoceno

MEDIDAS	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	138	121	148	136	265	271	175	254	8	355	4	12	152	148	161
-BUZAMIENTO	23	21	19	26	87	89	82	84	65	61	69	63	89	84	88
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm				X											X
600-2000 mm	X	X	X										X	X	
200-600 mm					X	X	X	X	X	X	X	X			
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m		X													
10-20 m	X		X	X											
3-10 m					X	X	X						X	X	X
1-3 m							X		X	X		X	X	X	X
<1 m											X				
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm								X				X		X	
1-5 mm					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
< 1 mm	X	X	X	X											
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	8-10	8-10	6-8	8-10	6-8	6-8	4-6	6-8	4-6	4-6	6-8	4-6	10-12	10-12	10-12
L(m) / A(cm)	1/2				1/1				1/0.3				1/4		
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA					Dr	Ar	Ar		Dr		Dr	Ar			
ESPESOR mm					2	4	3		7		3	3			

CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACION	PUNTUACION
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	300	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	3
		D2	4
		D3	4
		Media	28
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	3-10 m
		Apertura	1-5 mm
		Rugosidad	Lig. rugoso
		Relleño	No a B>5mm
		Meteorización	Moderada-alta
		Suma	12
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
		<b>SUMA TOTAL</b>	<b>59</b>

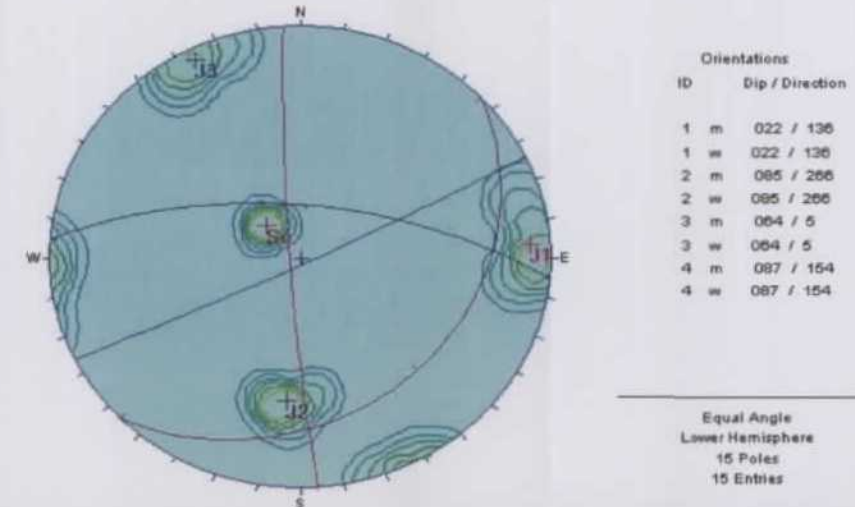
POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.	RESISTENCIA	METEORIZ.	ESTRUCT.
So	136	22	R1=Muy debil	Grado I	MASIVA X
J1	266	85	R2=Debil	Grado II	EN BLOQUES
J2	5	64	R3=Median. debil X	Grado III X	COLUMNAR
J3	154	87	R4=Resistente	Grado IV X	TABULAR
			R5=Muy resist.	Grado V	IRREGULAR X
			R6=Extrem. res:	Grado VI	DESMENUZ.



CANTERAS DE MURCIA

EG-23b

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE														MED	JCS (kg/cm <sup>3</sup> )
So	52	35	29	26	29	32	34	28	35	38	34	34	38	34	510	
J1	45	42	49	41	39	38	43	42	45	40	42	42	45	40	580	
J2	48	46	44	34	39	41	32	35	31	36	39	39	36	39	620	
J3	52	40	46	45	41	42	40	36	51	52	45	45	45	45	680	

FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA





**GEOCONTROL S.A.**  
PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN  
Y REHABILITACIÓN DE TÚNELES

FICHA DE  
ESTACIONES GEOMECAICAS

CANTERAS DE MURCIA

ESTACION Nº: EG-23c  
CLAVE: 0361-ING  
FECHA: 03/11/2004  
COORD.  
X: 605.695 Y: 4.223.355 Z:

LITOLOGIA : Calizas de grano medio a fino algo nodulosas de coloración blanquecina a crema estratificadas en bancos métricos

EDAD : Eoceno

MEDIDAS	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2
-DIR. BUZAMIENTO	102	108	95	91	114	103	108	109	115	101	23	28	25	18	17
-BUZAMIENTO	6	10	9	13	8	56	51	48	59	53	67	69	75	62	65
ESPACIADO															
>2000 mm			X						X		X	X		X	X
600-2000 mm	X	X		X	X	X	X	X		X			X		
200-600 mm															
60-200 mm															
<60 mm															
CONTINUIDAD															
>20 m				X											
10-20 m	X	X	X		X			X			X	X			X
3-10 m						X	X		X	X			X	X	
1-3 m															
<1 m															
APERTURA															
> 5 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1-5 mm															
< 1 mm															
RUGOSIDAD															
JRC (10)	8-10	8-10	10-12	8-10	8-10	8-10	8-10	6-8	8-10	8-10	6-8	6-8	8-10	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/2					1/3					1/1,5				
AGUA															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
RELLENO															
NATURALEZA		cc	cc	Ar		Ar	Ar		Ar	Ar	Dr	Ar	Dr	Ar	Ar
ESPESOR mm		9	8	6		8	16		10	11	13	16	8	9	11

CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACIÓN	PUNTUACION
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	34
		D2	34
		D3	34
	Media	34	
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	1
		Apertura	0
		Rugosidad	4
		Relleno	1
		Meteorización	2
Suma	8		
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
SUMA TOTAL			61

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	101	9
J1	107	53
J2	22	68

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	X
Grado V	
Grado VI	

ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	
COLUMNAR	
TABULAR	X
IRREGULAR	
DESMENUZ.	

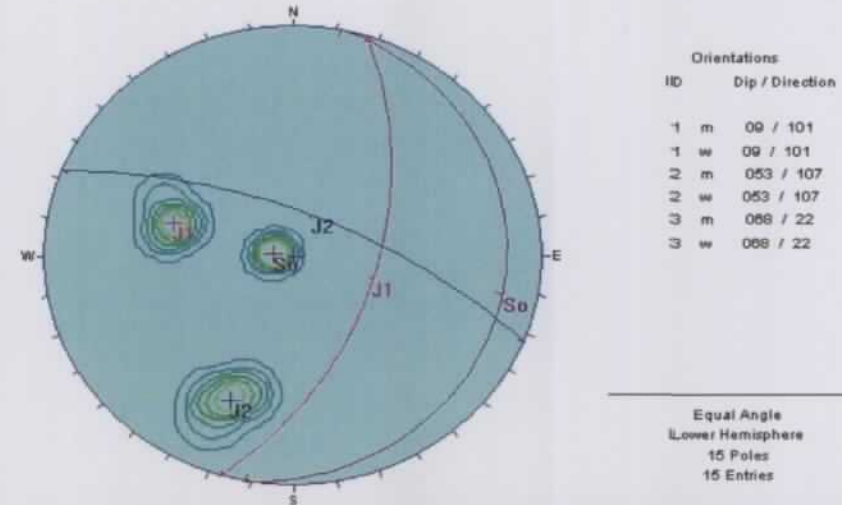


**GEOCONTROL S.A.**  
PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN  
Y REHABILITACIÓN DE TÚNELES

CANTERAS DE MURCIA

EG-23c

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE											MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	28	23	26	25	31	24	21	21	20	19	24	24	320
J1	28	48	50	54	52	32	34	38	32	41	41	610	
J2	29	34	49	47	21	26	32	34	31	36	34	500	

FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOMECAICA





**GEOCONTROL S.A.**  
PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN  
Y REHABILITACIÓN DE TUNELES

FICHA DE  
ESTACIONES GEOMECAICAS

CANTERAS DE MURCIA

ESTACION N°: EG-24a  
CLAVE: 0361-ING  
FECHA: 03/11/2004  
COORD.  
X: 605.580 Y: 4.223.480 Z:

LITOLOGIA : Calizas de grano medio a fino algo nodulosas de coloración blanquecina a crema estratificadas en bancos decimétricos

EDAD : Eoceno

MEDIDAS	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	106	108	95	116	36	31	39	35	263	271	268	265	153	158	154
-BUZAMIENTO	19	12	21	15	88	87	85	89	90	89	87	88	74	71	78
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm							X						X	X	X
600-2000 mm			X		X	X		X	X	X	X				
200-600 mm	X	X		X											
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m	X	X	X	X											
10-20 m															
3-10 m						X					X				
1-3 m					X		X	X	X	X		X	X	X	X
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm	X	X		X	X	X		X	X	X	X		X	X	X
1-5 mm			X				X					X			
< 1 mm															
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	6-8	6-8	8-10	6-8	6-8	6-8	8-10	6-8	8-10	8-10	10-12	8-10	10-12	10-12	10-12
L(m) / A(cm)	1/1,5				1/1				1/3			1/4			
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA	Dr	Dr			Dr		Ac	Dr		Dr	Dr		Ac		
ESPESOR mm	6	7			7		3	12	8		7	4		8	

RMR	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1
		D2
		D3
		Media
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad
		Apertura
		Rugosidad
		Relleno
		Meteorización
	Suma	
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>62</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	B.UZ.
So	105	17
J1	35	87
J2	267	88
J3	155	74

RESISTENCIA
R1=Muy debil
R2=Debil
R3=Median. debil
R4=Resistente X
R5=Muy resist.
R6=Extrem. res:

METEORIZ.
Grado I
Grado II
Grado III X
Grado IV X
Grado V
Grado VI

ESTRUCT.
MASIVA X
EN BLOQUES
COLUMNAR
TABULAR X
IRREGULAR
DESMENUZ.

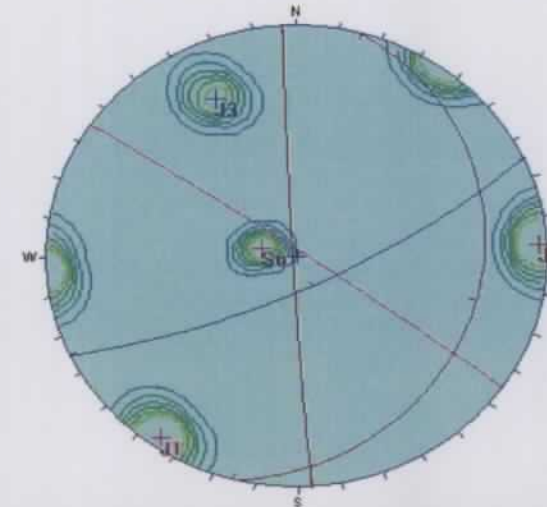


**GEOCONTROL S.A.**  
PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN  
Y REHABILITACIÓN DE TUNELES

CANTERAS DE MURCIA

EG-24a

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



ID	Dip / Direction
1 m	017 / 105
1 w	017 / 105
2 m	087 / 35
2 w	087 / 35
3 m	088 / 267
3 w	088 / 267
4 m	074 / 155
4 w	074 / 155

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
15 Poles  
15 Entries

DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE												MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	54	42	59	49	41	42	25	35	39	41	43	43	43	710
J1	38	25	43	34	28	42	29	34	30	28	33	33	33	420
J2	42	23	38	36	39	35	31	36	34	36	35	35	35	470
J3	46	39	39	38	45	38	37	34	35	39	39	39	39	590

FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOMECAICA







FICHA DE ESTACIONES GEOMECAICAS

CANTERAS DE MURCIA

ESTACION Nº: EG-24b  
 CLAVE: 0361-ING  
 FECHA: 03/11/2004  
 COORD.  
 X: 605.578 Y: 4.223.430 Z:

LITOLOGIA : Calizas de grano medio a fino algo nodulosas de coloración blanquecina a crema con niveles algo brechoides

EDAD : Eoceno

MEDIDAS	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	129	121	120	137	138	129	136	137	212	206	219	217	32	38	29
-BUZAMIENTO	16	13	18	19	64	68	74	61	67	69	61	75	47	52	41
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm									X	X					
600-2000 mm			X					X	X			X	X		X
200-600 mm	X	X		X	X	X	X							X	
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m	X	X	X	X											
10-20 m															
3-10 m					X	X	X	X							
1-3 m									X	X	X	X	X	X	X
<1 m										X					
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm	X	X	X	X	X	X	X	X			X				
1-5 mm									X	X		X	X	X	X
< 1 mm															
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	8-10	10-12	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	6-8	6-8	4-6	6-8	6-8	6-8	6-8
L(m) / A(cm)	1/3,5				1/2				0,5/1,5			1/1			
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA	Ar	Ar	cc	cc	Ar	Dr	Dr	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar			
ESPESSOR mm															

CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	34
		D2	31
		D3	29
		Media	31
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	1
		Apertura	0
		Rugosidad	4
		Relleno	1
		Meteorización	2
		Suma	8
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
<b>SUMA TOTAL</b>			<b>58</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	127	16
J1	135	67
J2	213	68
J3	33	47

RESISTENCIA
R1=Muy debil
R2=Debil
R3=Median. debil
R4=Resistente X
R5=Muy resist.
R6=Extrem. res:

METEORIZ.
Grado I
Grado II
Grado III X
Grado IV X
Grado V
Grado VI

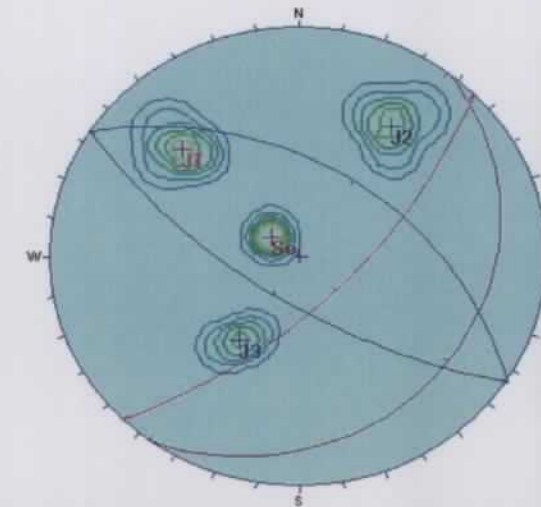
ESTRUCT.
MASIVA
EN BLOQUES
COLUMNAR
TABULAR X
IRREGULAR X
DESMENUZ.



CANTERAS DE MURCIA

EG-24b

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



Orientations

ID	Dip / Direction
11 m	016 / 127
11 w	016 / 127
2 m	067 / 135
2 w	067 / 135
3 m	068 / 213
3 w	068 / 213
4 m	047 / 33
4 w	047 / 33

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
15 Poles  
15 Entries

DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBÓTE										MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	32	45	20	44	44	31	38	31	26	24	34	520
J1	25	34	24	34	29	25	28	29	35	39	30	360
J2	45	44	44	41	40	46	43	48	40	41	43	680
J3	38	52	39	35	34	38	41	42	41	36	40	650

FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOMECAICA/



<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm															
600-2000 mm					X	X	X	X	X	X	X	X			
200-600 mm	X	X	X	X											
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m	X	X	X	X											
10-20 m															
3-10 m													X	X	X
1-3 m					X	X	X	X	X	X	X	X			
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm													X	X	X
1-5 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
< 1 mm															
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	12-14	12-14	12-14	12-14	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	10-12	10-12	10-12
L(m) / A(cm)	1/4				1/2				1/1				1/2		
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA									Dr-Ar	Dr-Ar	Dr-Ar	Dr-Ar	Dr-Ar	Dr-Ar	Dr-Ar
ESPESOR mm									1	2	2	1	4	5	5

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

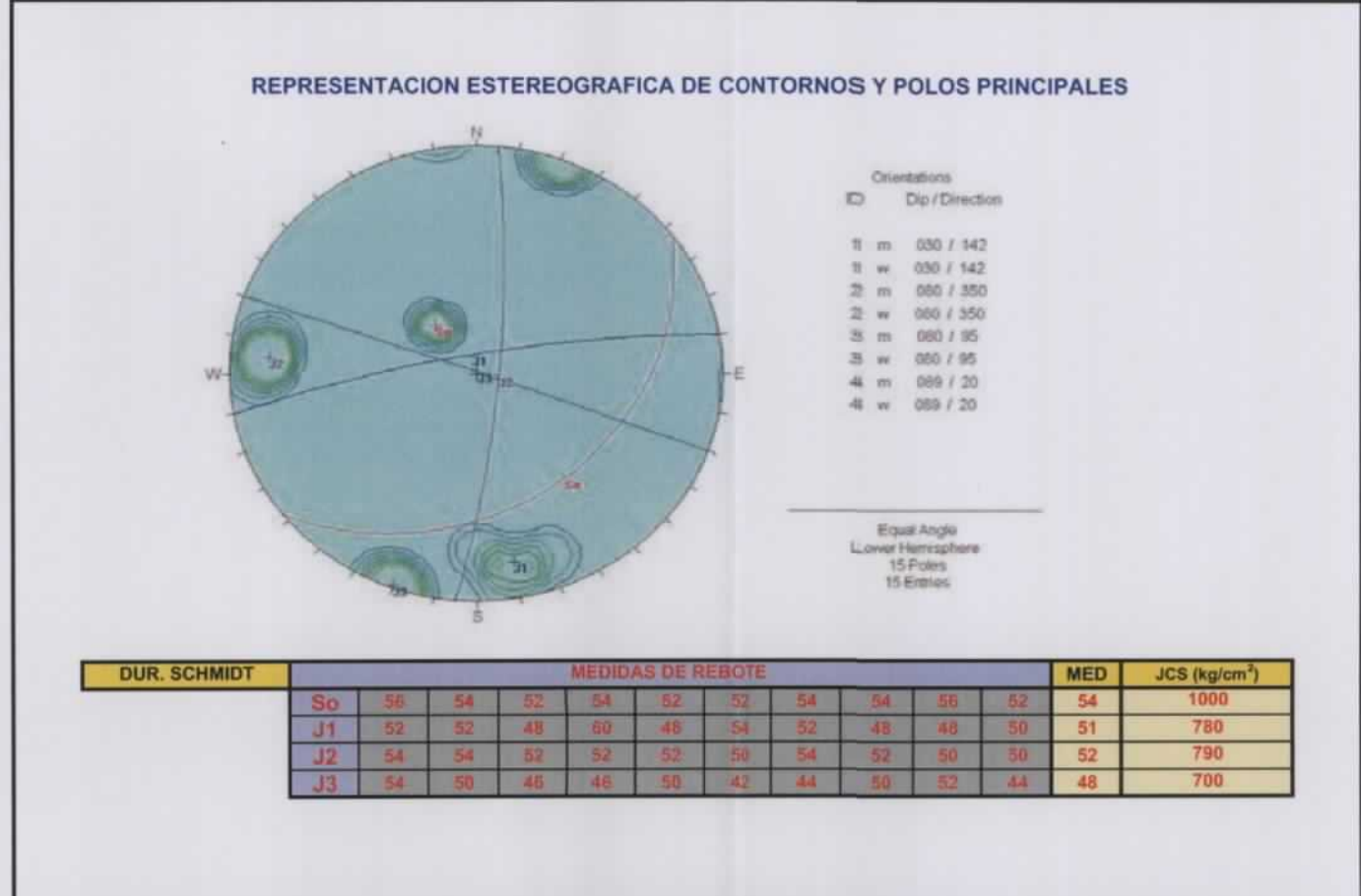
RMR		VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	31
		D2	34
		D3	34
		Media	33
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	3-10m
		Apertura	1-5 mm
		Rugosidad	Rugoso a lig.rugoso
		Relleño	No hay a B<5mm
		Meteorización	Moderada-Ligera
		Suma	15
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
		<b>SUMA TOTAL</b>	<b>67</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	142	30
J1	350	80
J2	95	80
J3	20	89

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	X
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	



 <b>GEOCONTROL S.A.</b> PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN DE TÚNELES	<b>FICHA DE ESTACIONES GEOMECAICAS</b> <b>CANTERAS DE MURCIA</b>		ESTACION Nº: <b>EG-2</b> CLAVE: 0361-ING FECHA: 10/11/2004 COORD. X:606.264 Y:4.223.543 Z:

**LITOLOGIA :** Calizas de grano medio a fino algo nodulosas de coloración blanquecina a crema con niveles algo brechoides

**EDAD :** Eoceno

MEDIDAS	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2
-DIR. BUZAMIENTO	140	142	153	138	130	340	350	340	345	330	54	60	55	50	55
-BUZAMIENTO	52	50	48	50	52	25	30	18	25	30	85	80	85	82	87
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm															
600-2000 mm											X	X	X	X	X
200-600 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m	X	X	X	X	X										
10-20 m															
3-10 m											X	X	X	X	X
1-3 m						X	X	X	X	X					
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm															
1-5 mm	X	X	X	X	X						X	X	X	X	X
< 1 mm						X	X	X	X	X					
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/2,5					1/3					1/1				
<b>AGUA</b>															
SECO															
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA	Margas		Margas	Margas							Margas	Margas	Margas	Margas	
ESPESOR mm	1		2	1							2	1	2	2	

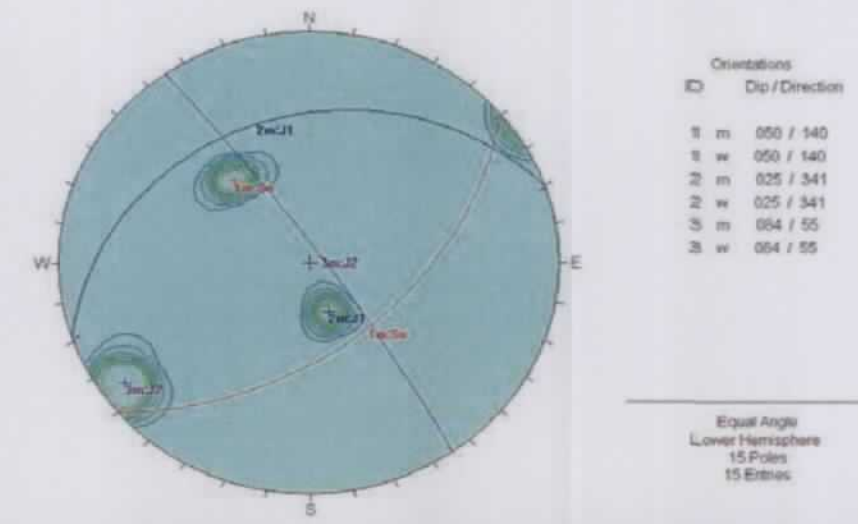
**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN		
<b>RMR 1</b>	<b>RESISTENCIA A COMP. SIMPLE</b>	<b>400</b>		
<b>RMR 2+3</b>	<b>JUNTAS POR METRO</b>	D1	1	34
		D2	1	34
		D3	1	34
	<b>Media</b>		<b>34</b>	
<b>RMR 4</b>	<b>ESTADO DE LAS JUNTAS</b>	Continuidad	3-10m	2
		Apertura	1-5 mm	1
		Rugosidad	Rugoso a lig.rugoso	4
		Relleno	No hay a B<5mm	4
		Meteorización	Moderada-Ligera	4
		<b>Suma</b>		<b>15</b>
<b>RMR 5</b>	<b>PRESENCIA DE AGUA</b>	<b>Seco</b>	<b>15</b>	
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>68</b>		

<b>POLOS MEDIOS</b>	D.BUZ.	BUZ.	<b>RESISTENCIA</b>	<b>METEORIZ.</b>	<b>ESTRUCT.</b>
So	140	50	R1=Muy debil	Grado I	MASIVA X
J1	341	25	R2=Debil	Grado II X	EN BLOQUES
J2	55	84	R3=Median. debil	Grado III X	COLUMNAR
			R4=Resistente X	Grado IV	TABULAR X
			R5=Muy resist.	Grado V	IRREGULAR
			R6=Extrem. res:	Grado VI	DESMENUZ.

 <b>GEOCONTROL S.A.</b> PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN DE TÚNELES	<b>CANTERAS DE MURCIA</b>		<b>EG-2</b>

**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE										MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	34	32	28	34	30	30	32	34	30	30	32	390
J1	28	30	28	32	34	36	32	28	26	34	31	285
J2	42	50	40	50	52	36	38	32	32	42	41	500

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA**



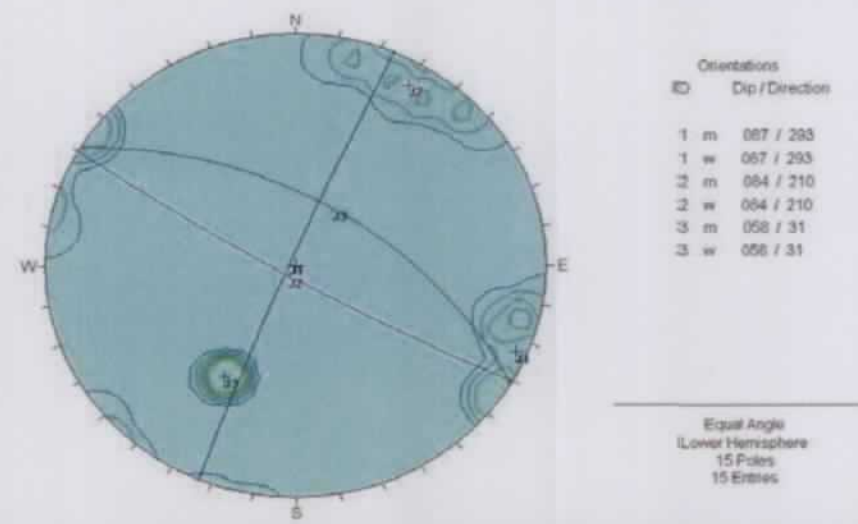
<b>LITOLOGIA :</b> Calizas de grano medio a fino algo nodulosas de coloración blanquecina a crema con niveles algo brechoides															
<b>EDAD :</b> Eoceno															
<b>MEDIDAS</b>															
-TIPO DE PLANO	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3	J3	J3(F)
-DIR. BUZAMIENTO	125	285	290	305	280	220	200	210	189	230	35	30	30	28	30
-BUZAMIENTO	90	80	85	88	90	85	85	80	85	88	60	59	55	57	57
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm															X
600-2000 mm	X	X	X	X	X										
200-600 mm						X	X	X	X	X	X	X	X	X	
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m															
10-20 m															X
3-10 m	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
1-3 m															
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm											X	X	X	X	X
1-5 mm						X	X	X	X	X					
< 1 mm	X	X	X	X	X										
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12
L(m) / A(cm)	1/1,5					1/1					1/3				
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA							Margas	Margas	Margas	Margas	Margas	Margas	Margas	Dr-Ar	
ESPESOR mm							1	1	1	1	1	1	1	10	

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR		VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	<b>RESISTENCIA A COMP. SIMPLE</b>	400	4
RMR 2+3	<b>JUNTAS POR METRO</b>	D1	2
		D2	2
		D3	1
		Media	32
RMR 4	<b>ESTADO DE LAS JUNTAS</b>	Continuidad	3-10m
		Apertura	1-5 mm
		Rugosidad	Rugoso a lig.rugoso
		Relleno	No hay a B<5mm
		Meteorización	Alta
		Suma	12
RMR 5	<b>PRESENCIA DE AGUA</b>	Seco	15
<b>SUMA TOTAL</b>		63	63

POLOS MEDIOS		RESISTENCIA	METEORIZ.	ESTRUCT.
J1	293	87	Grado I	MASIVA X
J2	210	84	Grado II	EN BLOQUES X
J3	31	58	Grado III	COLUMNAR
			Grado IV X	TABULAR
			Grado V	IRREGULAR
			Grado VI	DESMENUZ.


**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE												MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
J1	32	30	36	38	32	30	32	38	38	36	34	34	360	
J2	46	50	46	32	30	40	42	30	40	38	40	40	500	
J3	12	12	14	20	12	12	16	18	20	12	15	15	175	

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMEKANICA/**



 <b>GEOCONTROL S.A.</b> PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN DE TÚNELES	<b>FICHA DE ESTACIONES GEOMECHANICAS</b> <b>CANTERAS DE MURCIA</b>	ESTACION Nº: <b>EG-4</b> CLAVE: 0361-ING FECHA: 10/11/2004 COORD. <b>X:606.274 Y:4.223.758 Z:</b>
	<b>LITOLOGIA :</b> Calizas de grano medio a fino algo nodulosas de coloración blanquecina a crema con niveles algo brechoides	
	<b>EDAD :</b> Eoceno	
	<b>MEDIDAS</b>	

<b>DIR. BUZAMIENTO</b>	145	140	145	150	143	35	30	40	32	38	270	280	285	260	260
<b>-BUZAMIENTO</b>	45	44	50	45	40	45	42	50	40	45	75	80	72	75	72
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm											X	X	X	X	X
600-2000 mm						X	X	X	X	X					
200-600 mm	X	X	X	X	X										
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m	X	X	X	X	X										
10-20 m						X	X	X	X	X					
3-10 m															
1-3 m											X	X	X	X	X
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm	X	X	X	X	X						X	X	X	X	X
1-5 mm						X	X	X	X	X					
< 1 mm															
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/1,5					1/0,5					1/1				
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar										
ESPESOR mm	2	3	1	2	4										

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	VALORACION	PUNTUACION
<b>RMR 1</b>	<b>RESISTENCIA A COMP. SIMPLE</b>	<b>400</b>
<b>RMR 2+3</b>	<b>JUNTAS POR METRO</b>	
	D1	1
	D2	1
	D3	1
	Media	34
<b>RMR 4</b>	<b>ESTADO DE LAS JUNTAS</b>	
	Continuidad	10-20m
	Apertura	1-5 mm
	Rugosidad	Rugoso a lig.rugoso
	Relleno	No hay a B<5mm
	Meteorización	Ligera
	Suma	15
<b>RMR 5</b>	<b>PRESENCIA DE AGUA</b>	Seco
	<b>SUMA TOTAL</b>	<b>68</b>

<b>POLOS MEDIOS</b>	D.BUZ.	BUZ.
So	145	45
J1	35	44
J2	271	75

<b>RESISTENCIA</b>
R1=Muy debil
R2=Debil
R3=Median. debil
R4=Resistente X
R5=Muy resist.
R6=Extrem. res:

<b>METEORIZ.</b>
Grado I
Grado II X
Grado III
Grado IV
Grado V
Grado VI

<b>ESTRUCT.</b>
MASIVA X
EN BLOQUES X
COLUMNAR
TABULAR
IRREGULAR
DESMENUZ.

 <b>GEOCONTROL S.A.</b> PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN DE TÚNELES	<b>CANTERAS DE MURCIA</b>	<b>EG-4</b>															
	<b>REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES</b>																
																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>DUR. SCHMIDT</th> <th>MEDIDAS DE REBOTE</th> <th>MED</th> <th>JCS (kg/cm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>So</td> <td>52 52 50 50 46 48 54 56 40 36</td> <td>48</td> <td>750</td> </tr> <tr> <td>J1</td> <td>50 50 48 48 50 42 46 48 50 50</td> <td>48</td> <td>750</td> </tr> <tr> <td>J2</td> <td>52 46 48 42 40 38 56 42 48 40</td> <td>45</td> <td>605</td> </tr> </tbody> </table>		DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE	MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )	So	52 52 50 50 46 48 54 56 40 36	48	750	J1	50 50 48 48 50 42 46 48 50 50	48	750	J2	52 46 48 42 40 38 56 42 48 40	45
DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE	MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )														
So	52 52 50 50 46 48 54 56 40 36	48	750														
J1	50 50 48 48 50 42 46 48 50 50	48	750														
J2	52 46 48 42 40 38 56 42 48 40	45	605														
<b>FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECHANICA/</b>																	
																	

<b>GEOCONTROL S.A.</b> PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN DE TÚNELES	<b>FICHA DE ESTACIONES GEOMEKANICAS</b>	ESTACION N°: EG-5
	<b>CANTERAS DE MURCIA</b>	CLAVE: 0361-ING
		FECHA: 10/11/2004
		COORD. X:607.077 Y:4.224.361 Z:

LITOLOGIA : Calizas de grano medio a fino algo nodulosas de coloración blanquecina a crema con niveles algo brechoides

EDAD : Eoceno

MEDIDAS	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2(F)
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2(F)
-DIR. BUZAMIENTO	150	145	140	155	158	140	130	125	150	150	195	203	205	200	200
-BUZAMIENTO	30	25	35	30	30	85	90	88	84	80	60	65	59	61	60
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
600-2000 mm															
200-600 mm	X	X	X	X	X										
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m															
10-20 m	X	X	X	X	X						X	X	X	X	X
3-10 m						X	X	X	X	X					
1-3 m															
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1-5 mm	X	X	X	X	X										
< 1 mm															
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8
L(m) / A(cm)	1/2					1/2					1/0,5				
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Margas	Margas	Margas	Margas	Margas	Margas	Margas	Margas	Margas	Margas
ESPESOR mm	1	2	2	2	1	3	5	5	4	3	5	6	3	4	5

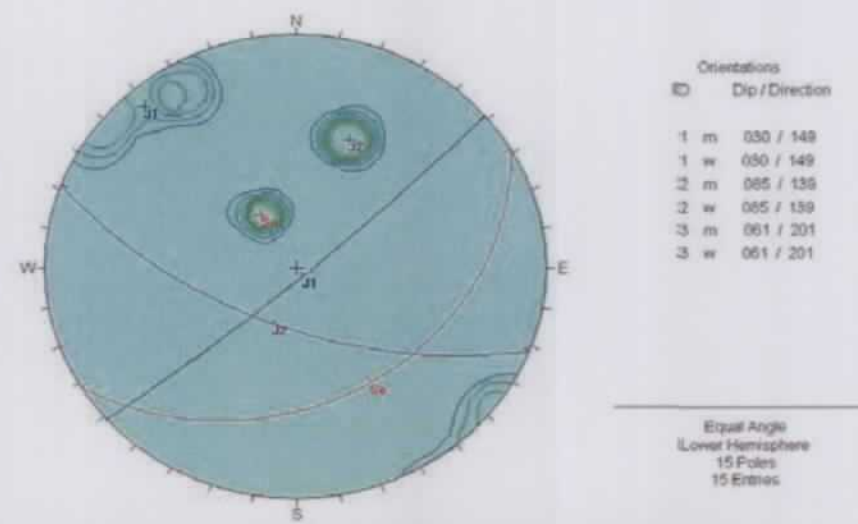
**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1 RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3 JUNTAS POR METRO	D1	34
	D2	34
	D3	34
	Media	34
RMR 4 ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	10-20m
	Apertura	>5 mm
	Rugosidad	Lig.rugoso
	Relleño	B<5mm
	Meteorización	Moderada a Ligera
RMR 5 PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>63</b>

<b>POLOS MEDIOS</b>	D.BUZ.	BUZ.	<b>RESISTENCIA</b>	<b>METEORIZ.</b>	<b>ESTRUCT.</b>
So	148	30	R1=Muy debil	Grado I	MASIVA X
J1	139	85	R2=Debil	Grado II X	EN BLOQUES
J2	201	61	R3=Median. debil	Grado III X	COLUMNAR
			R4=Resistente X	Grado IV	TABULAR X
			R5=Muy resist.	Grado V	IRREGULAR
			R6=Extrem. res.	Grado VI	DESMENUZ.

<b>GEOCONTROL S.A.</b> PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN DE TÚNELES	<b>CANTERAS DE MURCIA</b>	EG-5
--	---------------------------	------

**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE										MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	52	52	54	52	50	52	56	54	52	50	52	890
J1	56	54	50	50	50	48	50	48	50	50	51	800
J2	42	40	38	38	32	40	32	36	40	40	38	500

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOMEKANICA/**



**LITOLOGIA :** Calizas de grano medio a fino algo nodulosas de coloración blanquecina a crema con niveles algo brechoides

**EDAD :** Eoceno

MEDIDAS	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	128	130	125	133	135	20	25	22	15	240	235	245	30	35	25
-BUZAMIENTO	40	42	38	45	35	70	75	65	70	50	55	45	25	20	28
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm															
600-2000 mm										X	X	X	X	X	X
200-600 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m															
10-20 m	X	X	X	X	X										
3-10 m						X	X	X	X						
1-3 m										X	X	X	X	X	X
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm	X	X	X	X	X										
1-5 mm						X	X	X	X						
< 1 mm										X	X	X	X	X	X
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	8-10	8-10	8-10	8-10	10-12	10-12	10-12	8-10	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/2					1/1				1/3			1/1		
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Cc	Cc	Cc	Cc	Cc	Cc	Cc	Cc
ESPESOR mm	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN		
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400		
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	2	31
		D2	2	31
		D3	1	34
	Media			32
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	3-10m	2
		Apertura	1-5 mm	1
		Rugosidad	Rugoso a lig.rugoso	4
		Relleno	D<5mm a B<5mm	3
		Meteorización	Moderada-Alta	2
	Suma			12
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15	
	<b>SUMA TOTAL</b>		<b>63</b>	

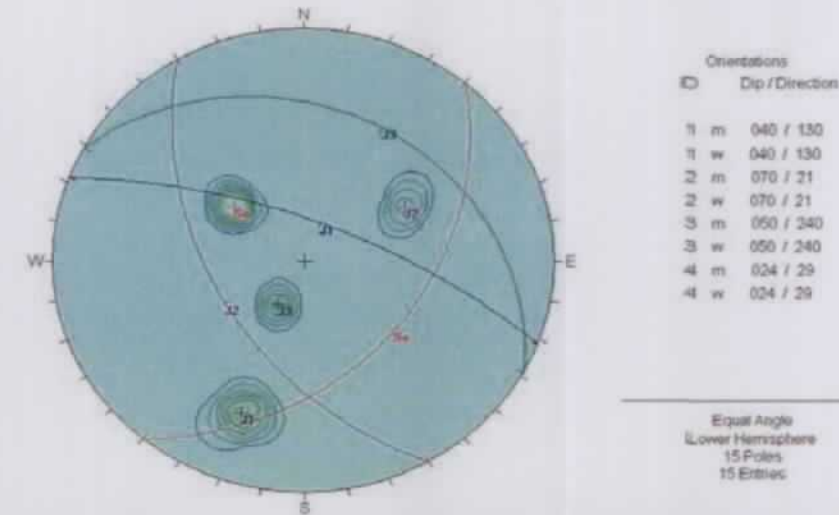
POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	130	40
J1	21	70
J2	240	50
J3	29	24

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	X
Grado V	
Grado VI	

ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	X
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	

**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE												MED	JCS (kg/cm²)
So	50	40	50	40	44	44	40	40	50	50	45	650		
J1	50	50	52	48	50	48	50	50	52	54	50	800		
J2	50	48	48	42	44	42	44	48	42	42	45	650		

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOMECAICA**



**APÉNDICE I.2. ESTACIONES GEOMECÁNICAS  
REALIZADAS EN LA SIERRA DE BURETE**





FICHA DE ESTACIONES GEOMECAICAS

CANTERAS DE MURCIA

ESTACION N°: EG-16  
 CLAVE: 0361-ING  
 FECHA: 05/11/2004  
 COORD.  
 X:608.896 Y:4.210.747 Z:

LITOLOGIA : Calizas rojizas con niveles grisáceos de grano fino a medio con abundantes venas calcíticas. Niveles brechoides intercalados con rellenos arcillosos.

EDAD : Jurásico

MEDIDAS	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	16	101	32	242	101	106	100	94	32	35	30	28	242	245	236
-BUZAMIENTO	35	32	28	34	73	68	78	70	70	65	68	75	73	78	68
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm	X	X											X	X	
600-2000 mm			X	X	X	X		X	X	X	X	X			X
200-600 mm							X								
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m															
10-20 m															
3-10 m	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1-3 m									X					X	X
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X
1-5 mm					X	X		X	X	X		X	X	X	
< 1 mm							X								
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	8-10	8-10	8-10	8-10	12-14	12-14	12-14	12-14	10-12	10-12	10-12	10-12	12-14	12-14	12-14
L(m) / A(cm)	1/2				1/3				1/4				1/4		
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA	Ar	Ar	Ar	Ar					Ar	Ar			Ar	Ar	
ESPESOR mm	12	8	11	12					3	9			3	6	

CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	34
		D2	31
		D3	31
		Media	32
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	2
		Apertura	1
		Rugosidad	4
		Relleno	0
		Meteorización	2
		Suma	9
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>60</b>	

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	17	32
J1	100	72
J2	31	69
J3	241	73

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	X
Grado V	
Grado VI	

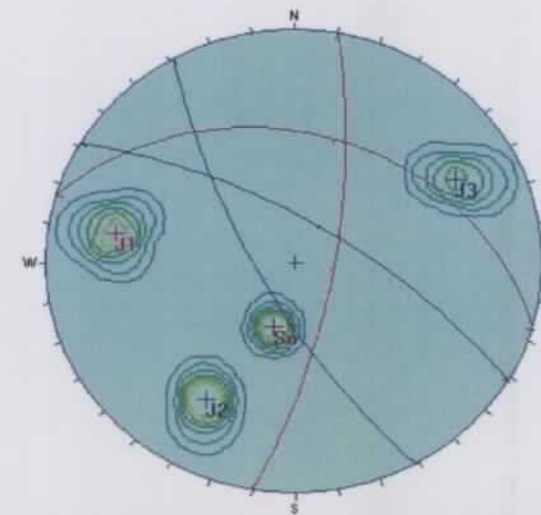
ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	X
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	



CANTERAS DE MURCIA

EG-16

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



Orientations		
ID	Dip	Direction
1 m	032	17
1 w	032	17
2 m	072	100
2 w	072	100
3 m	069	31
3 w	069	31
4 m	073	241
4 w	073	241

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
15 Poles  
15 Entries

DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE											MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	22	20	29	39	30	28	32	21	25	28	27	27	350
J1	43	54	42	25	32	28	21	29	34	20	33	33	420
J2	44	18	16	32	38	52	31	26	24	23	30	30	370

FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA





**FICHA DE ESTACIONES GEOMECANICAS**  
CANTERAS DE MURCIA

ESTACION N°: EG-113B  
 CLAVE: 0361-ING  
 FECHA: 05/11/2004  
 COORD.  
 X:608.283 Y:4.210.074 Z:

**LITOLOGIA :** Calizas de coloración rojiza y grisácea de grano fino con abundantes venas calcíticas diseminadas.

**EDAD :** Jurásico

MEDIDAS	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO	322	324	318	315	147	141	149	153	91	95	87	86	102	105	98
-DIR. BUZAMIENTO	53	51	48	56	58	54	62	53	86	88	84	82	57	55	59
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm															
600-2000 mm							X								
200-600 mm	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
60-200 mm			X												
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m	X	X	X	X											
10-20 m															
3-10 m					X	X		X					X	X	
1-3 m							X		X	X					
<1 m										X	X				X
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm															
1-5 mm	X	X	X	X			X		X	X	X	X	X	X	X
< 1 mm					X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	8-10	8-10	6-8	8-10	6-8	6-8	6-8	6-8	8-10	8-10	10-12	8-10	8-10	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/2,5				1/1				1/2,5			1/2,5			
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA		Marga	Marga												
ESPESOR mm		3	4												

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACION	PUNTUACION
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	4
		D2	4
		D3	3
		Media	28
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	10-20m
		Apertura	1-5 a <1 mm
		Rugosidad	Lig. rugoso a rugoso
		Relleño	No a B<5mm
		Meteorización	Moderada
	Suma		14
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
		<b>SUMA TOTAL</b>	<b>61</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	320	52
J1	148	57
J2	90	85
J3	102	57

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

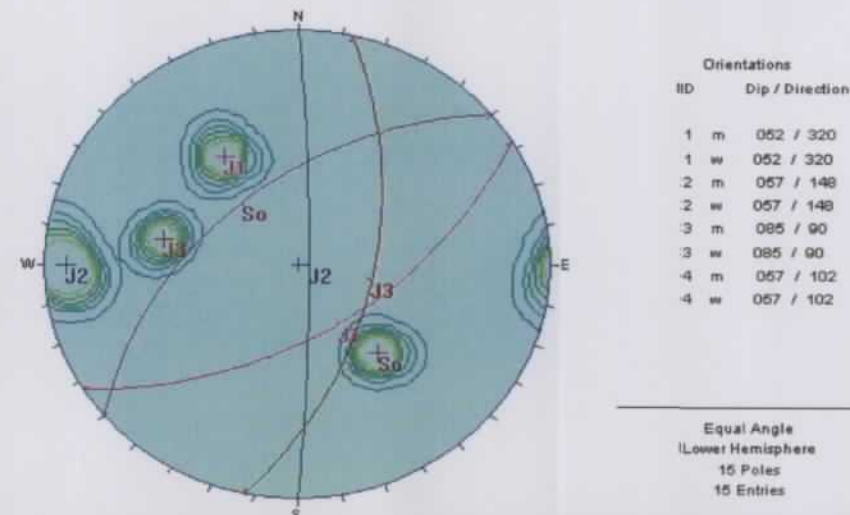
ESTRUCT.	
MASIVA	
EN BLOQUES	X
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	



**CANTERAS DE MURCIA**

EG-113B

**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE										MED	JCS (kg/cm²)
So	19	31	25	25	19	43	35	32	21	26	28	270
J1	25	26	24	34	23	21	19	26	28	32	26	340
J2	32	26	28	31	28	23	28	29	34	25	28	350

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECANICA/**



**LITOLOGIA :** Calizas grisáceas de grano fino con abundantes venas calcíticas. Presencia de zonas brechoides con rellenos arcillosos rojizos.  
**EDAD :** Jurásico

MEDIDAS	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3	J3	J4	J4	J4
-TIPO DE PLANO	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3	J3	J4	J4	J4
-DIR. BUZAMIENTO	186	192	183	189	208	214	203	206	102	108	95	99	289	292	297
-BUZAMIENTO	81	75	85	79	66	69	61	74	53	49	54	58	38	40	45
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm					X	X									X
600-2000 mm	X	X		X			X	X					X	X	
200-600 mm			X						X	X	X				
60-200 mm								X							
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m															
10-20 m					X		X				X				
3-10 m	X	X		X		X		X	X	X		X	X	X	
1-3 m			X												X
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm		X			X	X	X	X		X					X
1-5 mm	X		X	X					X		X	X	X	X	
< 1 mm															
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	4-6	4-6	6-8	4-6	10-12	10-12	8-10	10-12	8-10	8-10	8-10	8-10	10-12	10-12	8-10
L(m) / A(cm)	1/1,5				1/4				1/2				1/2		
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA	Ar	Ar			Ar	Ar	Ar	Ar		Ar					Ar
ESPESOR mm	4	8			7	10	9	12		8					7

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	3
		D2	2
		D3	1
		Media	31
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	10-20 a 3-10m
		Apertura	>5 a 1-5 mm
		Rugosidad	Rugoso a lig.rugoso
		Relleno	No a B>5mm
		Meteorización	Moderada a alta
	Suma	8	
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
	SUMA TOTAL		58

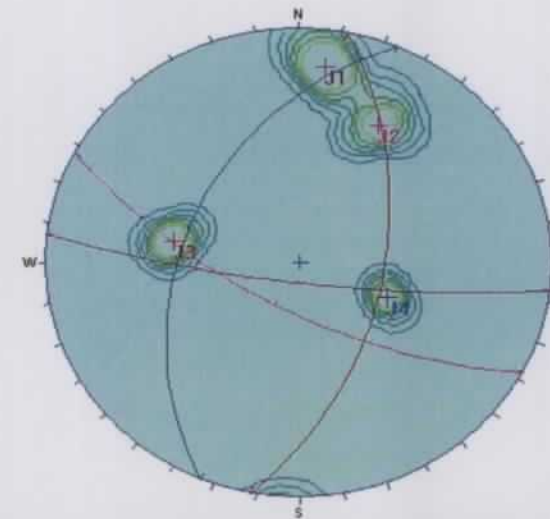
POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
J1	187	80
J2	208	67
J3	101	53
J4	293	41

RESISTENCIA
R1=Muy debil
R2=Debil
R3=Median. debil
R4=Resistente X
R5=Muy resist.
R6=Extrem. res:

METEORIZ.
Grado I
Grado II
Grado III X
Grado IV X
Grado V
Grado VI

ESTRUCT.
MASIVA
EN BLOQUES X
COLUMNAR
TABULAR X
IRREGULAR
DESMENUZ.

**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



ID	Dip / Direction
1 m	080 / 187
1 w	080 / 187
2 m	067 / 208
2 w	067 / 208
3 m	053 / 101
3 w	053 / 101
4 m	041 / 293
4 w	041 / 293

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
15 Poles  
15 Entries

DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE															MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
J1	53	38	38	35	42	45	41	40	56	21	41	41	710				
J2	43	29	22	43	28	24	29	32	24	28	30	30	410				
J3	25	22	22	38	44	25	32	21	26	32	29	29	350				

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOMECHANICA**





FICHA DE ESTACIONES GEOMECAICAS

CANTERAS DE MURCIA

ESTACION Nº: EG-113A  
 CLAVE: 0361-ING  
 FECHA: 05/11/2004  
 COORD. X:608.520 Y:4.210.247 Z:

LITOLOGIA : Caliza de grano fino a medio de coloración grisácea a rojiza con venas de calcita muy abundantes.

EDAD : Jurásico

MEDIDAS	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	152	150	159	146	60	64	65	61	22	18	25	24	231	240	225
-BUZAMIENTO	41	38	45	39	76	71	72	79	26	29	31	23	63	66	59
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm										X	X				X
600-2000 mm		X		X	X	X	X	X	X			X	X		X
200-600 mm	X		X												
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m	X	X	X	X											
10-20 m															
3-10 m					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1-3 m									X						
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm	X	X	X	X			X		X	X	X		X	X	X
1-5 mm					X	X		X				X			
< 1 mm															
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	6-8	6-8	8-10	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	8-10	8-10	8-10	8-10	14-16	14-16	14-16
L(m) / A(cm)	1/2				1/1,5				1/3				1/4		
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA	Marga	Ar	Marga	cc	cc		cc		cc	cc	cc		Ar	Ar	Ar
ESPESOR mm	8	12	7	9	4		7		9	12	6		8	12	10

CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR

RMR	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN		
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400		
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	1	34
		D2	2	31
		D3	1	34
	Media		33	
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	10-20m	1
		Apertura	>5mm	0
		Rugosidad	liq.rugoso a rugoso	4
		Relleno	B>5mm	0
		Meteorización	Moderada	3
Suma		8		
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15	
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>60</b>		

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	152	41
J1	62	74
J2	22	27
J3	232	63

RESISTENCIA
R1=Muy debil
R2=Debil
R3=Median. debil
R4=Resistente
R5=Muy resist.
R6=Extrem. res.

METEORIZ.
Grado I
Grado II
Grado III
Grado IV
Grado V
Grado VI

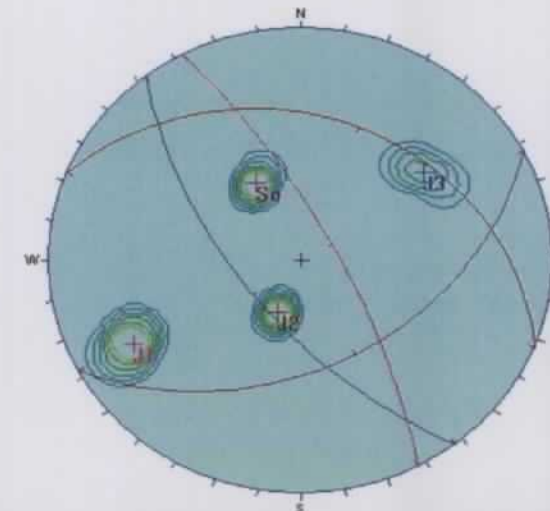
ESTRUCT.
MASIVA
EN BLOQUES
COLUMNAR
TABULAR
IRREGULAR
DESMENUZ.



CANTERAS DE MURCIA

EG-113A

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



ID	Dip / Direction
1 m	041 / 152
1 w	041 / 152
2 m	074 / 62
2 w	074 / 62
3 m	027 / 22
3 w	027 / 22
4 m	063 / 232
4 w	063 / 232

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 15 Poles  
 16 Entries

DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE														MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )	
So	45	44	18	48	49	45	41	35	32	21	38						
J1	43	39	48	46	41	42	38	43	41	32	41						
J3	43	39	36	54	34	23	25	29	21	32	34						

FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA



**LITOLOGIA :** Calizas de coloración rojiza y grisácea de grano fino con abundantes venas calcíticas diseminadas.

**EDAD :** Jurásico

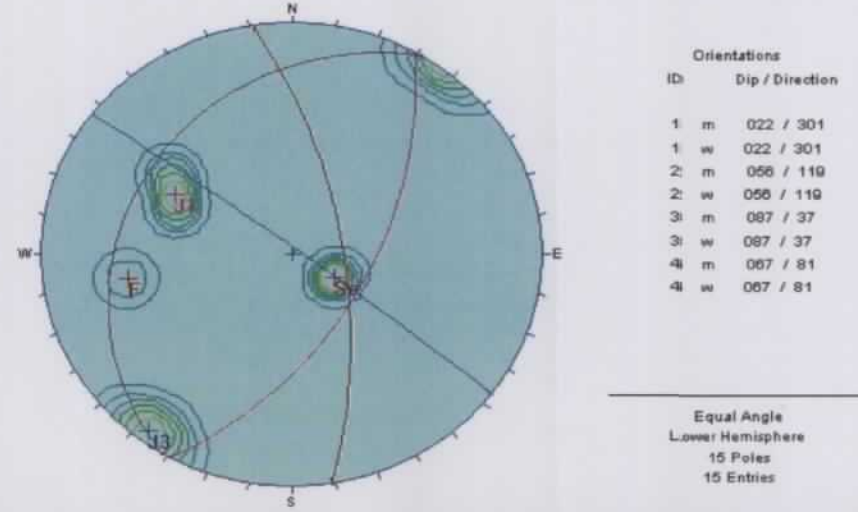
MEDIDAS															
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	F
-DIR. BUZAMIENTO	303	306	295	290	310	119	125	114	112	125	38	35	31	42	81
-BUZAMIENTO	22	24	19	25	20	56	59	52	53	62	88	85	88	89	67
ESPACIADO															
>2000 mm															X
600-2000 mm															X
200-600 mm	X	X		X	X	X		X	X	X					
60-200 mm															X
<60 mm															
CONTINUIDAD															
>20 m	X	X	X	X	X										
10-20 m															X
3-10 m															
1-3 m															X
<1 m															X
APERTURA															
> 5 mm															X
1-5 mm	X					X	X	X	X	X		X	X	X	
< 1 mm		X	X	X	X										
RUGOSIDAD															
JRC (10)	14-16	12-14	12-14	14-16	14-16	8-10	8-10	10-12	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	14-16
L(m) / A(cm)	1/3					1/2,5									1/5
AGUA															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
RELLENO															
NATURALEZA															Marga
ESPESOR mm															16

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	VALORACION	PUNTUACION
RMR 1 RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3 JUNTAS POR METRO	D1	2
	D2	2
	D3	1
	Media	32
RMR 4 ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	10-20m
	Apertura	1-5 mm
	Rugosidad	Rugoso
	Relleño	No a B>5mm
	Meteorización	Moderada
Suma		15
RMR 5 PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>66</b>

<b>POLOS MEDIOS</b>	D.BUZ.	BUZ.	<b>RESISTENCIA</b>	<b>METEORIZ.</b>	<b>ESTRUCT.</b>
So	301	22	R1=Muy debil	Grado I	MASIVA X
J1	119	56	R2=Debil	Grado II	EN BLOQUES X
J2			R3=Median. debil	Grado III X	COLUMNAR
F			R4=Resistente X	Grado IV	TABULAR
			R5=Muy resist.	Grado V	IRREGULAR
			R6=Extrem. res:	Grado VI	DESMENUZ.

**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE												MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	34	26	41	29	30	28	32	34	27	31	31	31	290	
J1	40	26	36	39	30	38	43	41	35	38	37	480		
J3	34	29	29	45	34	35	33	39	29	32	34	520		

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOMECHANICA/**





**GEOCONTROL S.A.**  
PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN  
Y REHABILITACIÓN DE TUNELES

**FICHA DE  
ESTACIONES GEOMEKANICAS**  
**CANTERAS DE MURCIA**

ESTACION Nº: **EG-21**  
CLAVE: 0361-ING  
FECHA: 12/11/2004  
COORD.  
X:607.278 Y:4.209.971 Z:

LITOLOGIA : Calizas de coloración rojiza y grisácea de grano fino con abundantes venas calcíticas diseminadas.

EDAD : Jurásico

MEDIDAS	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	345	340	350	345	344	105	100	110	105	55	60	50	230	235	225
-BUZAMIENTO	34	35	30	40	35	64	65	58	67	90	88	87	55	60	50
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm										X	X	X			
600-2000 mm						X	X	X	X						
200-600 mm	X	X	X	X	X								X	X	X
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m	X	X	X	X	X										
10-20 m															
3-10 m						X	X	X	X				X	X	X
1-3 m										X	X	X			
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm						X	X	X	X	X	X	X			
1-5 mm	X	X	X	X	X								X	X	X
< 1 mm															
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8
L(m) / A(cm)	1/2					1/3				1/1			1/1		
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA	Ar	Ar		Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Cc	Cc	Ar
ESPESOR mm	2	2		1	2	6	4	3	6	5	3	5	1	1	2

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACION	PUNTUACION
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	2
		D2	2
		D3	1
		Media	32
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	3-10m
		Apertura	1-5 mm
		Rugosidad	Ligeramente rugoso
		Relleño	B<5mm
		Meteorización	Moderada-Ligera
	Suma	12	
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
		<b>SUMA TOTAL</b>	<b>63</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	345	35
J1	105	63
J2	55	88
J3	230	55

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	X
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	X
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	

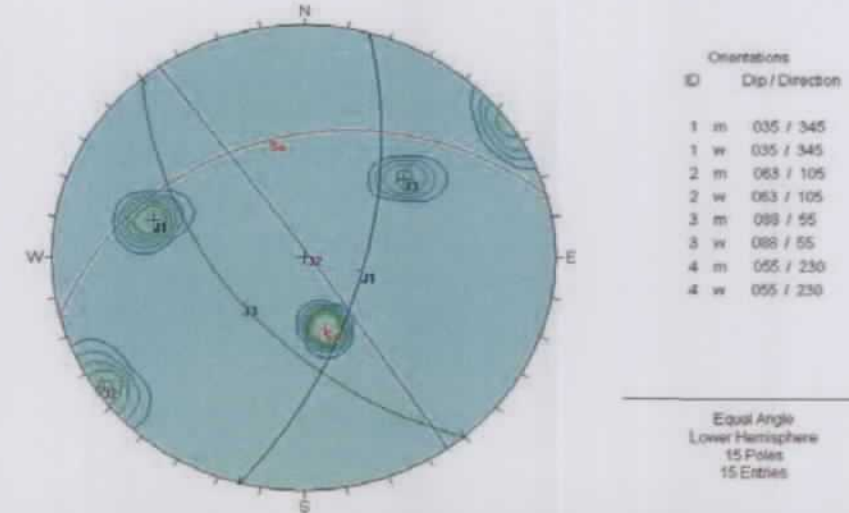


**GEOCONTROL S.A.**  
PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN  
Y REHABILITACIÓN DE TUNELES

**CANTERAS DE MURCIA**

EG-21

**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE												MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	60	60	54	50	58	58	60	60	58	60	57		1150	
J1	54	60	58	56	54	56	60	52	50	48	55		905	
J2	50	52	58	60	60	58	50	52	50	50	54		905	
J3	46	46	46	48	48	42	46	42	48	46	46		600	

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMEKANICA/**



**APÉNDICE I.3. ESTACIONES GEOMECÁNICAS  
REALIZADAS EN LA SIERRA DE QUIPAR**

**LITOLOGIA :** Calizas de coloración rosada y beige con abundantes venas calcíticas diseminadas.

**EDAD :** Cretácico

<b>MEDIDAS</b>															
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	350	345	348	355	358	90	95	85	92	135	130	140	30	35	25
-BUZAMIENTO	25	30	20	25	25	70	65	70	75	75	70	80	65	60	70
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm										X	X	X	X	X	X
600-2000 mm						X	X	X	X						
200-600 mm	X	X	X	X	X										
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m	X	X	X	X	X										
10-20 m															
3-10 m															
1-3 m						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1-5 mm															
< 1 mm															
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	10-12	10-12	10-12	10-12	8-10	8-10	8-10	12-14	12-14	12-14
L(m) / A(cm)	1/1					1/4				1/2			1/3		
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA	Ar-Dr	Ar	Ar-Dr	Ar-Dr	Ar-Dr	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar
ESPESOR mm	4	6	6	8	4	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

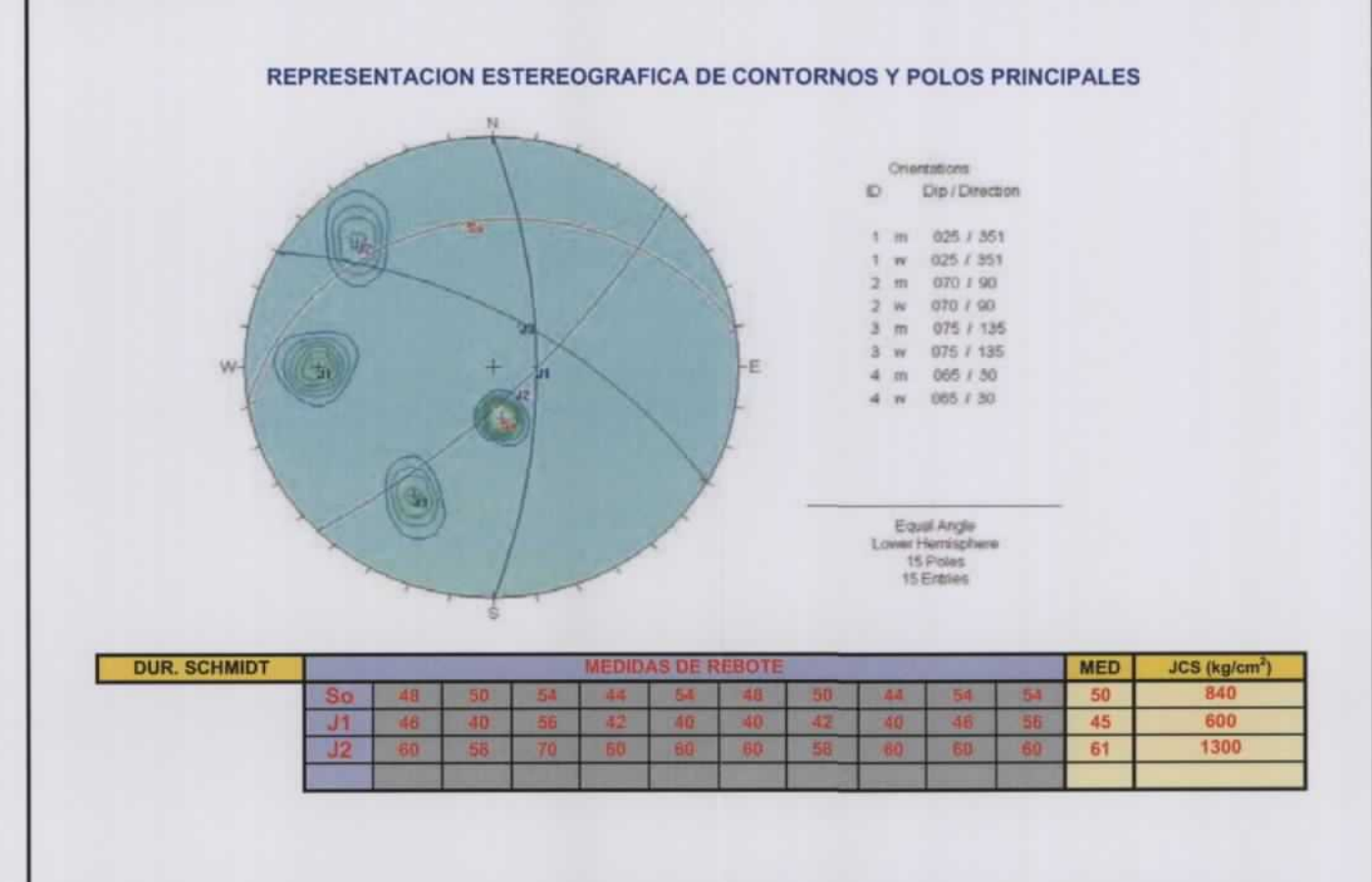
RMR		VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	34
		D2	31
		D3	34
		Media	33
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	2
		Apertura	0
		Rugosidad	5
		Relleno	2
		Meteorización	1
	Suma	10	
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
<b>SUMA TOTAL</b>			<b>62</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	351	25
J1	90	70
J2	135	75
J3	30	65

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	
Grado IV	X
Grado V	
Grado VI	

ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	X
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	



**FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA**







**GEOCONTROL S.A.**  
PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN  
Y REHABILITACIÓN DE TUNELES

FICHA DE  
ESTACIONES GEOMECAICAS

CANTERAS DE MURCIA

ESTACION N°: EG-16a  
CLAVE: 0361-ING  
FECHA: 12/11/2004  
COORD. X:603.990 Y:4.211.459 Z:

LITOLOGIA : Calizas de coloración rosada y beige con abundantes venas calcíticas diseminadas.

EDAD : Cretácico

MEDIDAS	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2
-TIPO DE PLANO	320	325	320	315	312	30	35	32	25	28	115	110	120	120	115
-DIR. BUZAMIENTO	18	20	22	15	18	85	88	80	85	88	72	70	75	68	70
-BUZAMIENTO															
ESPACIADO															
>2000 mm															
600-2000 mm						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
200-600 mm	X	X	X	X	X										
60-200 mm															
<60 mm															
CONTINUIDAD															
>20 m															
10-20 m	X	X	X	X	X										
3-10 m						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1-3 m															
<1 m															
APERTURA															
> 5 mm						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1-5 mm	X	X	X	X	X										
< 1 mm															
RUGOSIDAD															
JRC (10)	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8
L(m) / A(cm)	1/1,5					1/2					1/1				
AGUA															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
RELLENO															
NATURALEZA	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar
ESPESOR mm	2	2	2	3	3	5	8	8	5	8	2	5	2	2	2

CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	34
		D2	31
		D3	34
		Media	33
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	2
		Apertura	0
		Rugosidad	3
		Relleño	0
		Meteorización	1
	Suma	6	
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
	SUMA TOTAL		58

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	319	19
J1	30	85
J2	116	71

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	
Grado IV	X
Grado V	
Grado VI	

ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	X
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	

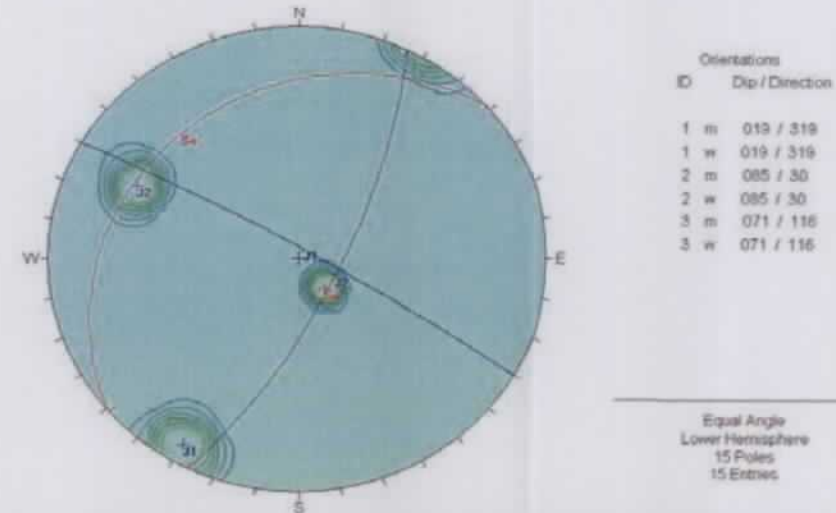


**GEOCONTROL S.A.**  
PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN  
Y REHABILITACIÓN DE TUNELES

CANTERAS DE MURCIA

EG-16a

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE											MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	60	60	58	54	54	58	54	60	54	54	57	1100	
J1	50	44	44	40	50	40	38	48	44	44	44	600	
J2	58	48	46	46	54	54	50	54	50	50	51	700	

FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOMECAICA





LITOLOGIA : Calizas de coloración rosada y beige con abundantes venas calcíticas diseminadas.

EDAD : Cretácico

MEDIDAS	So	So	So	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J3	J3	J3	J4	J4	J4
-TIPO DE PLANO	So	So	So	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J3	J3	J3	J4	J4	J4
-DIR. BUZAMIENTO	320	325	315	200	210	190	355	350	360	105	100	110	170	175	168
-BUZAMIENTO	25	30	28	65	68	63	70	75	68	80	85	75	45	40	50
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm				X	X	X				X	X	X			
600-2000 mm	X	X	X										X	X	X
200-600 mm							X	X	X						
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m															
10-20 m															
3-10 m	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
1-3 m										X	X	X	X	X	X
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1-5 mm															
< 1 mm	X	X	X												
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	6-8	6-8	6-8	12-14	12-14	12-14	8-10	8-10	8-10	10-12	10-12	10-12	8-10	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/0,5			1/2			1/4			1/5			1/2		
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA				Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar
ESPESOR mm				3	3	3	8	8	8	10	10	10	2	2	2

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1 RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3 JUNTAS POR METRO	D1	34
	D2	31
	D3	34
	Media	33
RMR 4 ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	3-10m
	Apertura	>5mm
	Rugosidad	Lig.rugosa a rugosa
	Relleno	No a B>5mm
	Meteorización	Alta
RMR 5 PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>61</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	320	28
J1	200	65
J2	355	71
J3	105	80
J4	171	45

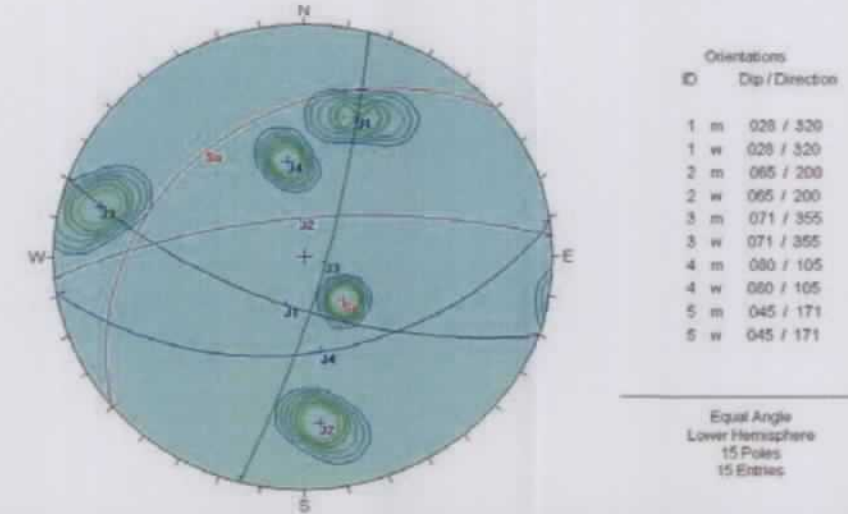
RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	
Grado IV	X
Grado V	
Grado VI	

ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	X
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	



**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE										MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	56	38	40	50	48	42	36	52	40	40	44	610
J1	20	22	20	24	30	32	28	30	20	22	25	250
J2	58	56	54	60	52	50	50	58	56	58	55	1020
J3	48	49	50	56	50	52	46	48	50	52	50	750

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOMECANICA**





**LITOLOGIA :** Calizas de coloración rosada y beige con abundantes venas calcíticas diseminadas.

**EDAD :** Cretácico

MEDIDAS	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	300	290	310	304	296	320	315	320	325	20	25	15	240	245	235
-BUZAMIENTO	20	25	15	10	10	75	70	78	70	80	82	85	60	55	65
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm										X	X	X	X	X	X
600-2000 mm						X	X	X	X						
200-600 mm	X	X	X	X	X										
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m															
10-20 m	X	X	X	X	X										
3-10 m															
1-3 m						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm															
1-5 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
< 1 mm															
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	10-12	10-12	10-12	10-12	12-14	12-14	12-14	10-12	10-12	10-12
L(m) / A(cm)															
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA						Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar
ESPEJOR mm						1	1	1	1	1	1	1	2	4	2

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	34
		D2	34
		D3	34
		Media	34
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	4
		Apertura	1
		Rugosidad	4
		Relleño	4
		Meteorización	3
		Suma	16
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	15	15
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>69</b>	

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	299	16
J1	320	73
J2	20	82
J3	240	60

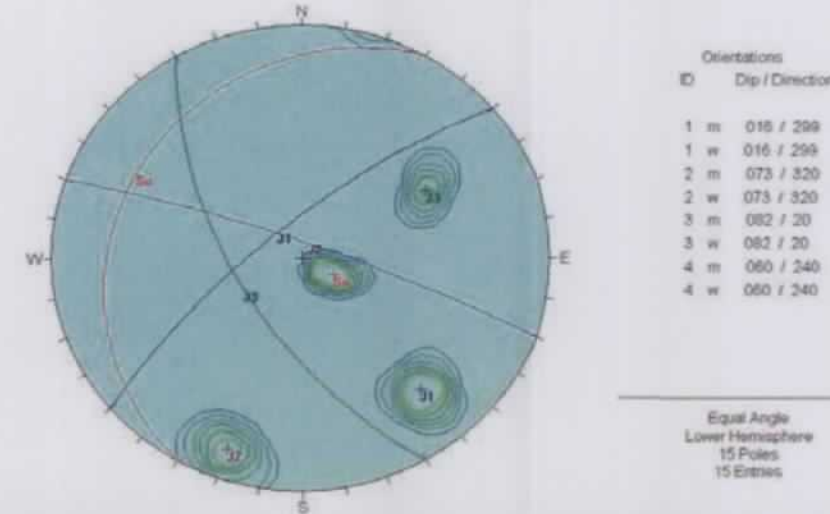
RESISTENCIA
R1=Muy debil
R2=Debil
R3=Median, debil
R4=Resistente X
R5=Muy resist.
R6=Extrem. res:

METEORIZ.
Grado I
Grado II
Grado III X
Grado IV
Grado V
Grado VI

ESTRUCT.
MASIVA X
EN BLOQUES
COLUMNAR
TABULAR
IRREGULAR
DESMENUZ.



**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE											MED	JCS (kg/cm²)
So	32	28	30	36	28	30	32	30	32	30	31	360	
J1	56	52	42	58	50	50	58	42	56	54	52	810	
J2	50	50	62	58	54	50	54	50	58	60	55	1000	

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOIMECANICA**



**LITOLOGIA :** Calizas de coloración rosada y beige con abundantes venas calcíticas diseminadas.

**EDAD :** Cretácico

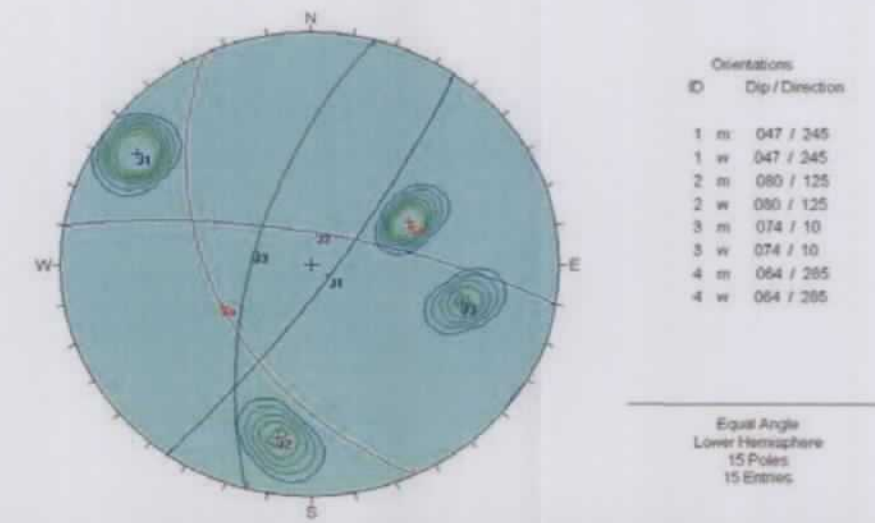
MEDIDAS	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	245	250	242	240	247	125	125	129	120	10	15	5	285	280	290
-BUZAMIENTO	45	40	55	50	45	80	82	78	80	75	70	78	65	68	60
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm						X	X	X	X	X	X	X			
600-2000 mm													X	X	X
200-600 mm	X	X	X	X	X										
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m															
10-20 m															
3-10 m	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X
1-3 m										X	X	X	X	X	X
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1-5 mm	X	X	X	X	X										
< 1 mm															
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	12-14	12-14	12-14	12-14	12-14	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/2					1/1				1/0,5			1/1		
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA	Ar		Ar	Ar		Ar	Ar						Ar	Ar	Ar
ESPESOR mm	1		1	1		1	1						2	4	4

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
<b>RMR 1</b>	<b>RESISTENCIA A COMP. SIMPLE</b>	<b>400</b>
<b>RMR 2+3</b>	<b>JUNTAS POR METRO</b>	
	D1	2
	D2	2
	D3	1
	<b>Media</b>	<b>32</b>
<b>RMR 4</b>	<b>ESTADO DE LAS JUNTAS</b>	
	Continuidad	3-10m
	Apertura	>5mm
	Rugosidad	Lig.rugosa a rugosa
	Relleño	No a B<5mm
	Meteorización	Alta
	<b>Suma</b>	<b>11</b>
<b>RMR 5</b>	<b>PRESENCIA DE AGUA</b>	<b>Seco</b>
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>62</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.	RESISTENCIA	METEORIZ.	ESTRUCT.
So	245	47	R1=Muy debil	Grado I	MASIVA X
J1	125	80	R2=Debil	Grado II	EN BLOQUES X
J2	10	74	R3=Median. debil	Grado III	COLUMNAR
J3	285	64	R4=Resistente X	Grado IV X	TABULAR
			R5=Muy resist.	Grado V	IRREGULAR
			R6=Extrem. res:	Grado VI	DESMENUZ.

**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE												MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
J1	20	30	42	30	32	30	32	40	40	30			33	350
J2	40	30	30	30	32	30	30	38	32	34			33	350

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA**



**LITOLOGIA :** Calizas de coloración rosada y beige con abundantes venas calcíticas diseminadas.  
**EDAD :** Cretácico

MEDIDAS	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3	J4	J4	J4
-TIPO DE PLANO	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3	J4	J4	J4
-DIR. BUZAMIENTO	155	150	158	157	154	220	190	210	200	360	350	355	260	268	254
-BUZAMIENTO	60	65	62	58	55	50	32	45	35	30	25	35	80	85	82
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm	X	X	X	X	X		X	X							
600-2000 mm						X			X				X	X	X
200-600 mm										X	X	X			
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m															
10-20 m	X	X	X	X	X		X								
3-10 m															
1-3 m						X		X	X	X	X	X	X	X	X
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm	X	X	X	X	X		X								
1-5 mm						X		X	X				X	X	X
< 1 mm										X	X	X			
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	14-16	14-16	14-16	8-10	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/2					1/1				1/3			1/1		
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA	Ar		Ar	Ar	Ar	Ar-Dr	Ar-Dr	Ar-Dr	Ar-Dr				Ar	Ar	Ar
ESPEsor mm	4		2	2	2	2	10	2	2				1	1	1

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

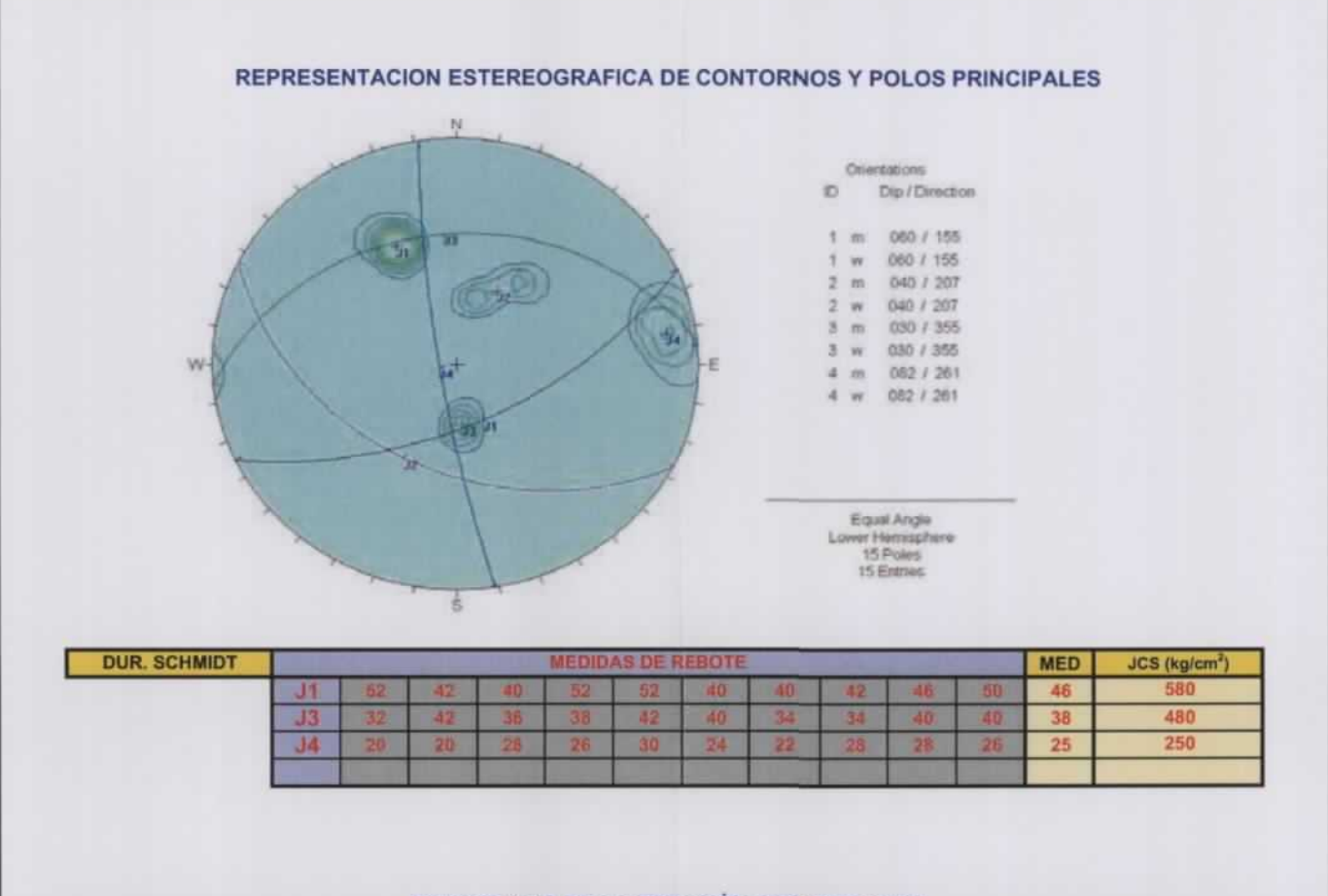
RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	1
		D2	2
		D3	1
		Media	33
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	3-10m
		Apertura	1-5mm
		Rugosidad	Lig.rugosa a rugosa
		Relleno	B<5mm
		Meteorización	Moderada
		Suma	12
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
		<b>SUMA TOTAL</b>	<b>64</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
J1	155	60
J2	207	40
J3	355	30
J4	261	82

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE												MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
J1	62	42	40	52	52	40	40	42	46	50	46	580		
J3	32	42	36	38	42	40	34	34	40	40	38	480		
J4	29	20	28	26	30	24	22	28	28	26	25	250		

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA**





**GEOCONTROL S.A.**  
PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN  
Y REHABILITACIÓN DE TÚNELES

FICHA DE  
ESTACIONES GEOMECAICAS

CANTERAS DE MURCIA

ESTACION Nº: EG-108a  
CLAVE: 0361-ING  
FECHA: 12/11/2004  
COORD.  
X:604.330 Y:4.211.764 Z:

LITOLOGIA : Calizas de coloración rosada y beige con abundantes venas calcíticas diseminadas.

EDAD : Cretácico

MEDIDAS	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	300	310	305	290	295	30	35	30	25	70	65	75	130	135	125
-BUZAMIENTO	40	45	42	38	35	60	65	62	55	80	82	85	65	60	55
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm						X	X	X	X	X	X	X			
600-2000 mm	X	X	X	X	X								X	X	X
200-600 mm															
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m															
10-20 m															
3-10 m						X	X	X	X	X	X	X			
1-3 m	X	X	X	X	X								X	X	X
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1-5 mm															
< 1 mm	X	X	X	X	X										
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	12-14	12-14	12-14	12-14	12-14	12-14
L(m) / A(cm)	1/1					1/2				1/2			1/5		
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA						Ar			Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar
ESPESOR mm						1			1	2	2	2	2	2	2

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN		
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400		
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	34	
		D2	34	
		D3	34	
		Media	34	
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	3-10m	2
		Apertura	>5mm	0
		Rugosidad	Lig.rugosa a rugosa	4
		Relleno	No a B<5mm	4
		Meteorización	Moderada	3
		Suma		13
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15	
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>66</b>		

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	300	40
J1	30	60
J2	70	82
J3	130	60

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	

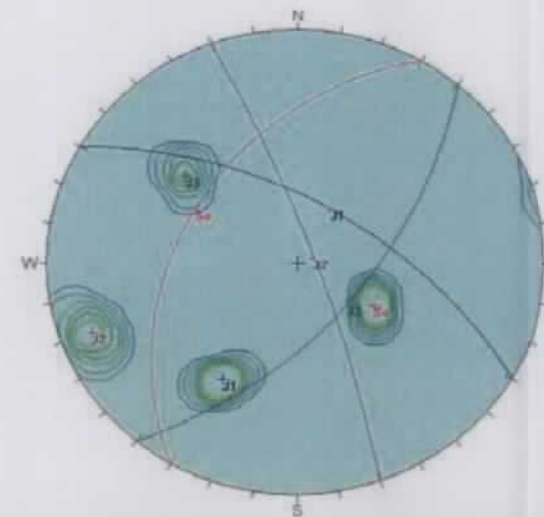


**GEOCONTROL S.A.**  
PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN  
Y REHABILITACIÓN DE TÚNELES

CANTERAS DE MURCIA

EG-108a

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



ID	Dip / Direction
1 m	040 / 300
1 w	040 / 300
2 m	060 / 30
2 w	060 / 30
3 m	082 / 70
3 w	082 / 70
4 m	060 / 130
4 w	060 / 130

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
15 Poles  
15 Entries

DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE										MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	32	36	30	42	50	38	38	36	40	40	38	500
J1	56	56	54	48	42	50	52	52	50	50	51	705
J2	50	50	50	48	46	44	46	48	50	50	48	690

FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA



**LITOLOGIA :** Calizas de coloración rosada y beige con abundantes venas calcíticas diseminadas.

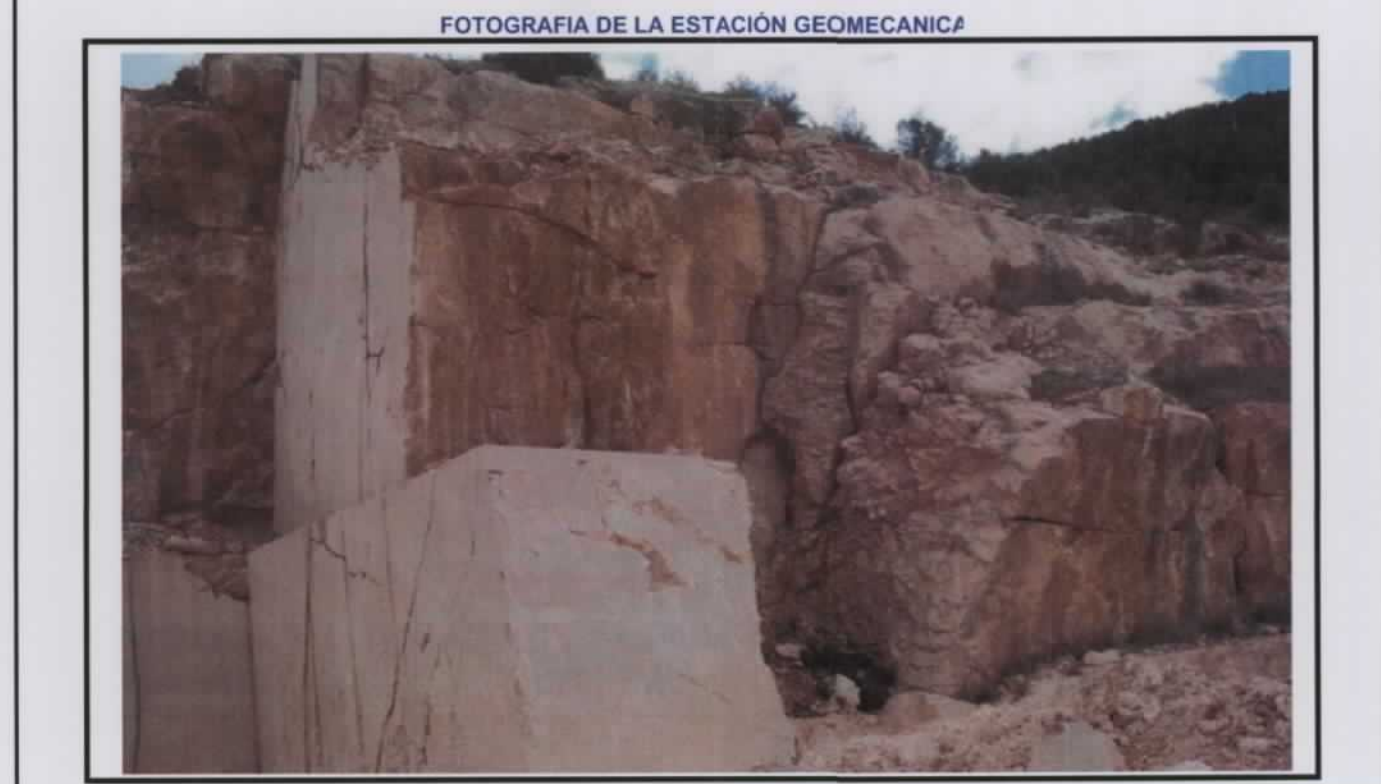
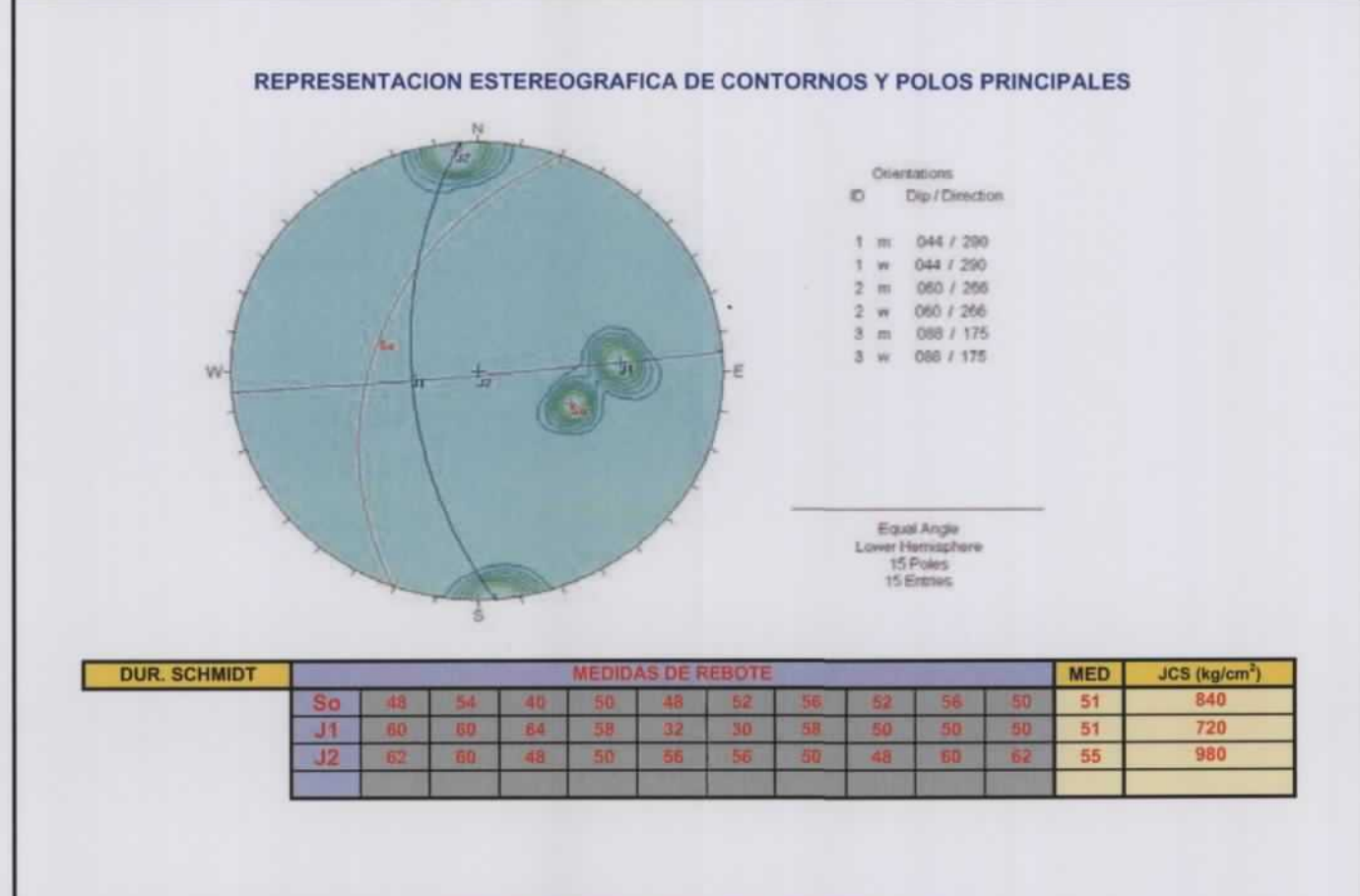
**EDAD :** Cretácico

MEDIDAS															
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2
-DIR. BUZAMIENTO	290	300	295	280	288	265	270	272	260	263	175	180	170	177	172
-BUZAMIENTO	45	40	48	45	44	60	60	65	58	55	90	88	85	88	90
ESPACIADO															
>2000 mm											X	X	X	X	X
600-2000 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
200-600 mm															
60-200 mm															
<60 mm															
CONTINUIDAD															
>20 m															
10-20 m															
3-10 m	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1-3 m															
<1 m															
APERTURA															
> 5 mm						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1-5 mm	X	X	X	X	X										
< 1 mm															
RUGOSIDAD															
JRC (10)	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	12-14	12-14	12-14	12-14	12-14
L(m) / A(cm)	1/3					1/2					1/3				
AGUA															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
RELLENO															
NATURALEZA	Ar		Ar		Ar	Ar	Ar			Ar			Ar	Ar	Ar
ESPESOR mm	1		4		6	6	6			1			1	1	1

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	34
		D2	34
		D3	34
		Media	34
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	2
		Apertura	0
		Rugosidad	4
		Relleno	3
		Meteorización	3
		Suma	12
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
		<b>SUMA TOTAL</b>	<b>65</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.	RESISTENCIA	METEORIZ.	ESTRUCT.
So	290	44	R1=Muy debil	Grado I	MASIVA X
J1	266	60	R2=Debil	Grado II	EN BLOQUES X
J2	175	88	R3=Median. debil	Grado III X	COLUMNAR
			R4=Resistente X	Grado IV	TABULAR
			R5=Muy resist.	Grado V	IRREGULAR
			R6=Extrem. res:	Grado VI	DESMENUZ.





FICHA DE ESTACIONES GEOMECAICAS

CANTERAS DE MURCIA

ESTACION N°: EG-12  
 CLAVE: 0361-ING  
 FECHA: 12/11/2004  
 COORD.  
 X:602.362 Y:4.209.761 Z:

LITOLOGIA : Calizas de coloración rosada y beige con abundantes venas calcíticas diseminadas.

EDAD : Cretácico

MEDIDAS	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3	J4	J4	J4
-TIPO DE PLANO	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3	J4	J4	J4
-DIR. BUZAMIENTO	35	38	40	30	33	220	210	225	222	315	310	320	150	155	145
-BUZAMIENTO	50	55	45	55	50	60	65	62	54	80	85	80	46	45	44
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm										X	X	X	X	X	X
600-2000 mm						X	X	X	X						
200-600 mm	X	X	X	X	X										
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m															
10-20 m															
3-10 m						X	X	X	X						
1-3 m	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
1-5 mm										X	X	X	X	X	X
< 1 mm															
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	8-10	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/2									1/2			1/1		
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA													Ar	Ar	Ar
ESPESOR mm													3	3	3

CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR

RMR	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1 RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3 JUNTAS POR METRO	D1	34
	D2	34
	D3	34
	Media	34
RMR 4 ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	4
	Apertura	0
	Rugosidad	3
	Relleño	4
	Meteorización	2
RMR 5 PRESENCIA DE AGUA	15	15
<b>SUMA TOTAL</b>	<b>66</b>	

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
J1	35	51
J2	219	60
J3	315	82
J4	150	45

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	X
Grado V	
Grado VI	

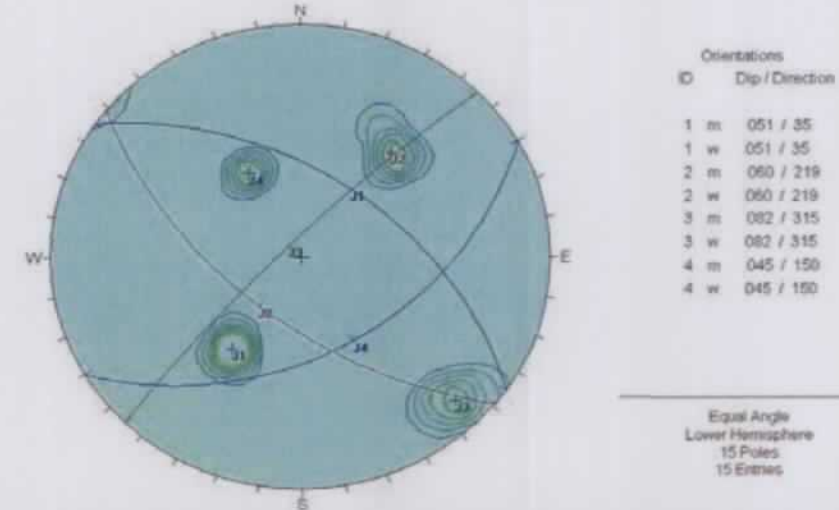
ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	



CANTERAS DE MURCIA

EG-12

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE												MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
J1	38	26	34	42	38	36	24	26	40	40	34	34	360	
J2	56	46	50	48	46	42	46	46	50	44	48	48	740	
J3	36	30	38	36	32	30	38	36	36	32	34	34	410	
J4	40	40	42	40	38	42	42	44	42	40	41	41	420	

FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA







FICHA DE ESTACIONES GEOMECAICAS

CANTERAS DE MURCIA

ESTACION N°: EG-13  
 CLAVE: 0361-ING  
 FECHA: 12/11/2004  
 COORD.  
 X:602.487 Y:4.210.007 Z:

LITOLOGIA : Calizas de coloración rosada y beige con abundantes venas calcíticas diseminadas.

EDAD : Cretácico

MEDIDAS	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3	J4	J4	J4
-TIPO DE PLANO	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3	J4	J4	J4
-DIR. BUZAMIENTO	220	223	230	218	215	25	30	23	22	130	135	125	95	90	100
-BUZAMIENTO	50	55	48	43	54	48	50	45	48	80	82	80	20	25	22
ESPACIADO															
>2000 mm															
600-2000 mm						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
200-600 mm	X	X	X	X	X										
60-200 mm															
<60 mm															
CONTINUIDAD															
>20 m															
10-20 m															
3-10 m															
1-3 m	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
<1 m													X	X	X
APERTURA															
> 5 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
1-5 mm													X	X	X
< 1 mm										X	X	X			
RUGOSIDAD															
JRC (10)	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	8-10	8-10	8-10	8-10	6-8	6-8	6-8	12-14	12-14	12-14
L(m) / A(cm)	1/0,2					1/1				1/0,2			1/2		
AGUA															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
RELLENO															
NATURALEZA	Ar-Dr	Cc	Cc	Cc	Ar-Dr	Ar-Dr-G		Ar-Dr-G							
ESPEJOR mm	5	2	2	2	5	8		10							

CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	1
		D2	2
		D3	1
		Media	33
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	1-3m
		Apertura	>5mm
		Rugosidad	Lig.rugosa
		Relleno	No a B>5mm
		Meteorización	Moderada
		Suma	13
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
		SUMA TOTAL	65

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
J1	221	50
J2	25	48
J3	130	81
J4	95	22

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res.	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

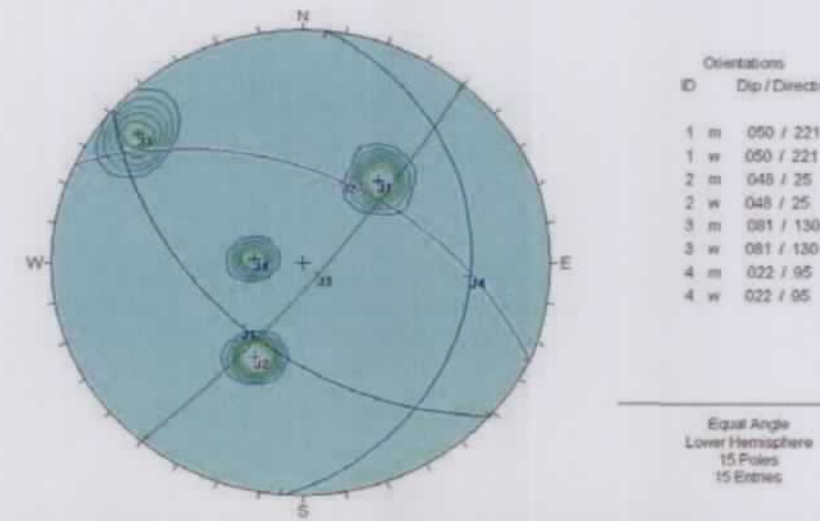
ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	



CANTERAS DE MURCIA

EG-13

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE												MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
J1	18	26	28	26	20	24	22	22	22	24	23	23	250	
J2	58	50	52	64	60	60	60	58	52	54	54	57	915	
J3	56	56	52	54	54	58	56	52	52	54	54	54	900	

FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOIMECANICA





**GEOCONTROL S.A.**  
PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN  
Y REHABILITACIÓN DE TÚNELES

FICHA DE  
ESTACIONES GEOMECAICAS

CANTERAS DE MURCIA

ESTACION N°: EG-105a  
CLAVE: 0361-ING  
FECHA: 12/11/2004  
COORD.  
X:603.114 Y:4.210.502 Z:

LITOLOGIA : Calizas de coloración rosada y beige con abundantes venas calcíticas diseminadas.

EDAD : Cretácico

MEDIDAS	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO	350	340	335	355	358	115	110	112	120	235	230	225	330	335	325
-DIR. BUZAMIENTO	10	22	15	18	12	70	72	65	73	75	70	78	50	55	45
ESPACIADO															
>2000 mm													X	X	X
600-2000 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
200-600 mm															
60-200 mm															
<60 mm															
CONTINUIDAD															
>20 m															
10-20 m						X	X	X	X						
3-10 m	X	X	X	X	X								X	X	X
1-3 m										X	X	X			
<1 m															
APERTURA															
> 5 mm						X	X	X	X				X	X	X
1-5 mm	X	X	X	X	X					X	X	X			
< 1 mm															
RUGOSIDAD															
JRC (10)	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	10-12	10-12	10-12	10-12	12-14	12-14	12-14	10-12	10-12	10-12
L(m) / A(cm)	1/1					1/3				1/4			1/1		
AGUA															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
RELLENO															
NATURALEZA	Cc	Ar	Cc	Cc	Ar	Ar-Dr	Ar-Dr	Ar-Dr	Ar-Dr	Ar			Ar	Ar	
ESPESOR mm	1	1	1	1	5	10	5	5	8				4	4	

CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACIÓN	PUNTAJACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	34
		D2	34
		D3	34
		Media	34
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	2
		Apertura	1
		Rugosidad	4
		Relleño	1
		Meteorización	3
	Suma	11	
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
		SUMA TOTAL	64

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	347	15
J1	114	70
J2	230	74
J3	330	50

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	

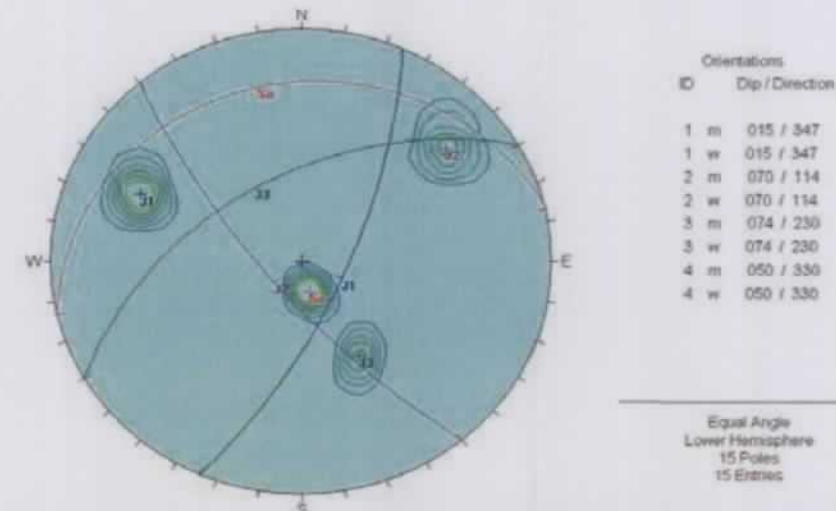


**GEOCONTROL S.A.**  
PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN  
Y REHABILITACIÓN DE TÚNELES

CANTERAS DE MURCIA

EG-105a

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE												MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	40	40	38	42	44	40	36	40	38	38	40	40	40	550
J1	52	50	42	40	38	40	50	50	52	48	46	46	46	620
J2	44	42	46	44	40	44	44	42	46	48	44	44	44	590

FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOMECAICA



LITOLOGIA : Calizas gris-beige con niveles con abundantes nódulos de sílex.

EDAD : Jurásico

MEDIDAS	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2
-DIR. BUZAMIENTO	310	314	308	305	315	160	164	165	155	158	75	71	78	77	72
-BUZAMIENTO	30	35	41	30	30	40	45	48	35	33	80	80	82	81	78
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm															
600-2000 mm											X	X	X	X	X
200-600 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m	X	X	X	X	X										
10-20 m															
3-10 m						X	X	X	X	X					
1-3 m											X	X	X	X	X
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm															
1-5 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
< 1 mm															
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/1,5					1/1					1/1,5				
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA	Margas	Margas	Margas	Margas	Margas						Cc	Cc	Cc		
ESPESOR mm	2	2	3	1	2						1	4	1		

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN		
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400		
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	2	31
		D2	2	31
		D3	2	31
		Media		31
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	3-10m	2
		Apertura	1-5mm	1
		Rugosidad	Lig. rugosa	3
		Relleno	No a B<5mm	4
		Meteorización	Moderada-Ligera	4
		Suma		14
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15	
	<b>SUMA TOTAL</b>	<b>64</b>		

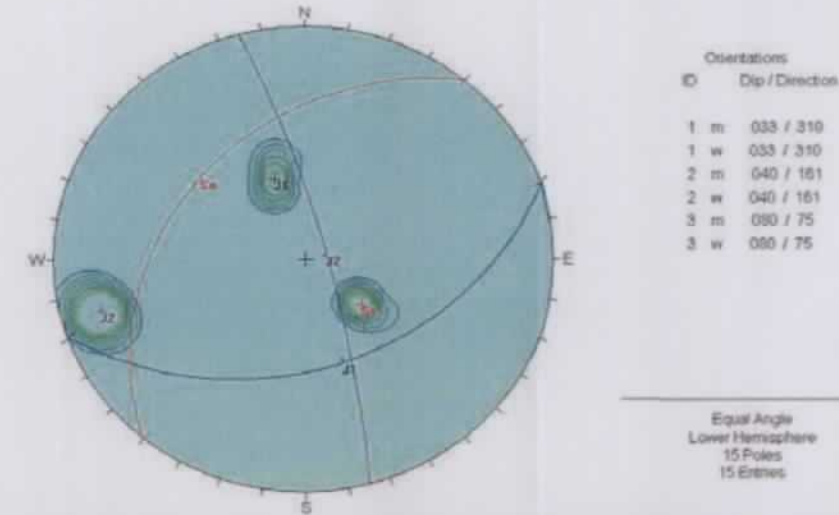
POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	310	33
J1	161	40
J2	75	80

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	X
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	X
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	X
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	

**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE											MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	54	54	52	50	58	58	56	54	54	54	54	54	830
J1	60	60	58	60	58	62	58	58	58	60	60	59	1250
J2	38	40	38	46	32	44	42	36	36	38	38	39	460

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA**



**APÉNDICE I.4. ESTACIONES GEOMECÁNICAS  
REALIZADAS EN LA SIERRA DE ALMÍREZ**



**LITOLOGIA :** Calizas de grano medio a grueso de coloración ocre rosada parcialmente recristalizadas.

**EDAD :** Jurásico

MEDIDAS	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	8	10	16	2	254	258	250	251	153	156	157	149	210	216	205
-BUZAMIENTO	12	10	9	14	62	58	64	60	74	75	78	71	83	85	81
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm															
600-2000 mm	X	X	X	X			X								
200-600 mm					X	X		X	X	X	X	X			
60-200 mm													X	X	X
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m															
10-20 m		X													
3-10 m	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
1-3 m									X	X					
<1 m													X	X	X
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm			X		X	X	X	X							
1-5 mm	X	X		X					X	X	X	X	X	X	X
< 1 mm															
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	8-10	8-10	6-8	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	6-8	6-8	6-8	8-10	10-12	10-12	8-10
L(m) / A(cm)	1/1,5				1/1,5				1/1				1/3		
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA	cc	cc	Dr		Ar	Ar	Ar	Ar							
ESPESOR mm	2	4	8		6	9	7	8							

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	2
		D2	1
		D3	2
		Media	32
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	3-10m
		Apertura	1-5 a >5mm
		Rugosidad	Lig.rugosa a rugosa
		Relleno	No a B>5mm
		Meteorización	Moderada
		Suma	13
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
		<b>SUMA TOTAL</b>	<b>64</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	8	11
J1	253	61
J2	154	74
J3	210	83

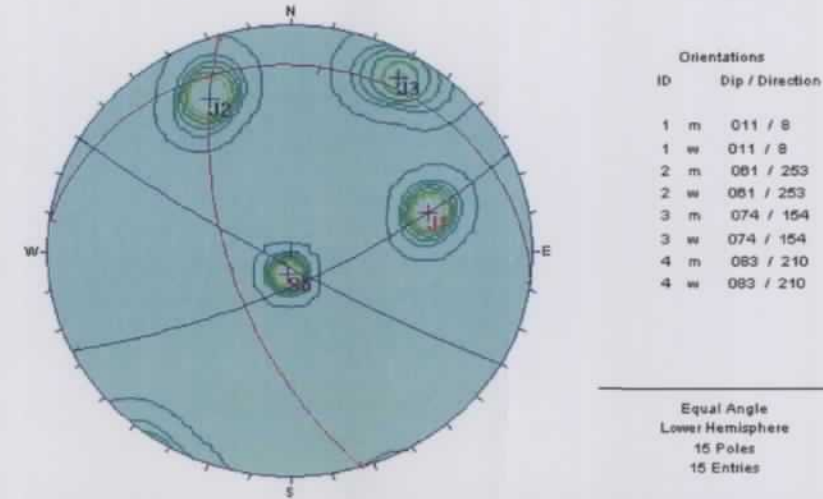
RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	X
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	



**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE														MED	JCS (kg/cm <sup>3</sup> )	
So	54	59	52	50	50	43	52	54	51	50	53						
J1	34	46	20	39	42	32	35	41	33	37	36						
J2	30	26	44	30	44	42	41	32	35	28	35						
J3	24	20	16	28	22	32	14	18	23	26	22						

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECHANICA**





LITOLOGIA : Calizas de grano medio a grueso de coloración ocre rosada parcialmente recristalizadas.

EDAD : Jurásico

MEDIDAS	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2
-TIPO DE PLANO	128	121	125	129	123	283	285	276	289	284	21	20	25	19	24
-DIR. BUZAMIENTO	12	10	14	13	8	54	52	51	57	58	53	51	55	49	56
-BUZAMIENTO															
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm						X	X	X	X	X					
600-2000 mm	X	X	X	X	X								X		
200-600 mm											X	X		X	X
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m															
10-20 m	X	X	X		X										
3-10 m				X											
1-3 m						X	X	X	X	X	X	X		X	X
<1 m												X			X
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm	X	X	X	X	X						X	X		X	X
1-5 mm						X	X		X	X			X		
< 1 mm								X							
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	12-14	12-14	10-12	12-14	12-14	6-8	6-8	8-10	6-8	6-8	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/3					1/1,5					1/2				
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA	cc	Dr	Dr	cc	Dr						Dr			Dr	Dr
ESPESOR mm	9	8	8	7	12						6			7	12

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	2
		D2	1
		D3	1
		Media	33
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	3-10m
		Apertura	1-5 a >5mm
		Rugosidad	Lig.rugosa a rugosa
		Relleño	No a B>5mm
		Meteorización	Moderada
		Suma	13
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
		<b>SUMA TOTAL</b>	<b>65</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	126	11
J1	283	54
J2	22	53

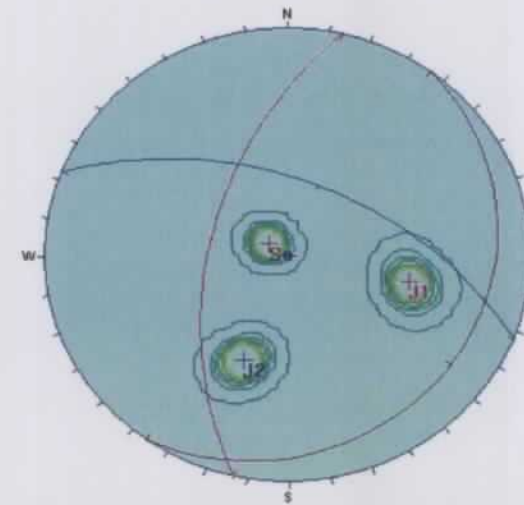
RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

ESTRUCT.	
MASIVA	
EN BLOQUES	X
COLUMNAR	
TABULAR	X
IRREGULAR	
DESMENUZ.	



**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



ID	Dip / Direction
1 m	011 / 126
1 w	011 / 126
2 m	054 / 283
2 w	054 / 283
3 m	053 / 22
3 w	053 / 22

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
16 Poles  
15 Entries

DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE														MED	JCS (kg/cm <sup>3</sup> )
So	54	24	41	45	28	28	32	29	41	42	36	550				
J1	48	54	55	39	42	38	35	32	29	38	41	520				
J2	44	28	35	25	16	19	24	28	22	29	27	230				

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOMECAICA**





**FICHA DE ESTACIONES GEOMECAICAS**  
**CANTERAS DE MURCIA**

ESTACION Nº: **EG-40**  
CLAVE: 0361-ING  
FECHA: 04/11/2004  
COORD.  
X:594.106 Y:4.191.165 Z:

**LITOLOGIA :** Calizas de grano medio a grueso de coloración ocre rosada parcialmente recristalizadas.

**EDAD :** Jurásico

MEDIDAS	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	112	113	110	115	104	9	6	3	12	16	142	148	145	132	134
-BUZAMIENTO	69	65	74	72	67	76	78	81	74	75	72	75	69	68	70
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm															
600-2000 mm						X	X	X	X	X					
200-600 mm	X	X	X	X	X						X	X	X	X	X
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m															
10-20 m	X			X	X										
3-10 m		X	X			X	X		X	X	X			X	
1-3 m								X				X	X		X
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm			X			X	X	X	X	X			X		
1-5 mm	X	X		X	X						X	X		X	X
< 1 mm															
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	10-12	10-12	8-10	10-12	10-12	8-10	8-10	8-10	8-10	10-12	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/2					1/1,5				1/1,5					
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA		Marga	Marga			Marga	Marga	cc	Marga	cc				Dr	Dr
ESPESOR mm		4	8			14	9	8	11	8				7	3

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACION	PUNTUACION
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	31
		D2	34
		D3	34
		Media	33
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	2
		Apertura	1
		Rugosidad	4
		Relleño	2
		Meteorización	3
	Suma	12	
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
	<b>SUMA TOTAL</b>		<b>64</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
J1	111	69
J2	9	77
J3	140	71

RESISTENCIA
R1=Muy debil
R2=Debil
R3=Median. debil
R4=Resistente X
R5=Muy resist.
R6=Extrem. res:

METEORIZ.
Grado I
Grado II
Grado III X
Grado IV
Grado V
Grado VI

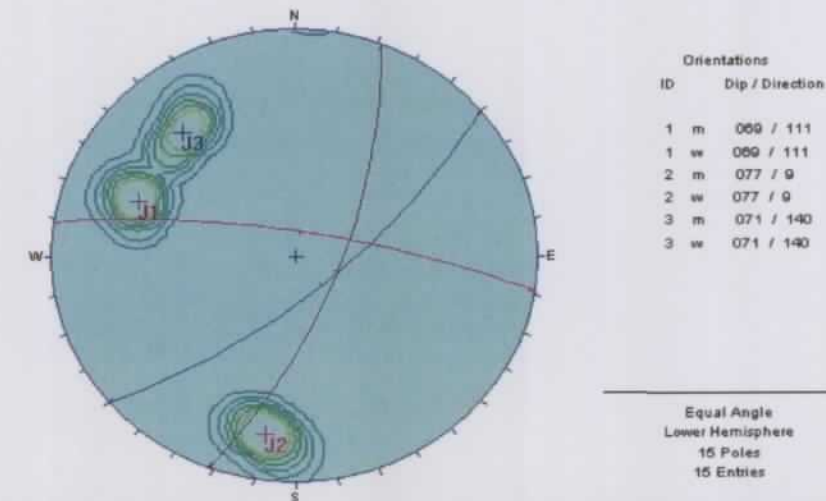
ESTRUCT.
MASIVA X
EN BLOQUES X
COLUMNAR
TABULAR
IRREGULAR
DESMENUZ.



**CANTERAS DE MURCIA**

EG-40

**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE												MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
J1	41	45	52	51	39	43	40	48	50	36	45	730		
J2	38	36	28	26	32	38	34	35	33	29	33	390		
J3	50	40	49	39	42	48	41	52	45	41	45	850		

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA**



**LITOLOGIA :** Calizas de grano medio a grueso de coloración ocre rosada parcialmente recristalizadas.

**EDAD :** Jurásico

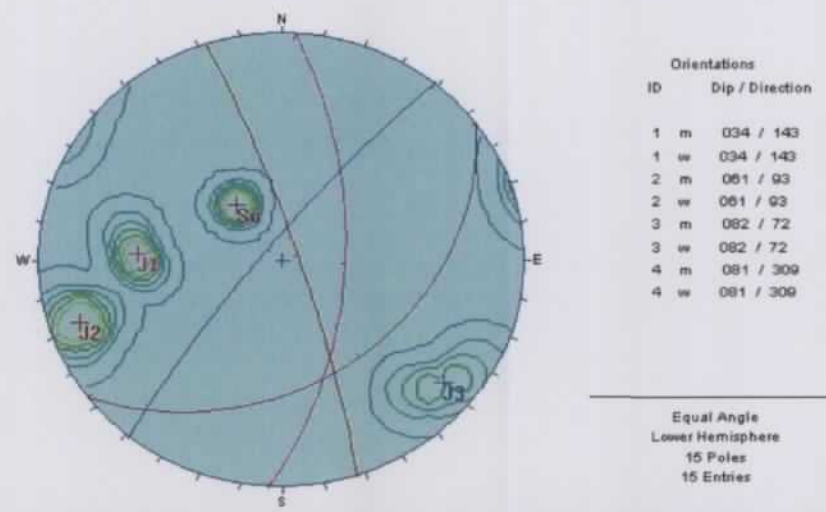
MEDIDAS															
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	144	141	139	149	94	90	86	101	72	75	68	73	310	301	317
-BUZAMIENTO	34	30	36	35	62	61	58	65	82	85	84	76	82	85	76
ESPACIADO															
>2000 mm	X	X		X											
600-2000 mm			X						X	X	X	X		X	X
200-600 mm					X	X	X	X					X		
60-200 mm															
<60 mm															
CONTINUIDAD															
>20 m															
10-20 m	X	X		X											
3-10 m			X						X	X	X	X			
1-3 m					X	X		X					X		X
<1 m							X							X	
APERTURA															
> 5 mm			X												
1-5 mm	X	X		X	X	X	X	X							
< 1 mm									X	X	X	X	X	X	X
RUGOSIDAD															
JRC (10)	12-14	12-14	10-12	12-14	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	12-14	12-14	12-14
L(m) / A(cm)	1/8				1/1,5				1/3				1/5		
AGUA															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
RELLENO															
NATURALEZA	cc	cc	Marga					cc							
ESPEJOR mm	2	4	8					3							

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR		VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	34
		D2	31
		D3	34
	Media	33	
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	2
		Apertura	3
		Rugosidad	5
		Relleno	4
		Meteorización	3
	Suma	17	
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
		<b>SUMA TOTAL</b>	<b>69</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.	RESISTENCIA	METEORIZ.	ESTRUCT.
So	143	34	R1=Muy debil	Grado I	MASIVA X
J1	93	61	R2=Debil	Grado II	EN BLOQUES
J2	72	82	R3=Median. debil	Grado III X	COLUMNAR
J3	309	81	R4=Resistente X	Grado IV	TABULAR
			R5=Muy resist.	Grado V	IRREGULAR
			R6=Extrem. res:	Grado VI	DESMENUZ.

**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE										MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	31	14	19	29	32	35	34	31	25	20	27	380
J1	18	16	15	22	15	18	19	14	17	11	17	210
J2	32	16	21	19	53	28	36	29	28	34	30	360
J3	40	54	39	36	35	45	44	52	41	35	42	530

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA**







FICHA DE ESTACIONES GEOMECAICAS  
CANTERAS DE MURCIA

ESTACION N°: EG-36B  
CLAVE: 0361-ING  
FECHA: 04/11/2004  
COORD. X:592.555 Y:4.192.466 Z:

LITOLOGIA : Calizas de grano medio a grueso de coloración ocre rosada parcialmente recristalizadas.  
EDAD : Jurásico

MEDIDAS	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	182	186	175	180	220	225	214	229	103	109	98	95	353	359	348
-BUZAMIENTO	18	14	22	20	76	73	79	80	62	58	67	66	58	54	56
ESPAZIADO															
>2000 mm	X	X	X	X		X			X	X		X		X	X
600-2000 mm					X		X	X			X		X		
200-600 mm															
60-200 mm															
<60 mm															
CONTINUIDAD															
>20 m															
10-20 m		X					X								
3-10 m	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1-3 m										X			X	X	
<1 m															
APERTURA															
> 5 mm					X	X	X	X					X	X	X
1-5 mm		X							X						
< 1 mm	X		X	X						X	X	X			
RUGOSIDAD															
JRC (10)	8-10	8-10	8-10	8-10	6-8	6-8	6-8	6-8	4-6	4-6	4-6	4-6	10-12	10-12	10-12
L(m) / A(cm)	1/3				1/1,5				1/1				1/4,5		
AGUA															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
RELLENO															
NATURALEZA					Marga	Marga	Marga						Dr	Marga	Dr
ESPEJOR mm					8	10	11						7	9	13

CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	34
		D2	34
		D3	34
		Media	34
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	2
		Apertura	1
		Rugosidad	3
		Relleño	2
		Meteorización	3
		Suma	11
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
SUMA TOTAL			64

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	180	18
J1	222	77
J2	101	63
J3	353	56

RESISTENCIA	ESTRUCT.
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res.	

METEORIZ.	ESTRUCT.
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

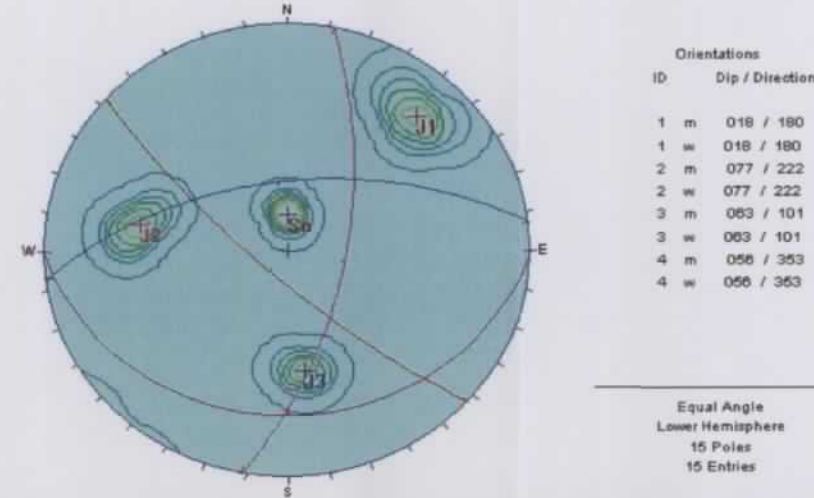
ESTRUCT.	ESTRUCT.
MASIVA	X
EN BLOQUES	X
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	



CANTERAS DE MURCIA

EG-36B

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE												MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	52	29	30	26	35	32	40	25	24	28	34	34	470	
J1	25	29	34	39	18	22	24	21	16	28	26	295		
J2	38	55	36	47	30	37	32	35	31	29	37	480		
J3	42	36	14	51	58	50	45	46	47	38	43	610		

FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOMECAICA





FICHA DE ESTACIONES GEOMECAICAS

CANTERAS DE MURCIA

ESTACION N°: EG-42  
 CLAVE: 0361-ING  
 FECHA: 04/11/2004  
 COORD.  
 X:591.169 Y:4.189.484 Z:

LITOLOGIA : Calizas de grano medio a grueso de coloración ocre rosada parcialmente recristalizadas.

EDAD : Jurásico

MEDIDAS	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	83	85	78	88	353	362	361	348	323	331	330	317	88	92	84
-BUZAMIENTO	19	16	14	22	89	88	87	89	83	81	86	80	88	85	89
ESPACIADO															
>2000 mm										X					
600-2000 mm		X		X	X	X	X	X	X		X	X			
200-600 mm	X		X										X	X	X
60-200 mm															
<60 mm															
CONTINUIDAD															
>20 m															
10-20 m															
3-10 m		X		X	X	X	X	X					X		X
1-3 m	X		X						X	X	X	X		X	
<1 m															
APERTURA															
> 5 mm	X	X	X	X					X						
1-5 mm					X	X	X	X		X	X	X			
< 1 mm													X	X	X
RUGOSIDAD															
JRC (10)	8-10	8-10	8-10	8-10	6-8	6-8	6-8	6-8	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/1,5				1/1,5				1/2				1/2		
AGUA															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
RELLENO															
NATURALEZA	cc	cc		cc	cc	cc			cc		cc				
ESPEJOR mm	7	9		8		3	4			8		4			

CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	34
		D2	31
		D3	34
		Media	33
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	2
		Apertura	1
		Rugosidad	3
		Relleno	0
		Meteorización	3
		Suma	9
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
		<b>SUMA TOTAL</b>	<b>61</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	84	18
J1	88	88
J2	82	82
J3	87	87

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

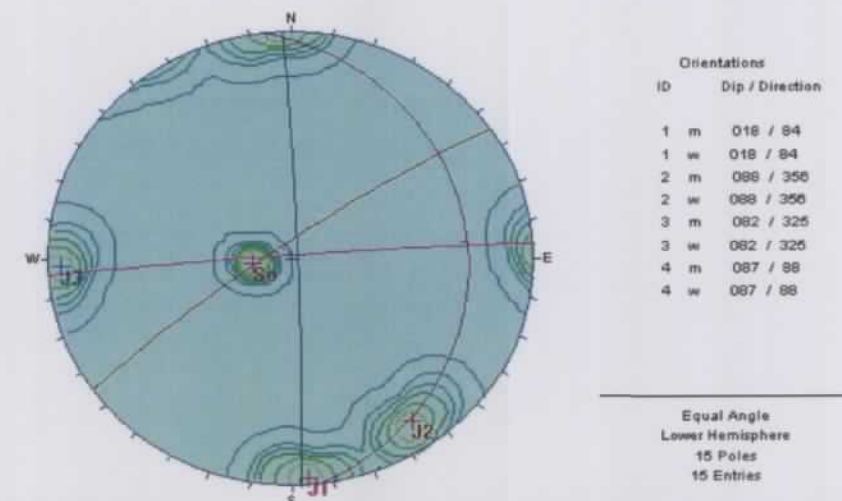
ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	X
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	



CANTERAS DE MURCIA

EG-42

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE												MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	34	26	36	29	49	32	31	22	26	30			32	440
J1	39	35	34	20	20	25	28	21	29	30			28	340
J2	32	24	21	25	29	24	26	31	32	28			27	325
J3	33	40	40	31	43	40	32	31	29	37			36	490

FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOMECAICA





LITOLOGIA : Calizas oolíticas de grano medio a grueso de coloración ocre rosada parcialmente recristalizadas.  
 EDAD : Jurásico

MEDIDAS															
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2
-DIR. BUZAMIENTO	159	168	162	145	143	62	68	52	54	65	352	356	359	360	342
-BUZAMIENTO	4	3	9	6	5	88	84	92	84	82	85	81	86	87	85
ESPACIADO															
>2000 mm															
600-2000 mm			X			X	X	X	X	X		X			X
200-600 mm	X	X		X	X						X		X	X	
60-200 mm															
<60 mm															
CONTINUIDAD															
>20 m	X	X	X	X	X										
10-20 m															
3-10 m						X	X	X	X	X					
1-3 m											X		X		
<1 m												X	X		X
APERTURA															
> 5 mm			X								X			X	X
1-5 mm	X	X		X	X							X	X		
< 1 mm						X	X	X	X	X					
RUGOSIDAD															
JRC (10)	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/2					1/1,5					1/2,5				
AGUA															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
RELLENO															
NATURALEZA		Dr	Marga		Dr										
ESPESOR mm		4	7		3										

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

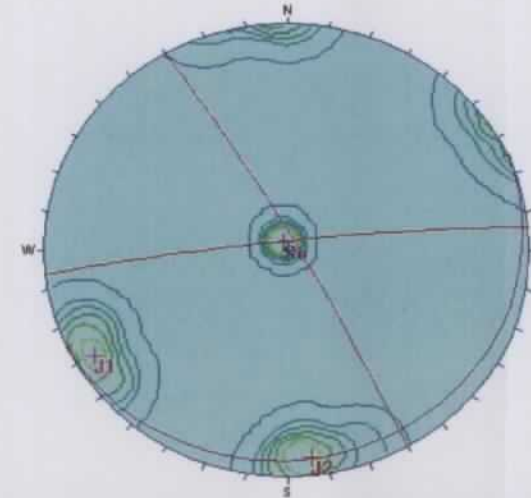
RMR	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1
		D2
		D3
		Media
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad
		Apertura
		Rugosidad
		Relleño
		Meteorización
		Suma
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>63</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	155	5
J1	60	85
J2	354	85

RESISTENCIA	METEORIZ.	ESTRUCT.
R1=Muy debil	Grado I	MASIVA
R2=Debil	Grado II	EN BLOQUES
R3=Median. debil	Grado III	COLUMNAR
R4=Resistente	Grado IV	TABULAR
R5=Muy resist.	Grado V	IRREGULAR
R6=Extrem. res:	Grado VI	DESMENUZ.



**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE											MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	34	56	53	29	50	49	26	25	43	41	41	41	710
J1	36	43	21	19	40	28	29	35	41	36	33	33	405
J2	36	44	48	32	31	45	49	52	41	32	41	41	620

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOMECAICA**



**LITOLOGIA :** Calizas oolíticas de grano medio a grueso de coloración ocre rosada parcialmente recristalizadas.

**EDAD :** Jurásico

MEDIDAS	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO															
-DIR. BUZAMIENTO	73	71	80	68	193	198	185	184	63	71	64	60	238	241	233
-BUZAMIENTO	36	32	39	38	49	47	41	45	72	71	68	75	73	70	76
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm					X		X				X		X	X	
600-2000 mm			X			X		X	X	X		X			X
200-600 mm	X	X		X											
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m															
10-20 m			X	X											
3-10 m	X	X			X	X		X	X	X		X			
1-3 m							X					X	X		
<1 m															X
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm					X	X		X	X	X					
1-5 mm	X	X	X	X			X				X	X		X	
< 1 mm													X	X	
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	6-8	6-8	6-8	6-8	4-6	4-6	4-6	4-6	6-8	6-8	6-8	6-8	8-10	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/1				1/0,5				1/1,5				1/2		
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA					Marga	Marga	Marga	Marga							
ESPESOR mm					8	12	3	7							

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACION	PUNTUACION
RMR 1		400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	2
		D2	1
		D3	2
		Media	32
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	3-10m
		Apertura	1-5 a >5mm
		Rugosidad	Lig.rugosa a rugosa
		Relleno	No a B>5mm
		Meteorización	Moderada
		Suma	12
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
		<b>SUMA TOTAL</b>	<b>63</b>

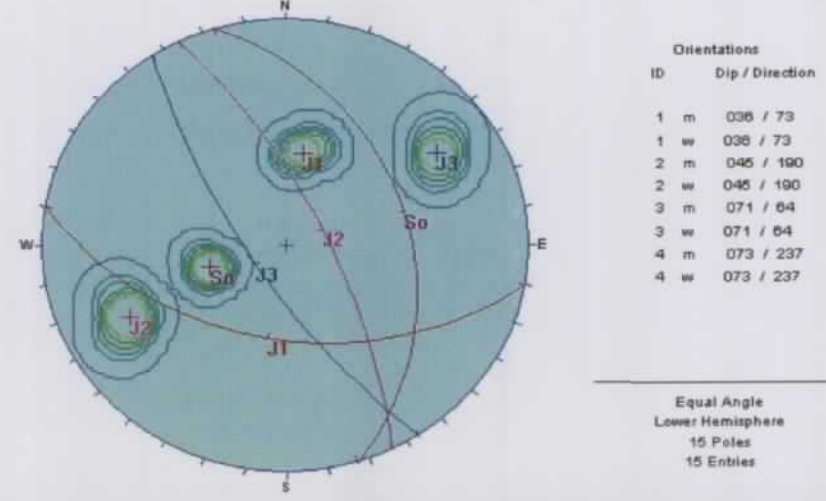
POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	73	36
J1	190	45
J2	64	71
J3	237	73

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	X
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	

**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE														MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	38	42	29	26	39	32	35	29	28	34	33	33	380			
J1	25	29	42	28	26	24	29	32	25	21	28	28	390			
J2	45	34	48	54	41	45	38	51	54	50	46	46	620			
J3	29	39	24	36	39	28	26	25	27	29	30	30	420			

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECANICA**



LITOLOGIA : Calizas oolíticas de grano medio a grueso de coloración ocre rosada parcialmente recristalizadas.

EDAD : Jurásico

MEDIDAS	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2
-TIPO DE PLANO															
-DIR. BUZAMIENTO	163	168	72	156	154	318	312	306	325	327	83	88	74	75	77
-BUZAMIENTO	18	14	22	21	16	89	88	86	87	88	70	78	72	71	62
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm									X					X	
600-2000 mm						X	X		X	X	X	X		X	X
200-600 mm	X	X	X	X	X										
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m	X	X	X	X	X										
10-20 m															
3-10 m						X	X		X		X	X	X		
1-3 m								X	X		X				X
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm	X	X	X		X						X	X	X		
1-5 mm				X		X				X		X	X		X
< 1 mm							X	X	X	X					
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	8-10	8-10	6-8	8-10	8-10	4-6	4-6	4-6	6-8	4-6	8-10	8-10	10-12	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/2.5					1/0.5					1/3				
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA															
ESPESOR mm															

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	VALORACIÓN	PUNTAJACIÓN
<b>RMR 1</b>	<b>RESISTENCIA A COMP. SIMPLE</b>	<b>400</b>
<b>RMR 2+3</b>	<b>JUNTAS POR METRO</b>	
	D1	1
	D2	2
	D3	2
	Media	32
<b>RMR 4</b>	<b>ESTADO DE LAS JUNTAS</b>	
	Continuidad	3-10 a 10-20m
	Apertura	1-5 a >5mm
	Rugosidad	Lig. rugosa a rugosa
	Relleño	No
	Meteorización	Moderada
	Suma	14
<b>RMR 5</b>	<b>PRESENCIA DE AGUA</b>	<b>Seco</b>
	<b>SUMA TOTAL</b>	<b>65</b>

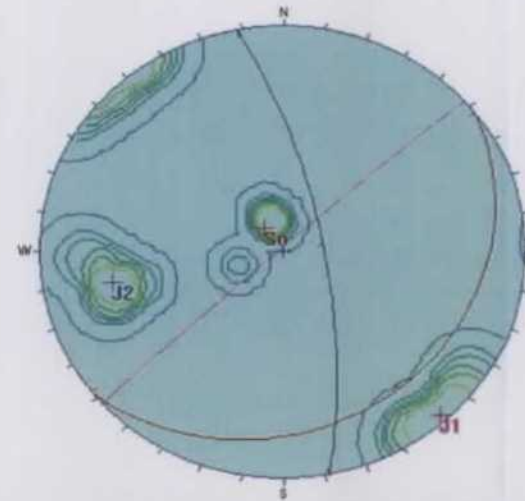
POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	142	15
J1	318	88
J2	79	71

RESISTENCIA
R1=Muy debil
R2=Debil
R3=Median. debil
R4=Resistente X
R5=Muy resist.
R6=Extrem. res:

METEORIZ.
Grado I
Grado II
Grado III X
Grado IV
Grado V
Grado VI

ESTRUCT.
MASIVA X
EN BLOQUES X
COLUMNAR
TABULAR
IRREGULAR
DESMENUZ.

**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



Orientations

ID	Dip / Direction
1 m	015 / 142
1 w	015 / 142
2 m	088 / 318
2 w	088 / 318
3 m	071 / 79
3 w	071 / 79

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
15 Poles  
15 Entries

DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE												MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
	So	28	18	29	19	45	34	26	24	27	25	30		
J1	53	45	38	54	45	41	36	35	42	46	44	700		
J2	25	20	29	22	30	28	24	19	28	26	25	240		

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACIÓN GEOMECAICA**





FICHA DE ESTACIONES GEOMECAICAS

CANTERAS DE MURCIA

ESTACION Nº: EG-41  
 CLAVE: 0361-ING  
 FECHA: 04/11/2004  
 COORD.  
 X:592.817 Y:4.188.116 Z:

LITOLOGIA : Calizas de grano medio a grueso de coloración ocre rosada parcialmente recristalizadas.

EDAD : Jurásico

MEDIDAS	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2
-TIPO DE PLANO	353	359	358	341	346	262	265	267	251	253	283	281	275	289	288
-DIR. BUZAMIENTO	43	41	45	32	39	36	35	38	42	31	63	65	59	68	67
-BUZAMIENTO															
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
600-2000 mm															
200-600 mm															
60-200 mm	X	X		X	X										
<60 mm			X												
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m						X	X	X	X	X					
10-20 m						X	X								
3-10 m	X	X	X	X							X	X	X	X	X
1-3 m															
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm			X			X	X		X	X					
1-5 mm	X	X		X	X			X			X	X	X	X	X
< 1 mm															
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	6-8	6-8	6-8	6-8	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8
L(m) / A(cm)	1/1					1/1,5					1/2				
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA						Marga	Marga	Dr	Marga		Marga	Marga	Marga		
ESPESOR mm						7	8	3	9		4	2	4		

CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	4
		D2	2
		D3	1
		Media	31
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	3-10m
		Apertura	1-5 a >5mm
		Rugosidad	Lig.rugosa a rugosa
		Relleño	B>5mm
		Meteorización	Moderada a alta
		Suma	9
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
<b>SUMA TOTAL</b>			<b>59</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	352	40
J1	260	36
J2	283	64

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	X
Grado V	
Grado VI	

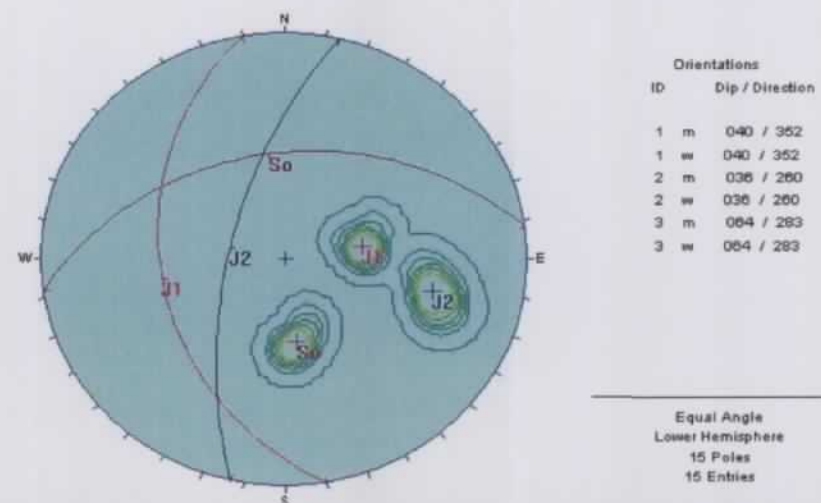
ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	X
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	



CANTERAS DE MURCIA

EG-41

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE												MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	45	45	46	35	36	32	29	42	45	43	40	40	670	
J1	21	18	23	24	21	15	14	17	21	24	20	20	280	
J2	39	28	26	30	45	42	35	31	36	33	35	35	520	

FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA



**LITOLOGIA :** Calizas de grano medio a grueso de coloración ocre rosada parcialmente recristalizadas.

**EDAD :** Jurásico

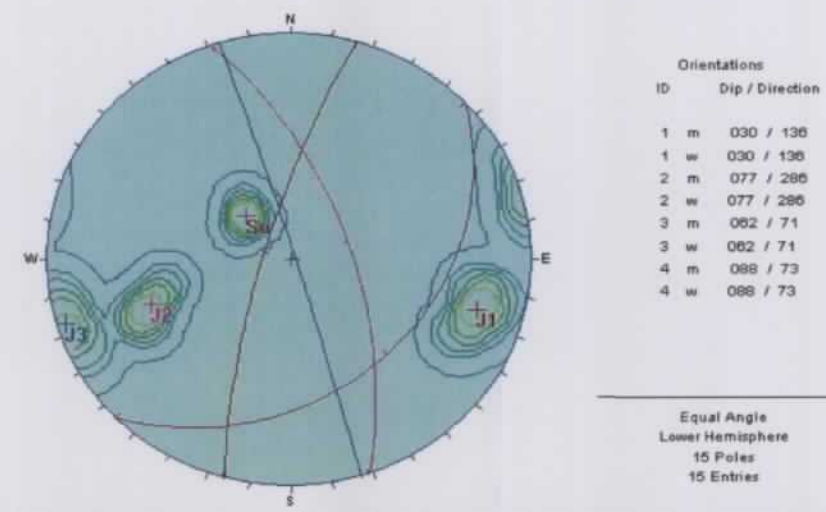
MEDIDAS	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	135	124	142	140	289	295	282	280	72	78	69	65	73	79	66
-BUZAMIENTO	31	28	35	26	78	74	81	75	61	55	68	66	88	89	86
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm	X	X	X	X									X	X	X
600-2000 mm									X	X	X	X			
200-600 mm						X	X	X		X	X	X			
60-200 mm					X										
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m	X	X	X	X											
10-20 m													X		
3-10 m					X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
1-3 m						X						X			
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1-5 mm															
< 1 mm															
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	14-16	12-14	14-16	14-16	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	12-14	12-14	12-14
L(m) / A(cm)	1/8				1/1,5				1/2				1/3		
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar
ESPESOR mm	8	9	16		12	14	15	9					8	12	16

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1 RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3 JUNTAS POR METRO	D1	34
	D2	34
	D3	34
	Media	34
RMR 4 ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	2
	Apertura	0
	Rugosidad	5
	Relleno	0
	Meteorización	4
	Suma	11
RMR 5 PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
<b>SUMA TOTAL</b>		<b>64</b>

<b>POLOS MEDIOS</b>	D.BUZ.	BUZ.	<b>RESISTENCIA</b>	<b>METEORIZ.</b>	<b>ESTRUCT.</b>
So	136	30	R1=Muy debil	Grado I	MASIVA X
J1	286	77	R2=Debil	Grado II X	EN BLOQUES X
J2	71	62	R3=Median. debil	Grado III X	COLUMNAR
J3	73	88	R4=Resistente X	Grado IV	TABULAR
			R5=Muy resist.	Grado V	IRREGULAR
			R6=Extrem. res:	Grado VI	DESMENUZ.

**REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES**



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE										MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	39	44	32	48	36	31	36	38	41	40	39	680
J1	32	46	54	54	45	41	43	39	46	46	45	700
J2	53	23	51	35	41	38	29	32	36	41	38	650

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA**





FICHA DE ESTACIONES GEOMECHANICAS

CANTERAS DE MURCIA

ESTACION N°: EG-37Bb  
 CLAVE: 0361-ING  
 FECHA: 04/11/2004  
 COORD.  
 X:594.032 Y:4.188.684 Z:

LITOLOGIA : Calizas de grano medio a grueso de coloración ocre rosada parcialmente recristalizadas.

EDAD : Jurásico

MEDIDAS	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2
-TIPO DE PLANO	112	116	106	110	121	223	213	231	225	224	314	319	302	309	325
-DIR. BUZAMIENTO	58	52	59	54	56	72	75	76	68	65	62	65	60	60	68
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm			X			X			X	X	X	X		X	X
600-2000 mm	X	X		X	X		X	X					X		
200-600 mm															
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m	X	X	X	X	X										
10-20 m											X	X		X	X
3-10 m						X	X		X	X			X		
1-3 m								X							
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm	X	X		X	X						X	X	X		X
1-5 mm			X												X
< 1 mm						X	X	X	X	X					
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	14-16	14-16	12-14	14-16	14-16	12-14	12-14	10-12	12-14	12-14	6-8	6-8	8-10	6-8	6-8
L(m) / A(cm)	1/4					1/3					1/1,5				
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA	Ar	Ar	Dr	Ar	Ar						Ar	Ar	Dr		
ESPESOR mm	8	7	3	9	7						6	3	8		

CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	34
		D2	34
		D3	34
		Media	34
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	3-10 a >20m
		Apertura	1-5 a >5mm
		Rugosidad	Lig.rugosa a rugosa
		Relleño	No a B>5mm
		Meteorización	Moderada
		Suma	11
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
		<b>SUMA TOTAL</b>	<b>64</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	113	53
J1	223	71
J2	314	63

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

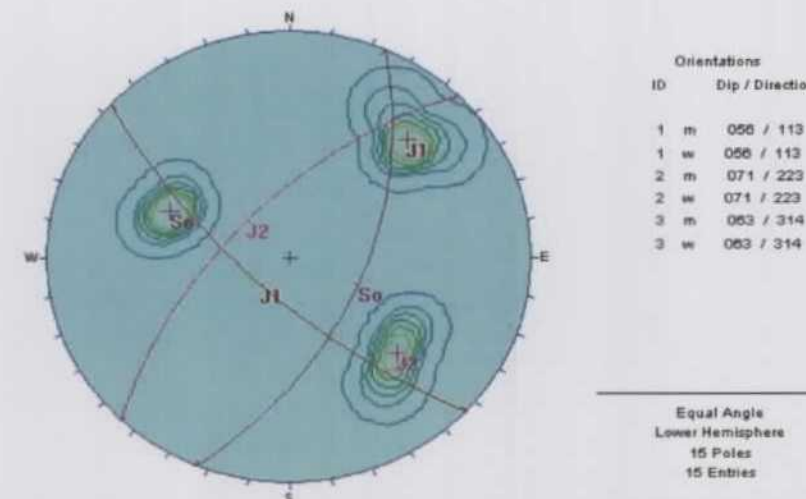
ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	X
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	



CANTERAS DE MURCIA

EG-37Bb

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE											MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
So	20	35	39	42	31	32	36	38	41	29	34	495	
J1	25	19	46	29	42	36	32	30	41	29	33	330	
J2	19	14	12	18	21	12	19	9	24	26	17	190	

FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECHANICA







FICHA DE ESTACIONES GEOMECAICAS  
CANTERAS DE MURCIA

ESTACION N°: EG-38  
CLAVE: 0361-ING  
FECHA: 04/11/2004  
COORD. X:590.305 Y:4.184.408 Z:

LITOLOGIA : Calizas de grano medio a grueso de coloración ocre rosada parcialmente recristalizadas.

EDAD : Jurásico

MEDIDAS															
-TIPO DE PLANO	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3	J3	J4	J4	J4
-DIR. BUZAMIENTO	54	49	48	59	136	141	129	131	278	284	269	270	272	265	281
-BUZAMIENTO	89	89	87	88	71	68	69	76	87	85	81	89	11	13	9
ESPACIADO															
>2000 mm									X	X	X	X			
600-2000 mm					X	X	X	X					X	X	X
200-600 mm	X	X		X											
60-200 mm			X												
<60 mm															
CONTINUIDAD															
>20 m															
10-20 m															
3-10 m	X	X		X					X	X		X	X		X
1-3 m			X		X	X	X	X			X			X	
<1 m															
APERTURA															
> 5 mm															
1-5 mm	X	X		X	X										
< 1 mm			X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
RUGOSIDAD															
JRC (10)	6-8	6-8	6-8	6-8	10-12	10-12	10-12	10-12	8-10	8-10	10-12	8-10	8-10	8-10	8-10
L(m) / A(cm)	1/1				1/2				1/1,5				1/1,5		
AGUA															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
RELLENO															
NATURALEZA															
ESPESOR mm															

CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR

RMR	VALORACIÓN	PUNTUACIÓN	
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	2
		D2	4
		D3	2
		Media	30
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	3-10m
		Apertura	1-5 a <1mm
		Rugosidad	Lig.rugosa a rugosa
		Relleno	No
		Meteorización	Moderada
		Suma	18
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	
SUMA TOTAL		67	

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
J1	52	88
J2	134	71
J3	275	85
J4	272	11

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res:	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

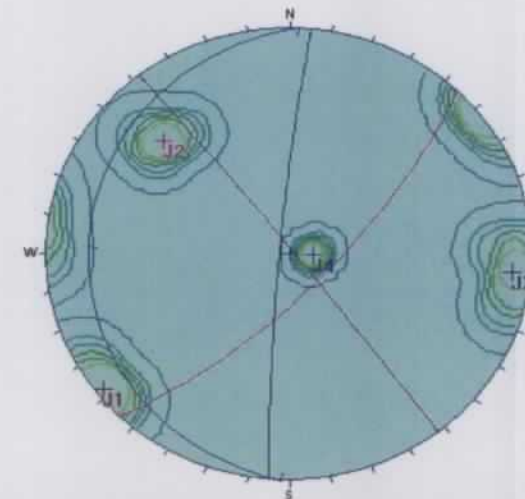
ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	X
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	



CANTERAS DE MURCIA

EG-38

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE												MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
J1	44	43	46	23	29	32	38	41	36	34	37	37	550	
J2	36	34	30	29	35	32	34	38	34	33	34	34	400	
J3	43	43	47	41	25	29	32	34	36	32	36	36	520	

FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA





**GEOCONTROL S.A.**  
PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN  
Y REHABILITACIÓN DE TÚNELES

FICHA DE  
ESTACIONES GEOMECAICAS

CANTERAS DE MURCIA

ESTACION N°: EG-117  
CLAVE: 0361-ING  
FECHA: 04/11/2004  
COORD.  
X:589.301 Y:4.183.518 Z:

LITOLOGIA : Calizas de grano medio a grueso de coloración ocre rosada parcialmente recristalizadas.

EDAD : Jurásico

MEDIDAS	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J2
-DIR. BUZAMIENTO	157	160	162	155	168	173	168	178	165	181	117	111	125	124	120
-BUZAMIENTO	32	43	35	30	40	74	78	85	71	72	57	56	51	65	62
<b>ESPACIADO</b>															
>2000 mm						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
600-2000 mm			X												
200-600 mm	X	X		X	X										
60-200 mm															
<60 mm															
<b>CONTINUIDAD</b>															
>20 m				X											
10-20 m	X	X	X		X						X				
3-10 m						X			X	X		X	X	X	X
1-3 m							X	X							
<1 m															
<b>APERTURA</b>															
> 5 mm						X	X	X	X	X		X	X		
1-5 mm											X			X	X
< 1 mm	X	X	X	X	X										
<b>RUGOSIDAD</b>															
JRC (10)	6-8	6-8	6-8	6-8	6-8	10-12	10-12	10-12	8-10	10-12	6-8	6-8	6-8	4-6	6-8
L(m) / A(cm)	1/4					1/3					1/1,5				
<b>AGUA</b>															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
<b>RELLENO</b>															
NATURALEZA						Ar	Ar	Ar	Ar	Ar		cc	cc		cc
ESPESOR mm						9	10	8	9	7		8	6		3

CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR

RMR	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	VALORACION	PUNTUACION
RMR 1		400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	31
		D2	34
		D3	34
		Media	33
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	3-10 a 10-20m
		Apertura	01-may
		Rugosidad	Lig.rugosa a rugosa
		Relleno	No a B>5mm
		Meteorización	Moderada
	Suma	12	
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
		<b>SUMA TOTAL</b>	<b>64</b>

POLOS MEDIOS	D.BUZ.	BUZ.
So	161	36
J1	173	76
J2	119	58

RESISTENCIA	
R1=Muy debil	
R2=Debil	
R3=Median. debil	
R4=Resistente	X
R5=Muy resist.	
R6=Extrem. res.	

METEORIZ.	
Grado I	
Grado II	
Grado III	X
Grado IV	
Grado V	
Grado VI	

ESTRUCT.	
MASIVA	X
EN BLOQUES	X
COLUMNAR	
TABULAR	
IRREGULAR	
DESMENUZ.	

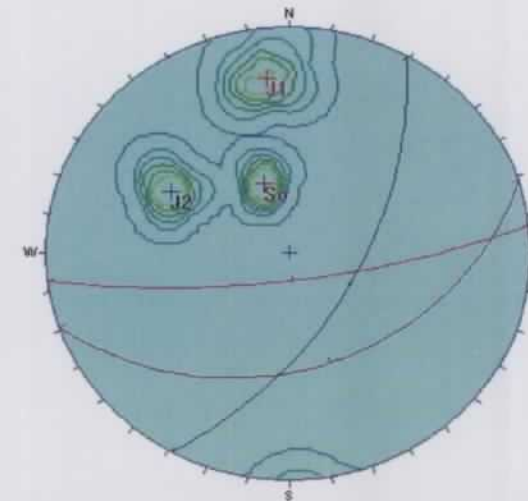


**GEOCONTROL S.A.**  
PROYECTO, CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN  
Y REHABILITACIÓN DE TÚNELES

CANTERAS DE MURCIA

EG-117

REPRESENTACION ESTEREOGRAFICA DE CONTORNOS Y POLOS PRINCIPALES



ID	Dip / Direction
1 m	036 / 161
1 w	036 / 161
2 m	076 / 173
2 w	076 / 173
3 m	058 / 119
3 w	058 / 119

Equal Angle  
Lower Hemisphere  
15 Poles  
15 Entries

DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE													MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
	So	53	59	53	56	49	47	41	38	42	41			48	840

FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA



**LITOLOGIA :** Calizas de grano medio a grueso de coloración ocre rosada parcialmente recristalizadas y con aspecto brechoide.

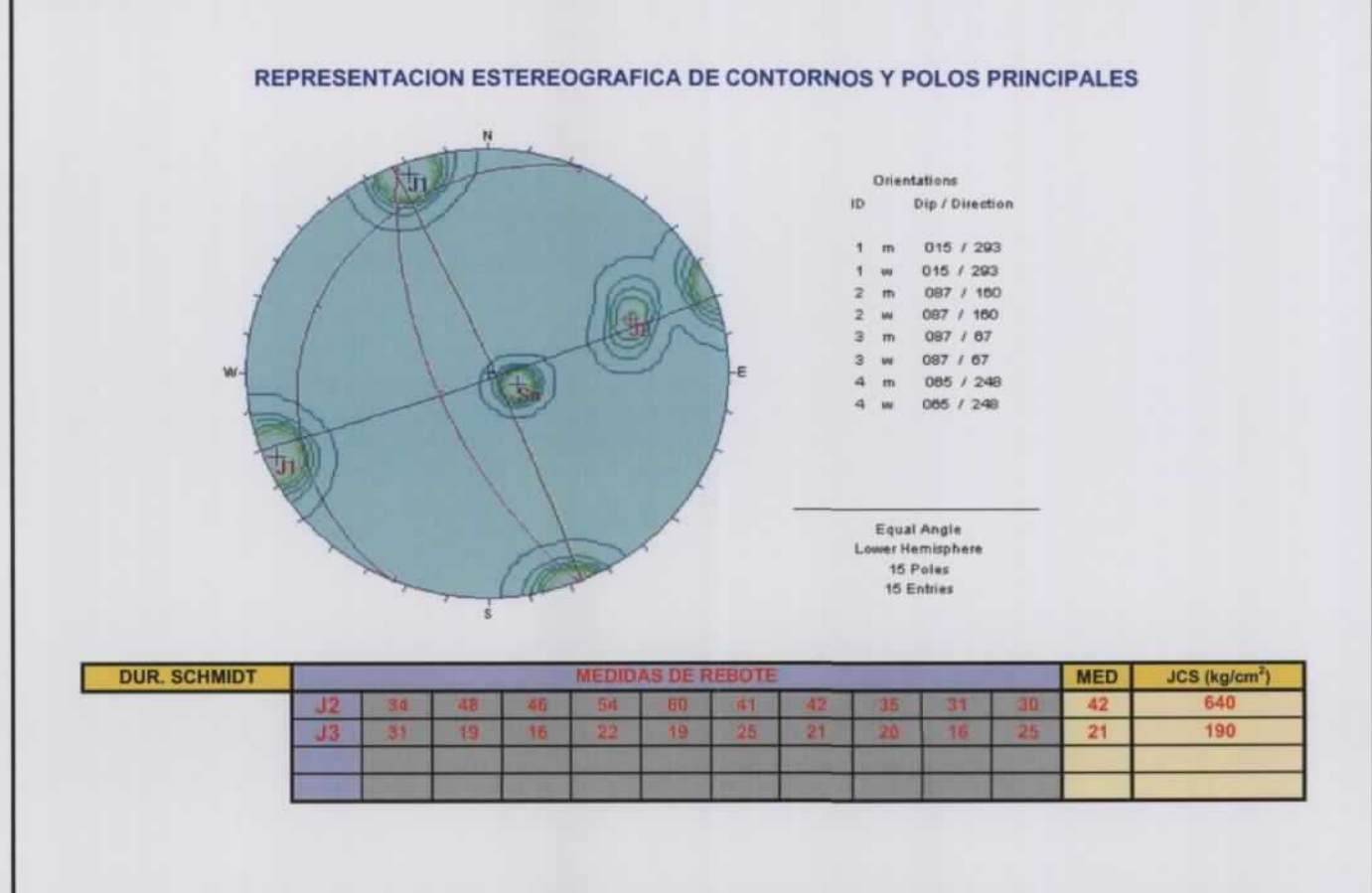
**EDAD :** Jurásico

MEDIDAS															
-TIPO DE PLANO	So	So	So	So	J1	J1	J1	J1	J2	J2	J2	J2	J3	J3	J3
-DIR. BUZAMIENTO	296	294	302	284	160	157	159	164	68	66	63	71	248	255	241
-BUZAMIENTO	16	15	12	18	87	84	88	89	87	84	92	88	65	61	69
ESPACIADO															
>2000 mm					X			X			X		X	X	X
600-2000 mm	X	X		X	X	X			X	X		X			
200-600 mm			X												
60-200 mm															
<60 mm															
CONTINUIDAD															
>20 m															
10-20 m					X	X		X							
3-10 m		X	X	X			X		X		X	X			
1-3 m	X									X			X	X	X
<1 m															
APERTURA															
> 5 mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
1-5 mm															
< 1 mm													X	X	X
RUGOSIDAD															
JRC (10)	6-8	6-8	6-8	8-10	6-8	6-8	6-8	6-8	8-10	8-10	10-12	8-10	12-14	12-14	12-14
L(m) / A(cm)	1/2				1/1				1/3				1/3		
AGUA															
SECO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
LIG. HUMEDO															
HUMEDO															
GOTEOS															
FLUIDO CONT.															
RELLENO															
NATURALEZA	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar			
ESPESOR mm	12	10	8	5	9	8	14	16	18	21	14	12			

**CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO. RMR**

RMR		VALORACIÓN	PUNTUACIÓN
RMR 1	RESISTENCIA A COMP. SIMPLE	400	4
RMR 2+3	JUNTAS POR METRO	D1	2
		D2	3
		D3	3
		Media	30
RMR 4	ESTADO DE LAS JUNTAS	Continuidad	3-10m
		Apertura	>5mm
		Rugosidad	Lig.rugosa a rugosa
		Relleño	B>5mm
		Meteorización	Moderada a alta
		Suma	8
RMR 5	PRESENCIA DE AGUA	Seco	15
		<b>SUMA TOTAL</b>	<b>57</b>

POLOS MEDIOS		RESISTENCIA		METEORIZ.		ESTRUCT.	
So	293	R1=Muy debil		Grado I		MASIVA	X
J1	160	R2=Debil		Grado II		EN BLOQUES	
J2	67	R3=Median. debil		Grado III	X	COLUMNAR	
J3	248	R4=Resistente	X	Grado IV	X	TABULAR	
		R5=Muy resist.		Grado V		IRREGULAR	X
		R6=Extrem. res:		Grado VI		DESMENUZ.	

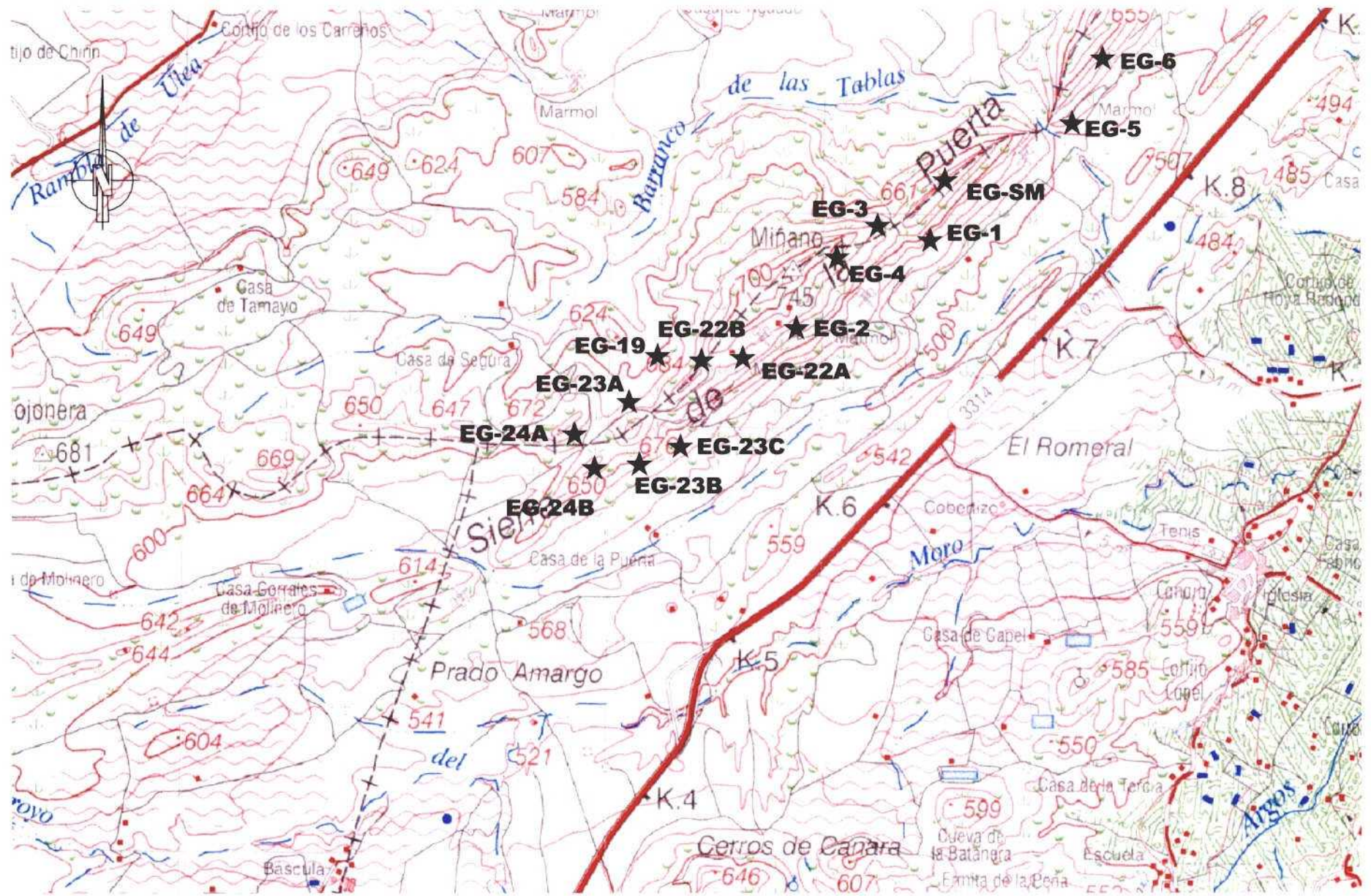


DUR. SCHMIDT	MEDIDAS DE REBOTE											MED	JCS (kg/cm <sup>2</sup> )
J2	34	48	46	54	60	41	42	35	31	30	42	640	
J3	31	19	16	22	19	25	21	20	16	25	21	190	

**FOTOGRAFIA DE LA ESTACION GEOMECAICA**

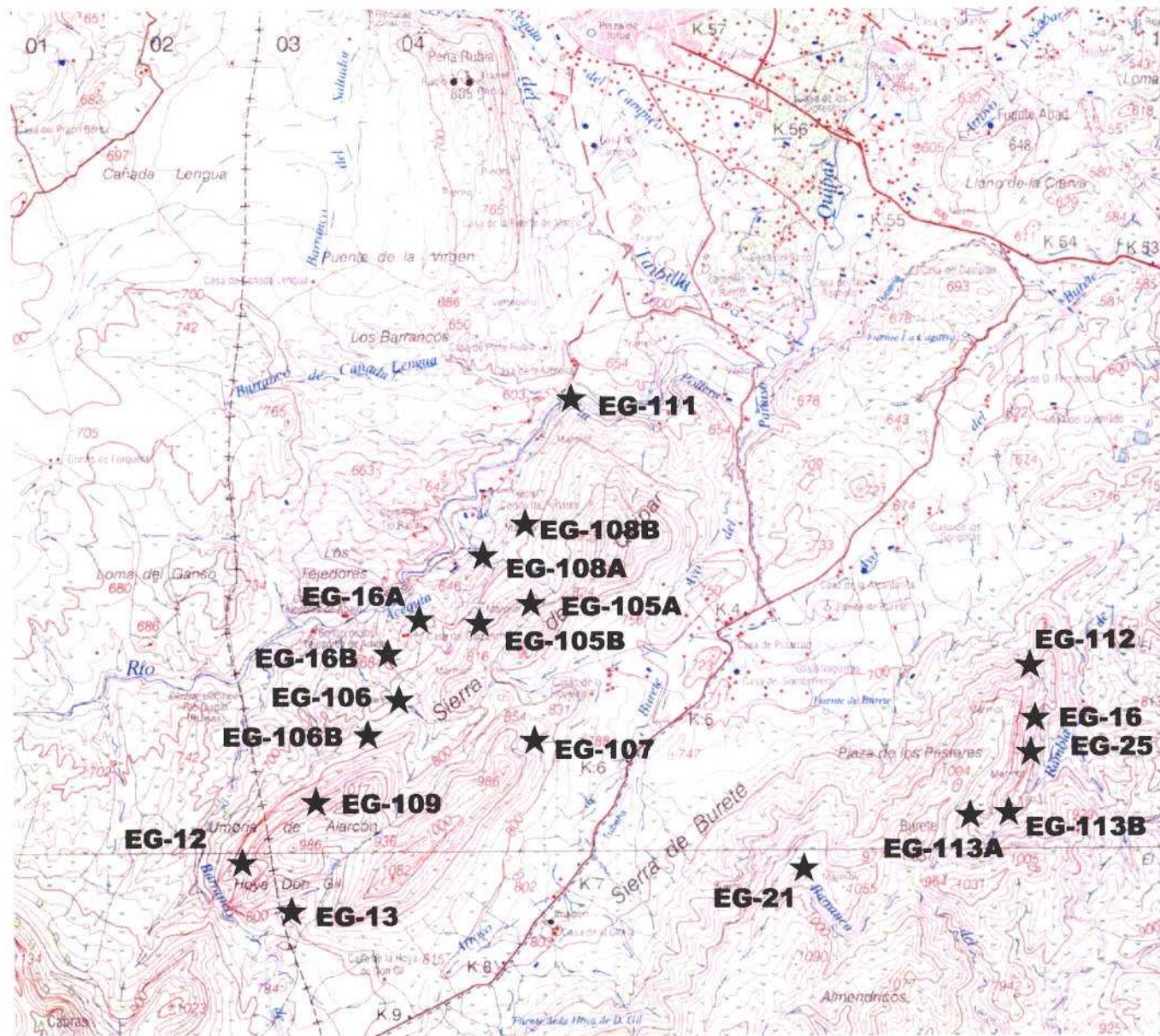


**APÉNDICE I.5. SITUACIÓN DE LAS ESTACIONES  
GEOMECÁNICAS**



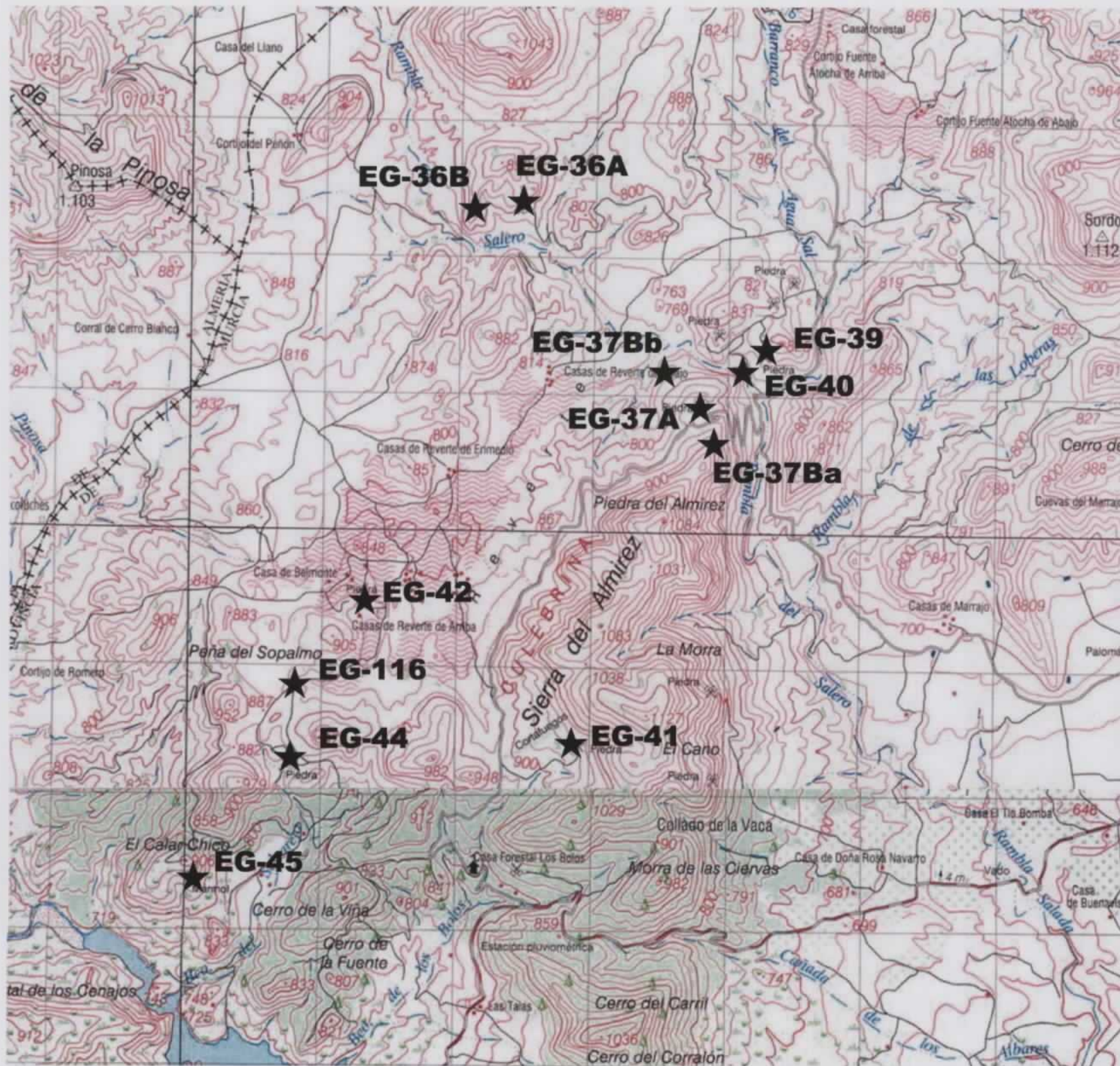
Situación de las estaciones geomecánicas en la Sierra de la Puerta  
 (Base cartográfica 1:50.000, CEHEGÍN, 911)

250 0.0 750m.  
 1:25.000



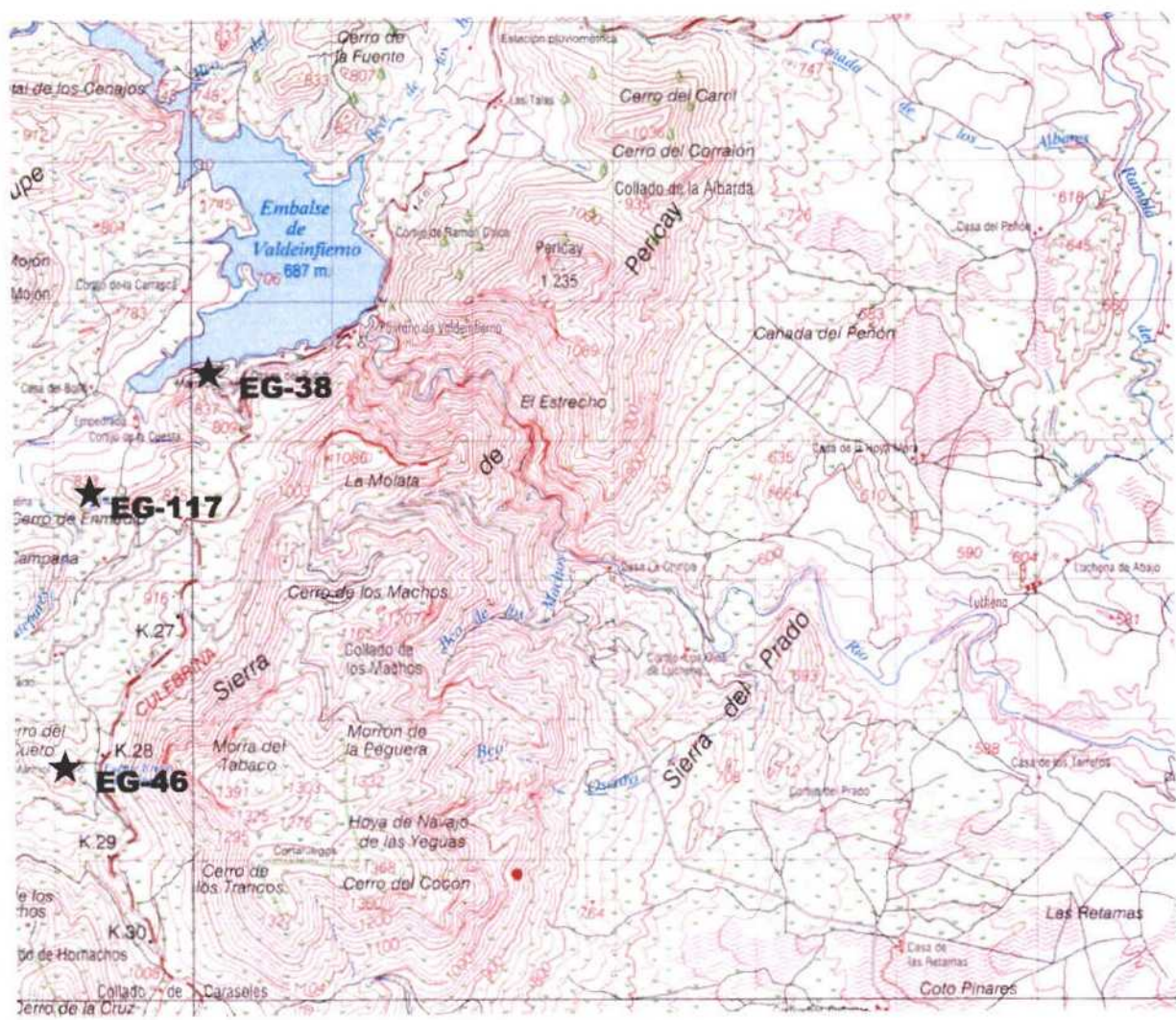
Situación de las estaciones geomecánicas en la Sierra de Quipar y en la Sierra de Burete. (Base cartográfica 1:50.000, CEHEGÍN, 911)





Situación de las estaciones geomecánicas en la Sierra de Almiréz (1 de 2)  
 (Base cartográfica 1:50.000, Zarcilla de Ramos, 931 y Vélez Blanco, 952)

1:50.000



Situación de las estaciones geomecánicas en la Sierra de Almírez (2 de 2)  
(Base cartográfica 1:50.000, Vélez Blanco, 952)



1:50.000



**APÉNDICE II. ENSAYOS DE RESISTENCIA A CARGA  
PUNTUAL MEDIANTE PRENSA FRANKLIN**

**CEPASA**

ENSAYOS GEOTÉCNICOS, S.A.

Calle Nicolás Copérnico 12

Polígono Codein 28940

Fuenlabrada - Madrid

Teléfono: 606-88-54 Fax: 609-88-55

Referencia nº: 04623

Peticionario: GEOCONTROL

Denominación: CANTERAS MURCIA. SIERRA DE LA PUERTA

Operador: Evelyn C. Aguirre

Fecha: 18/11/2004

**RESISTENCIA A CARGA PUNTUAL (UNE 22950-5)**

MUESTRA	TIPO	<u>W</u> (mm)	<u>D</u> (mm)	<u>Is</u> N/mm <sup>2</sup>	<u>Is<sub>(50)</sub></u> N/mm <sup>2</sup>	MEDIA Is <sub>(50)</sub> N/mm <sup>2</sup>
Z-1 (17) S.P.	Fragmento	46.30	35.60	5.21	5.01	4.53
"	"	72.60	46.00	5.10	5.75	
"	"	58.70	34.40	6.13	6.17	
"	"	66.10	57.20	1.10	1.27	
"	"	56.40	48.30	4.12	4.44	
Z-1 (19) S.P.	Fragmento	79.60	61.20	4.99	6.12	4.27
"	"	73.50	61.90	3.53	4.26	
"	"	93.50	58.50	2.82	3.55	
"	"	90.40	51.10	3.85	4.67	
"	"	71.80	42.20	2.51	2.76	
Z-1 (19) S.P.	Fragmento	93.30	82.10	2.59	3.52	3.94
"	"	75.50	70.00	4.38	5.48	
"	"	72.90	54.20	4.95	5.80	
"	"	80.40	33.90	2.40	2.59	
"	"	70.20	46.40	2.06	2.31	
Z-1 (22) S.P.	Fragmento	117.70	55.80	3.33	4.37	5.64
"	"	48.50	30.10	6.08	5.69	
"	"	57.20	39.60	5.95	6.15	
"	"	63.50	40.90	5.43	5.79	
"	"	56.40	41.10	5.97	6.20	
Z-1 (23) S.P.	Fragmento	73.50	20.50	4.80	4.52	3.86
"	"	34.30	29.00	8.33	7.15	
"	"	88.80	27.50	1.70	1.78	
"	"	31.30	28.60	6.98	5.85	
"	"	52.40	29.50	0.00	0.00	

**CEPASA**

ENSAYOS GEOTÉCNICOS, S.A.

Calle Nicolás Copérnico 12

Polígono CodeIn 28940

Fuentabrada - Madrid

Teléfono: 606-88-54 Fax: 609-88-55

Referencia nº: 04623

Peticionario: GEOCONTROL

Denominación: CANTERAS MURCIA. QUIPAR

Operador: Evelyn C. Aguirre

Fecha: 18/11/2004

**RESISTENCIA A CARGA PUNTUAL (UNE 22950-5)**

MUESTRA	TIPO	<u>W</u> (mm)	<u>D</u> (mm)	<u>Is</u> N/mm <sup>2</sup>	<u>Is<sub>(50)</sub></u> N/mm <sup>2</sup>	MEDIA Is <sub>(50)</sub> N/mm <sup>2</sup>
Z-1 (105) Q	Fragmento	91.40	72.60	2.63	3.46	3.73
"	"	74.80	43.90	4.80	5.39	
"	"	115.50	71.40	0.64	0.88	
"	"	81.20	50.90	3.47	4.11	
"	"	51.70	53.60	4.48	4.84	
Z-1 (106) Q	Fragmento	118.60	72.20	2.37	3.30	2.96
"	"	80.70	53.00	1.82	2.17	
"	"	116.50	45.30	2.70	3.37	
"	"	60.10	51.90	2.64	2.93	
"	"	73.00	43.50	2.72	3.03	
Z-1 (108) Q	Fragmento	75.10	37.10	3.38	3.65	3.24
"	"	42.30	41.40	2.56	2.50	
"	"	100.30	52.60	1.73	2.17	
"	"	72.50	31.80	3.02	3.14	
"	"	64.60	29.90	4.76	4.74	
Z-1 (109) Q	Fragmento	75.40	67.40	2.67	3.30	3.65
"	"	50.50	31.30	2.99	2.84	
"	"	64.80	54.10	2.99	3.41	
"	"	51.40	47.20	4.24	4.45	
"	"	65.60	37.90	4.04	4.26	
Z-1 (111) Q	Fragmento	56.20	44.70	4.24	4.48	4.89
"	"	35.50	36.40	8.06	7.34	
"	"	90.50	44.60	3.11	3.66	
"	"	105.80	60.40	2.15	2.81	
"	"	48.30	39.70	6.21	6.18	

**CEPASA**

ENSAYOS GEOTÉCNICOS, S.A.

Calle Nicolás Copérnico 12

Polígono Codein 28940

Fuentelabrada - Madrid

Teléfono: 606-88-54 Fax: 609-88-55

Referencia nº: 04623

Peticionario: GEOCONTROL

Denominación: CANTERAS MURCIA. BURETE

Operador: Evelyn C. Aguirre

Fecha: 18/11/2004

**RESISTENCIA A CARGA PUNTUAL (UNE 22950-5)**

MUESTRA	TIPO	<u>W</u> (mm)	<u>D</u> (mm)	<u>Is</u> N/mm <sup>2</sup>	<u>Is<sub>(50)</sub></u> N/mm <sup>2</sup>	MEDIA Is <sub>(50)</sub> N/mm <sup>2</sup>
Z-1 (16) B	Fragmento	105.50	37.00	2.84	3.31	3.12
"	"	47.60	30.50	5.06	4.73	
"	"	67.20	39.90	2.80	3.00	
"	"	99.30	57.80	1.34	1.70	
"	"	120.20	85.60	1.95	2.83	
Z-1 (21) B	Fragmento	81.10	51.10	2.31	2.73	3.49
"	"	70.80	40.00	2.83	3.08	
"	"	98.90	40.20	2.26	2.65	
"	"	79.50	38.50	4.69	5.18	
"	"	49.20	38.40	3.86	3.82	
Z-1 (25) B	Fragmento	79.40	40.30	3.53	3.94	4.72
"	"	66.70	43.10	4.62	5.03	
"	"	60.20	52.30	4.69	5.22	
"	"	59.30	45.10	4.14	4.44	
"	"	69.90	38.20	4.63	4.96	
Z-1 (112) B	Fragmento	100.20	83.20	3.15	4.36	4.30
"	"	83.00	51.90	3.52	4.20	
"	"	79.20	47.90	5.32	6.17	
"	"	66.10	54.40	3.69	4.23	
"	"	97.00	48.10	2.11	2.56	
Z-1 (113) B	Fragmento	81.90	30.00	4.05	4.26	4.41
"	"	76.90	29.20	2.91	3.00	
"	"	44.80	25.00	5.57	4.91	
"	"	33.20	24.90	7.01	5.77	
"	"	49.10	28.10	4.44	4.10	

**CEPASA**

ENSAYOS GEOTÉCNICOS, S.A.

Calle Nicolás Copérnico 12

Polígono Codelin 28940

Fuentelabrada - Madrid

Teléfono: 606-88-54 Fax: 609-88-55

Referencia nº: 04623

Peticionario: GEOCONTROL

Denominación: CANTERAS MURCIA. SIERRA DE ALMIREZ

Operador: Evelyn C. Aguirre

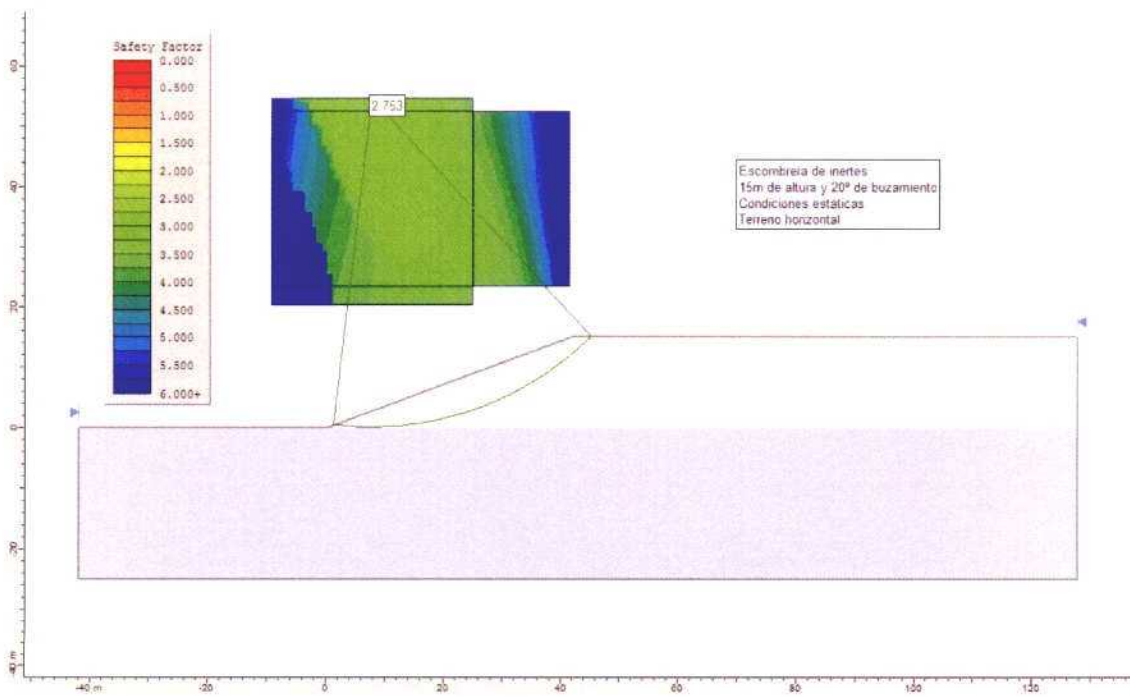
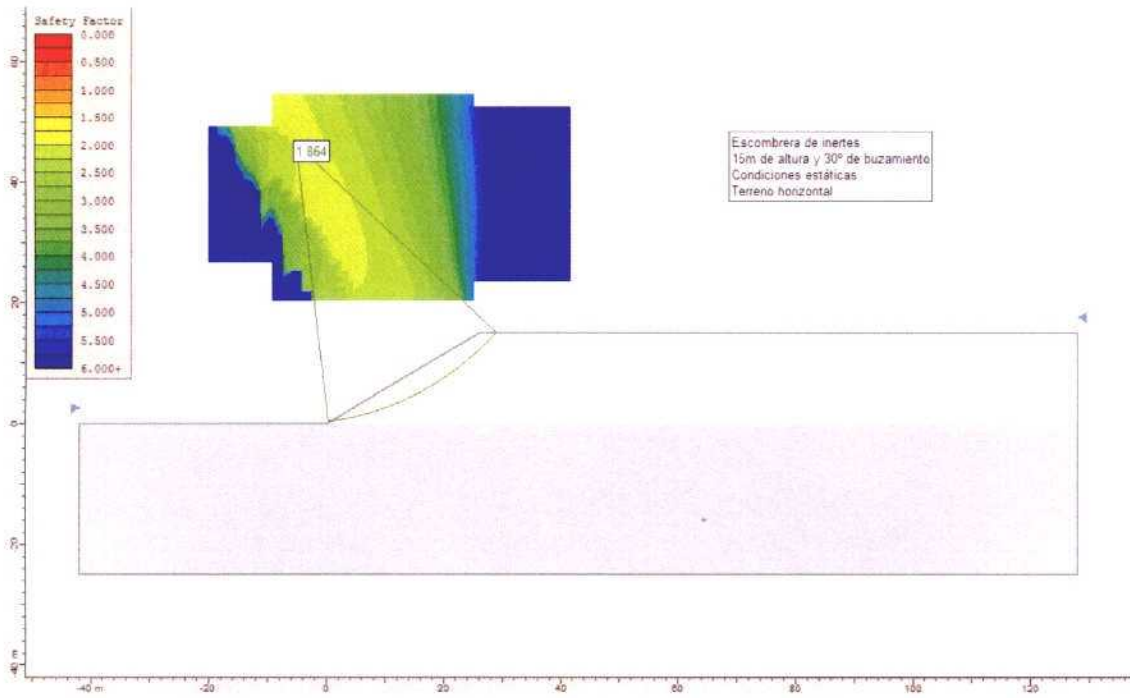
Fecha: 18/11/2004

**RESISTENCIA A CARGA PUNTUAL (UNE 22950-5)**

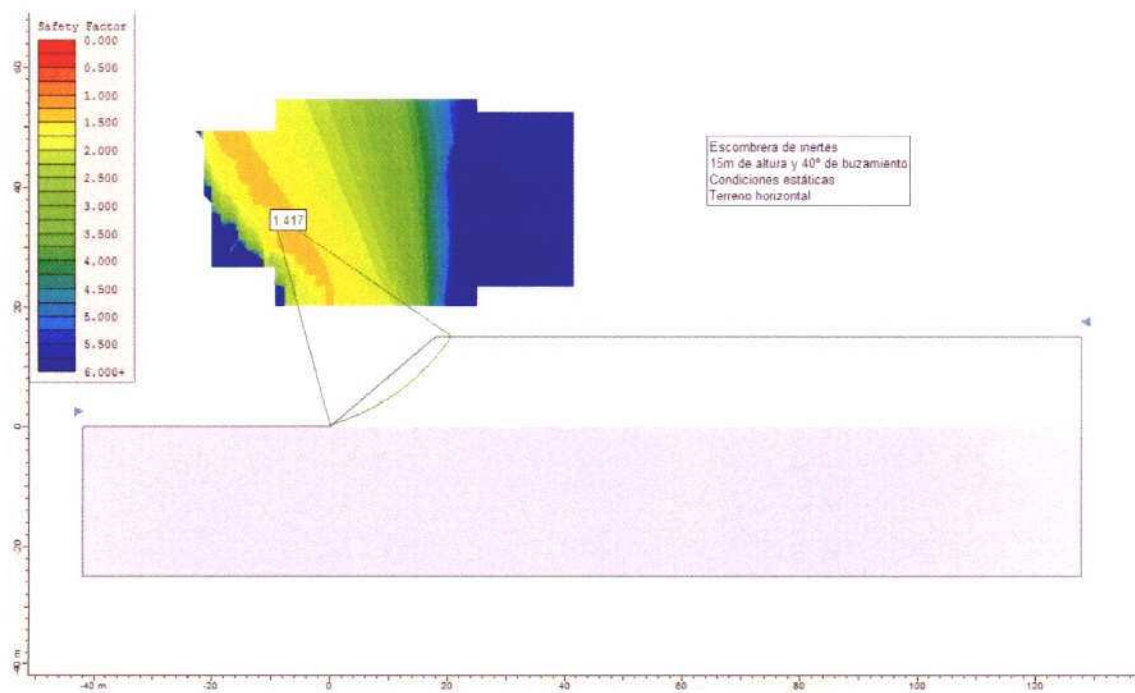
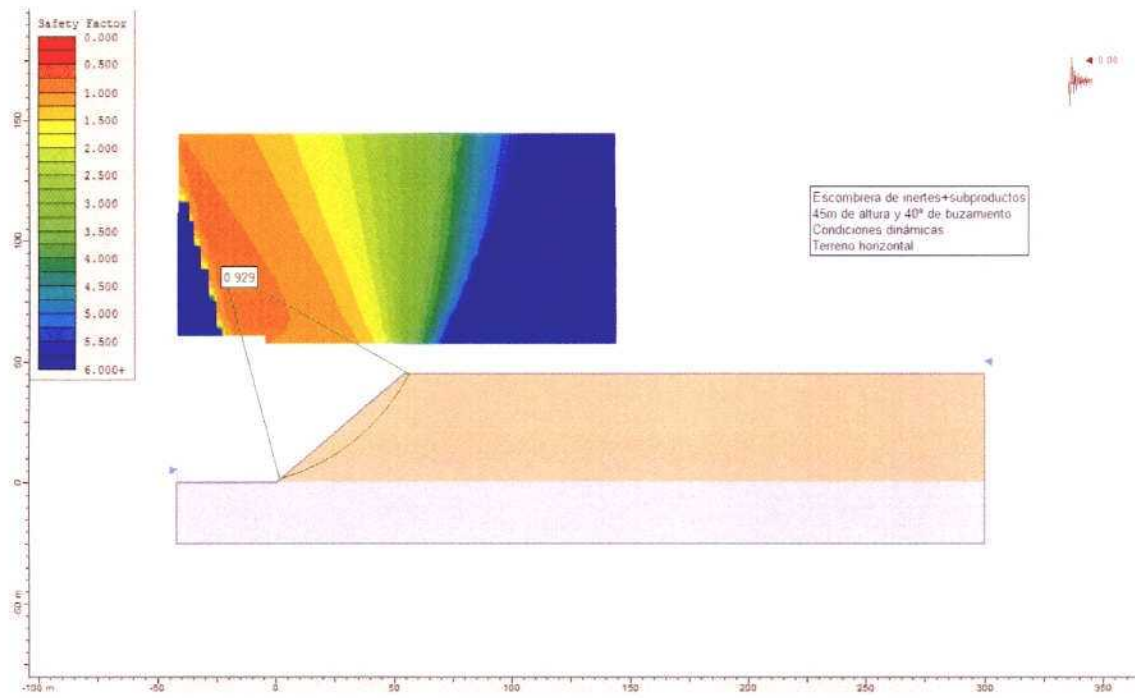
<u>MUESTRA</u>	<u>TIPO</u>	<u>W</u> <u>(mm)</u>	<u>D</u> <u>(mm)</u>	<u>Is</u> <u>N/mm<sup>2</sup></u>	<u>Is<sub>(50)</sub></u> <u>N/mm<sup>2</sup></u>	<u>MEDIA Is<sub>(50)</sub></u> <u>N/mm<sup>2</sup></u>
Z-2 (36)	Fragmento	46.20	36.90	6.66	6.45	
"	"	48.40	35.70	6.55	6.36	
"	"	60.50	30.90	5.58	5.52	5.68
"	"	50.50	39.60	5.12	5.14	
"	"	63.80	29.60	4.99	4.95	-----
Z-2 (38)	Fragmento	82.80	63.90	3.25	4.06	
"	"	110.40	80.70	2.35	3.30	
"	"	97.00	48.10	4.20	5.10	4.32
"	"	93.20	40.50	4.43	5.13	
"	"	91.50	31.80	3.68	4.02	-----
Z-2 (39)	Fragmento	85.30	62.30	2.63	3.29	
"	"	99.70	46.80	1.30	1.58	
"	"	80.40	45.10	2.61	3.00	2.48
"	"	74.60	33.10	1.54	1.62	
"	"	67.10	41.80	2.70	2.92	-----
Z-2 (41)	Fragmento	153.00	95.30	1.78	2.79	
"	"	107.20	97.60	1.33	1.94	
"	"	115.30	38.90	3.04	3.66	3.44
"	"	65.00	53.20	3.52	4.00	
"	"	60.90	42.70	4.53	4.83	-----
Z-2 (42)	Fragmento	82.70	40.10	3.64	4.10	
"	"	45.50	39.40	4.47	4.38	
"	"	62.10	54.70	4.04	4.57	4.24
"	"	57.50	48.00	4.12	4.44	
"	"	63.60	36.90	3.56	3.71	-----

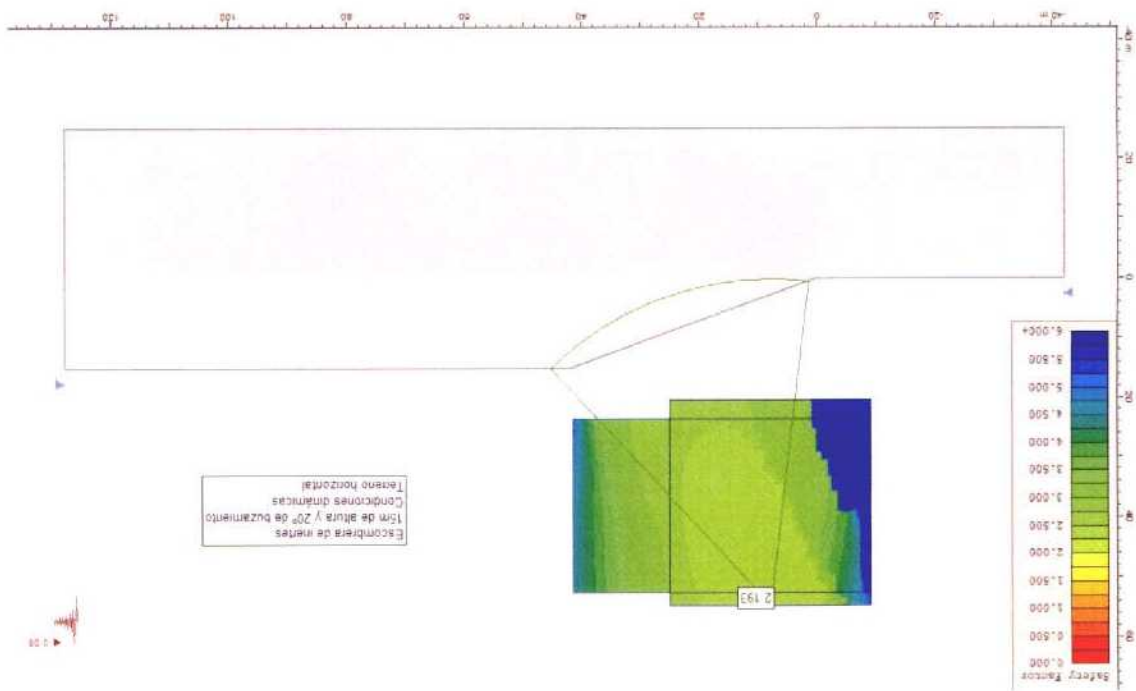
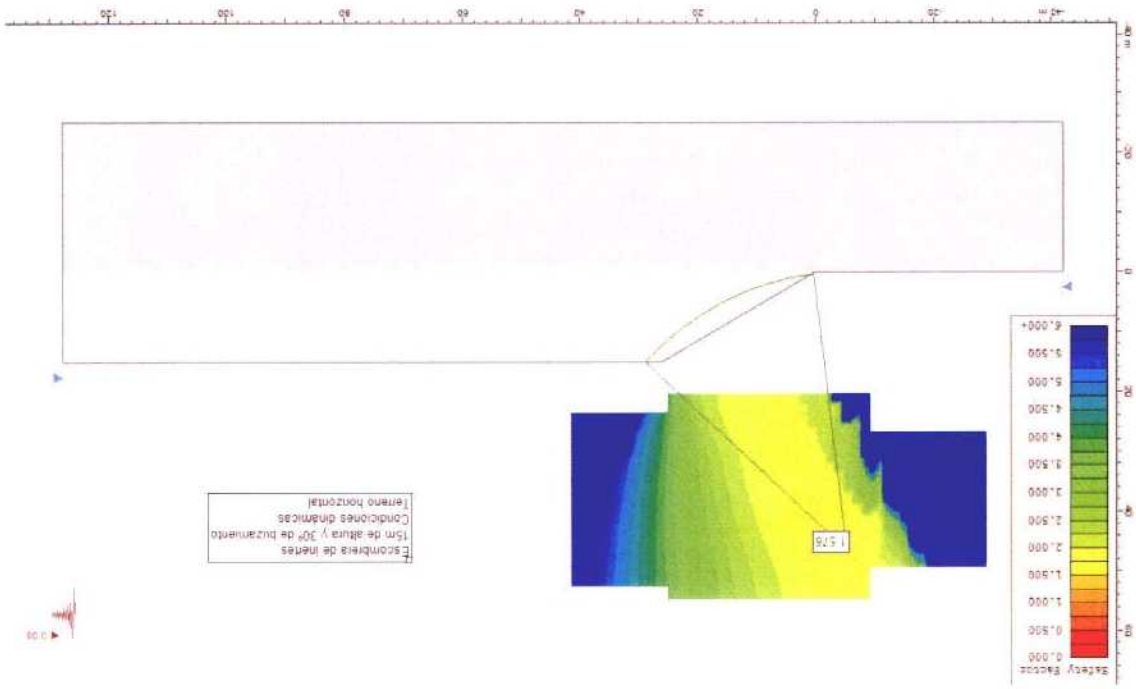
**APÉNDICE III. CÁLCULOS DE ESTABILIDAD DE  
ESCOMBRERAS**

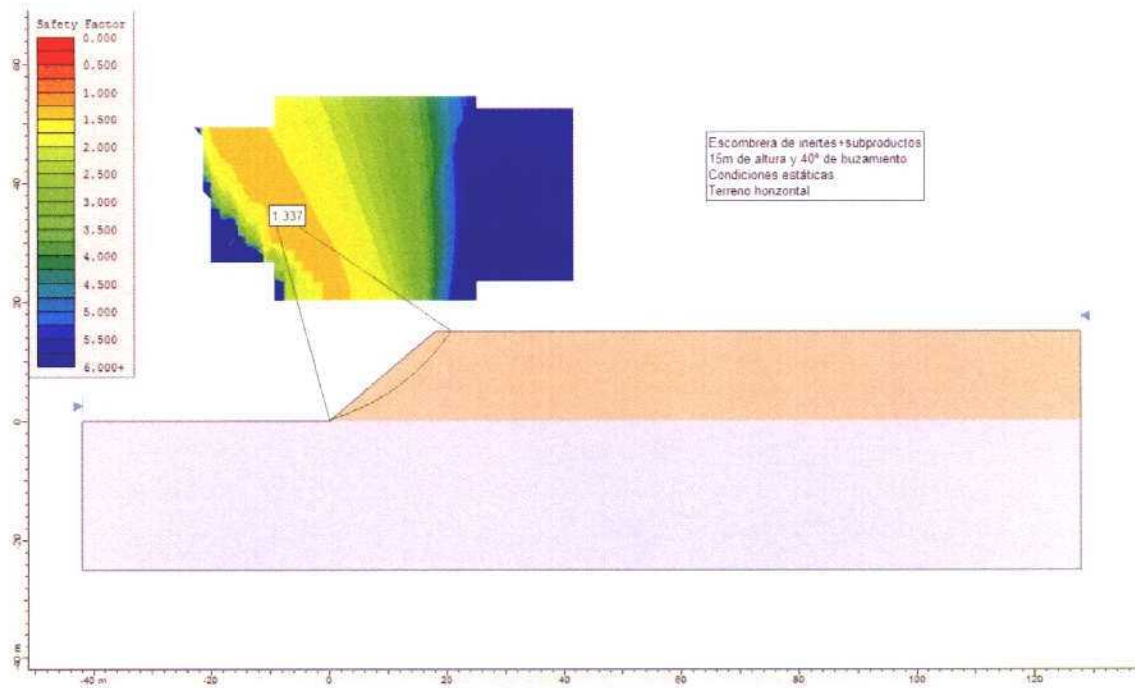
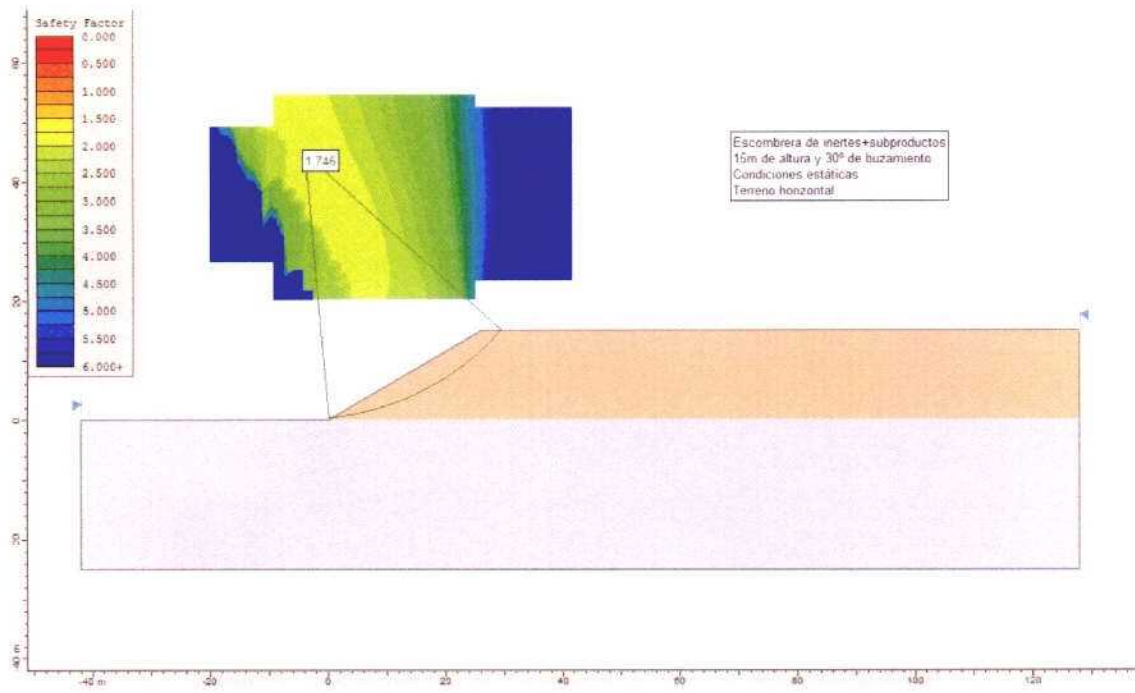
**APÉNDICE III.1. ESCOMBRERAS SOBRE TERRENO  
HORIZONTAL**

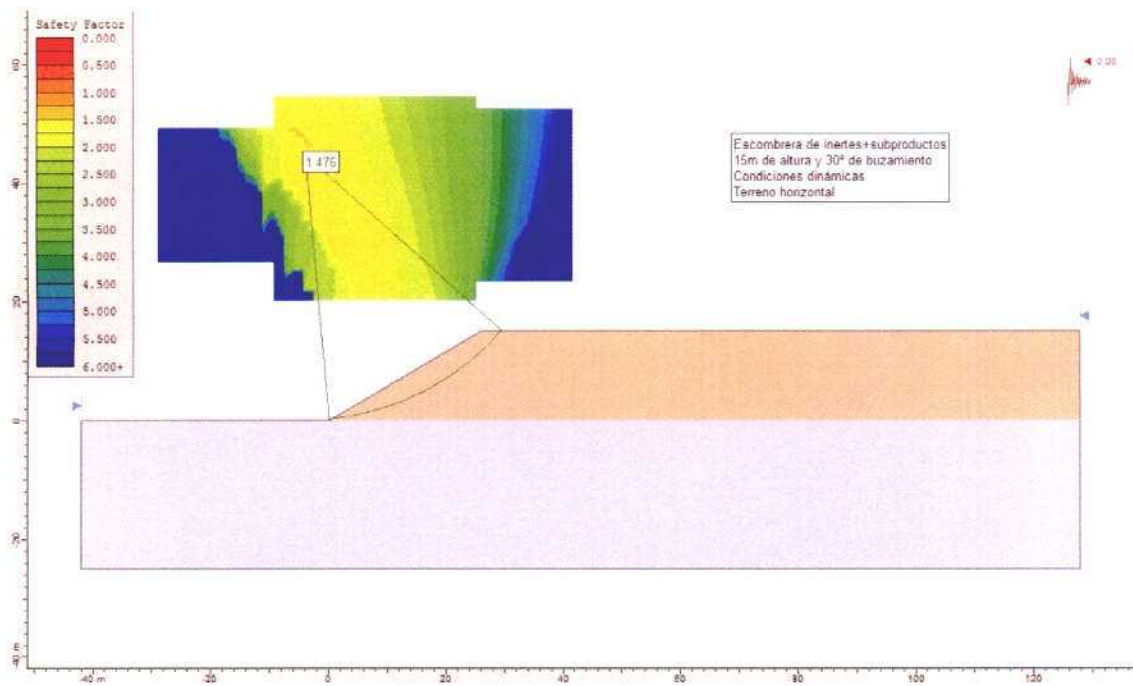
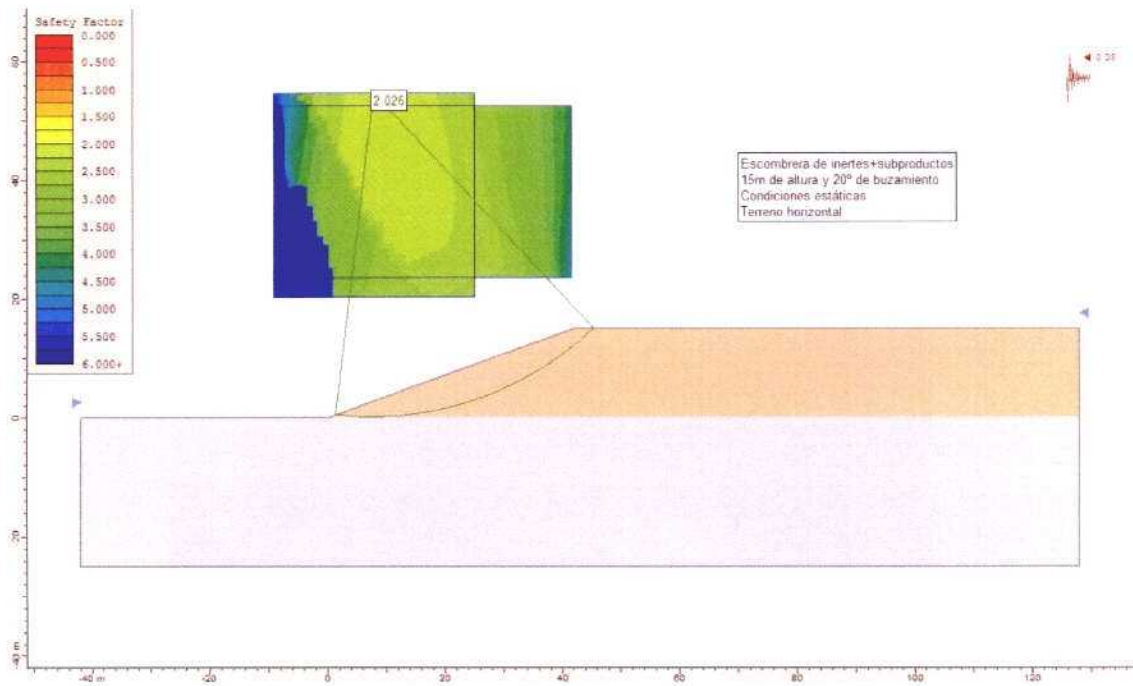


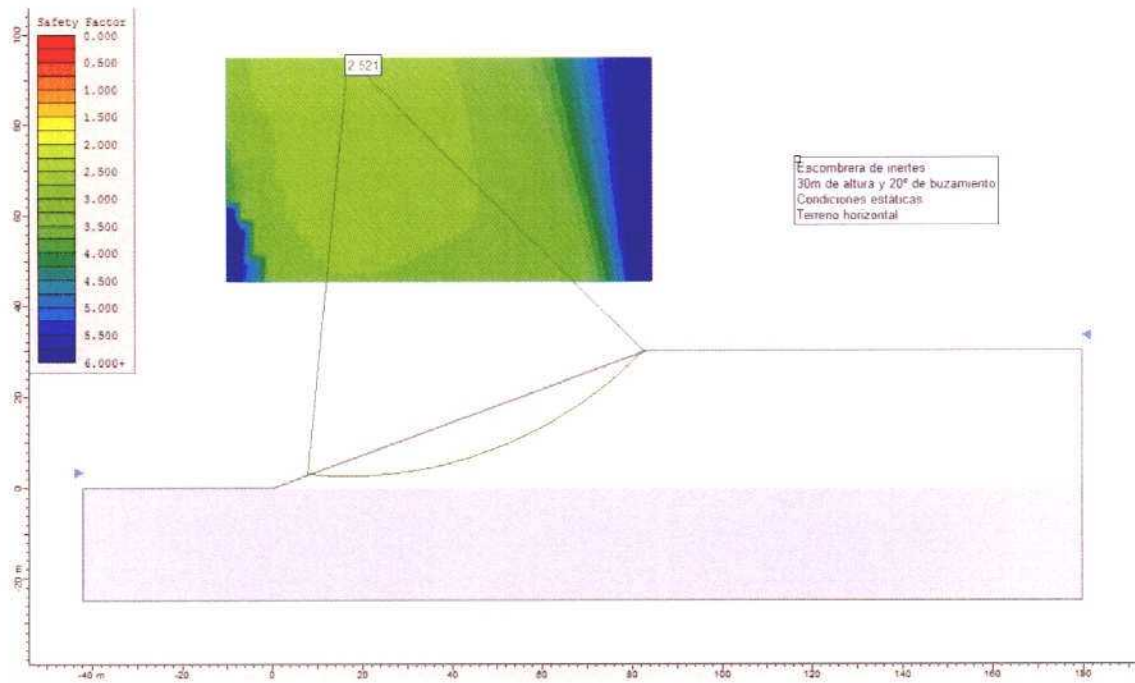
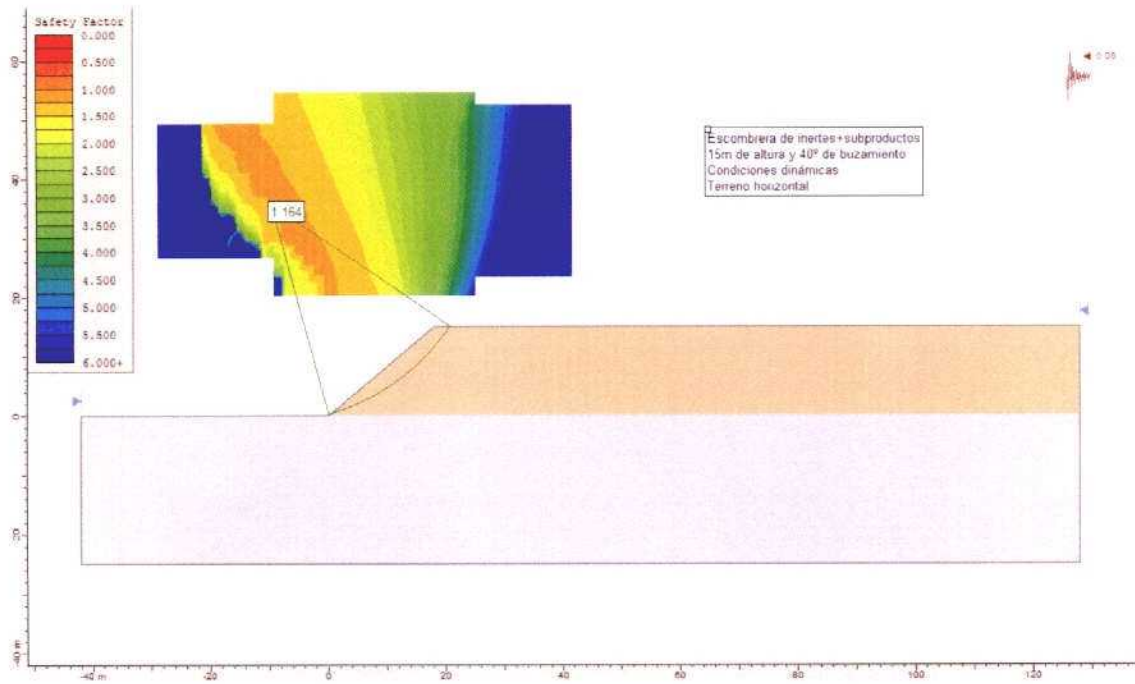


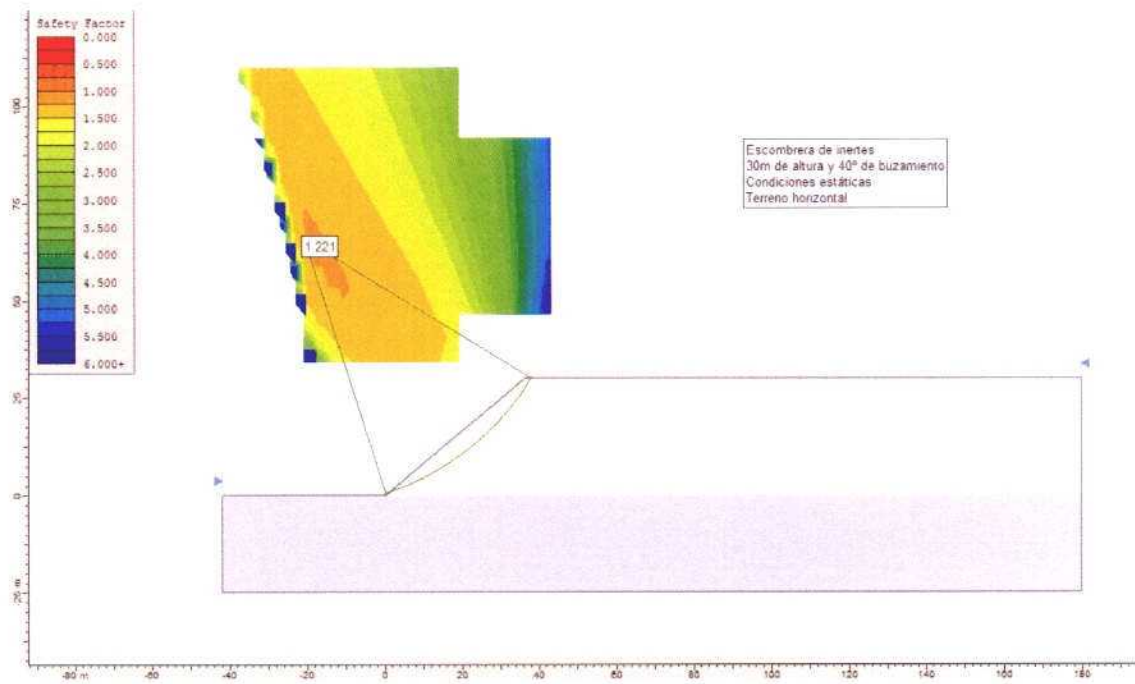
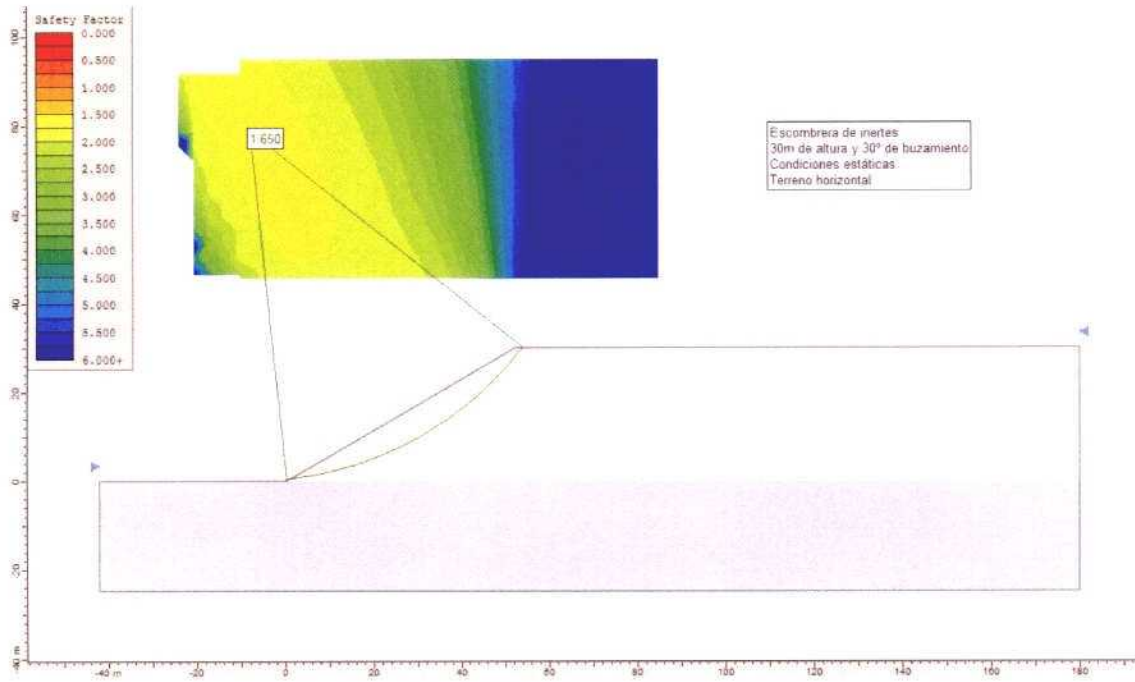


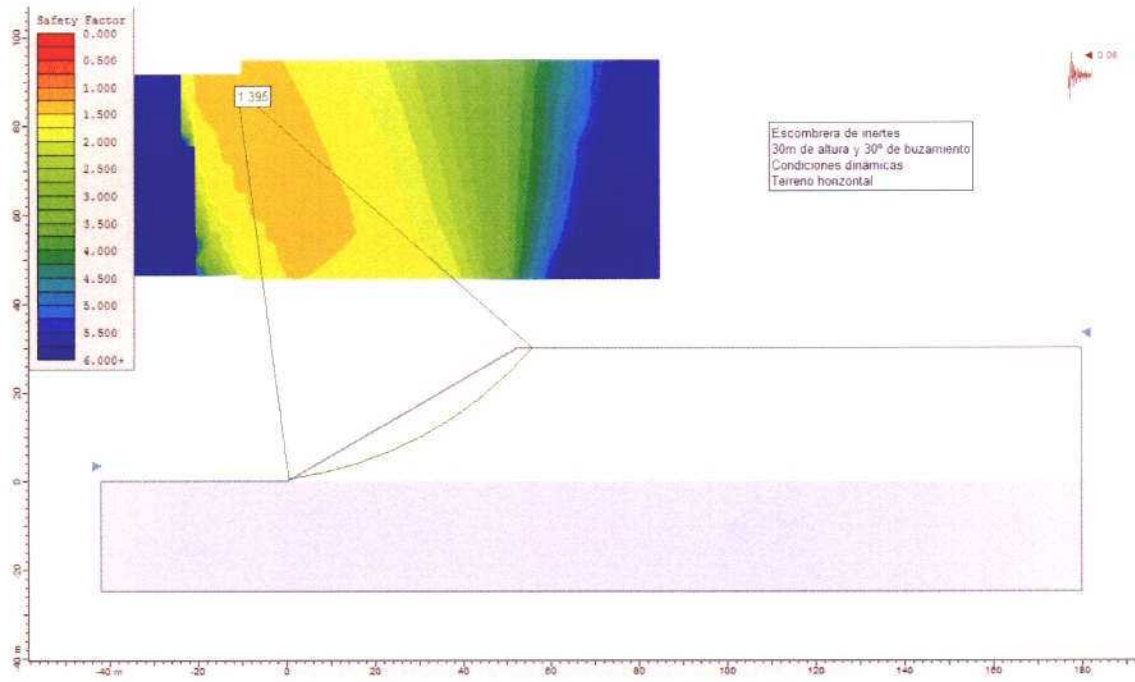
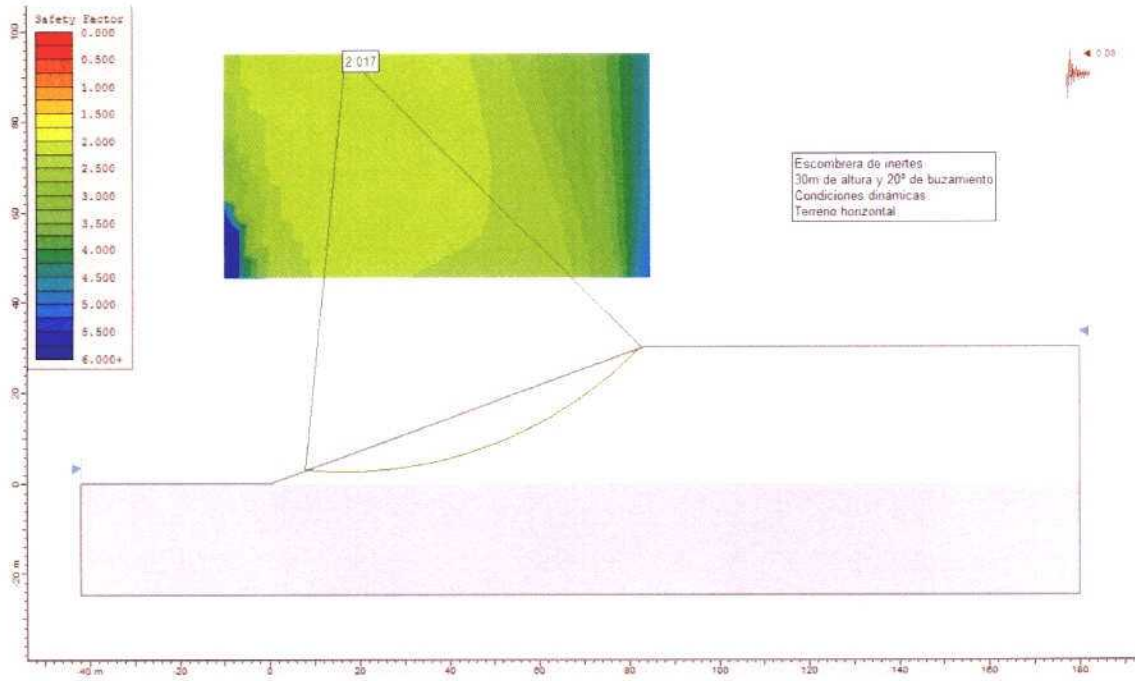


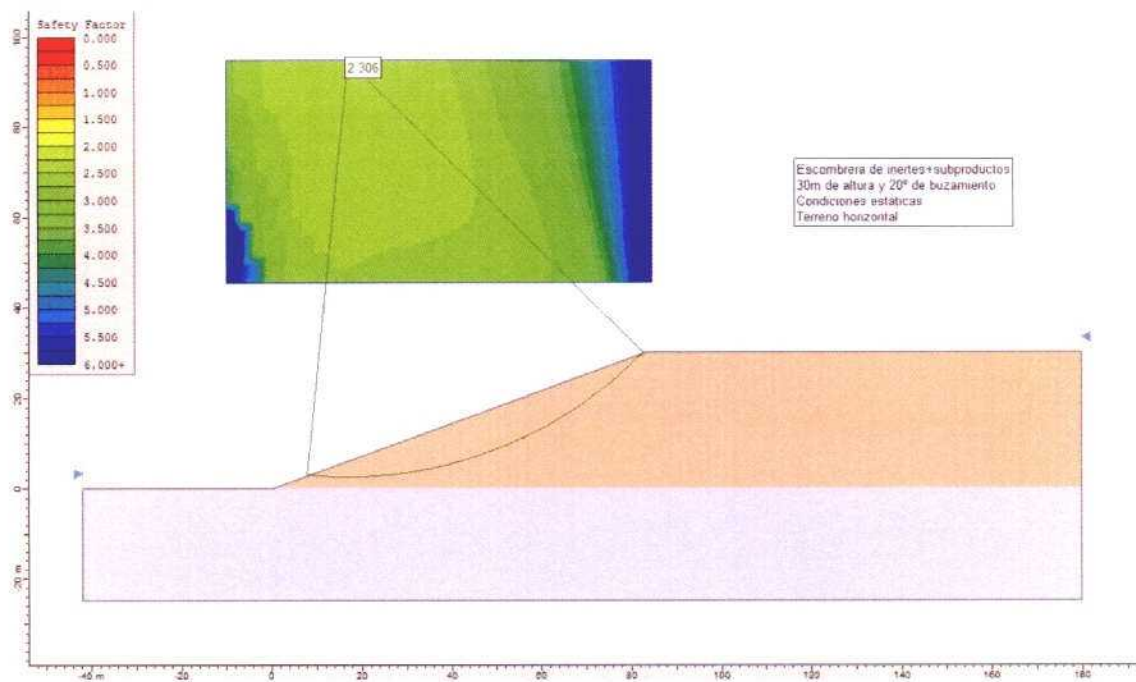
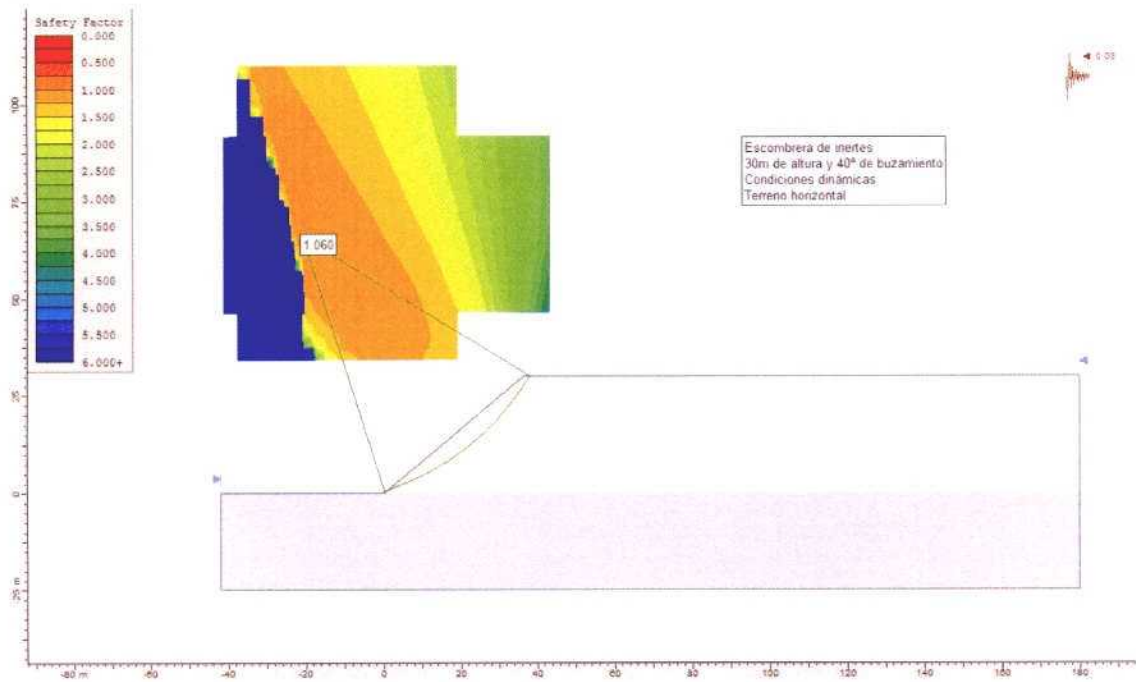




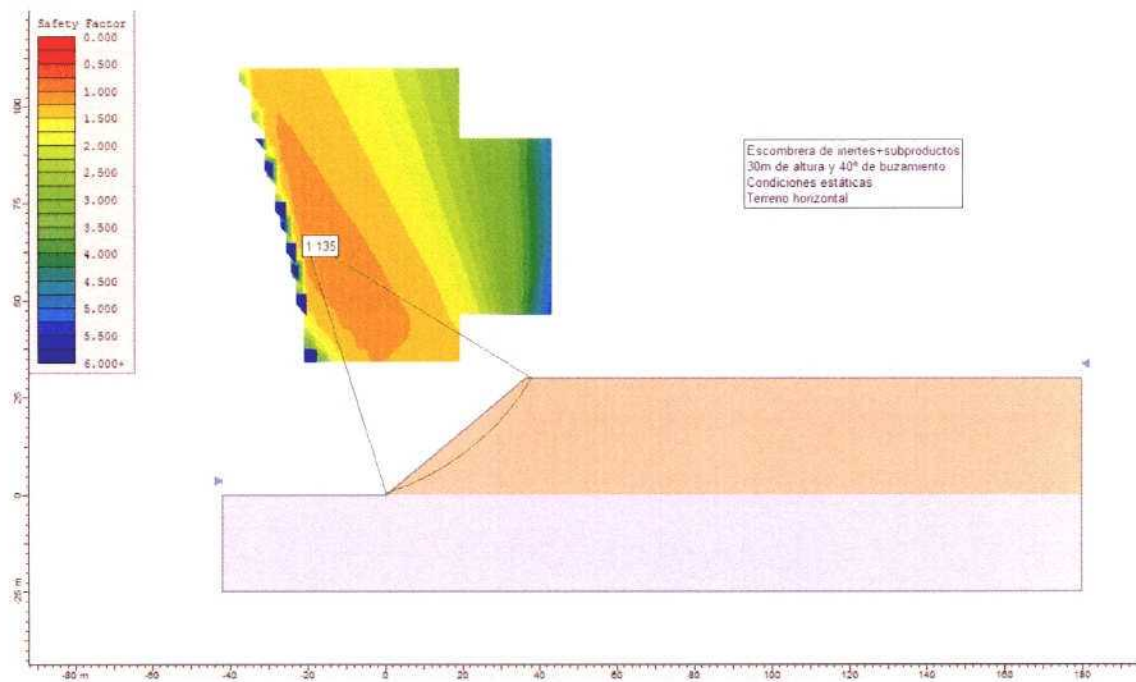
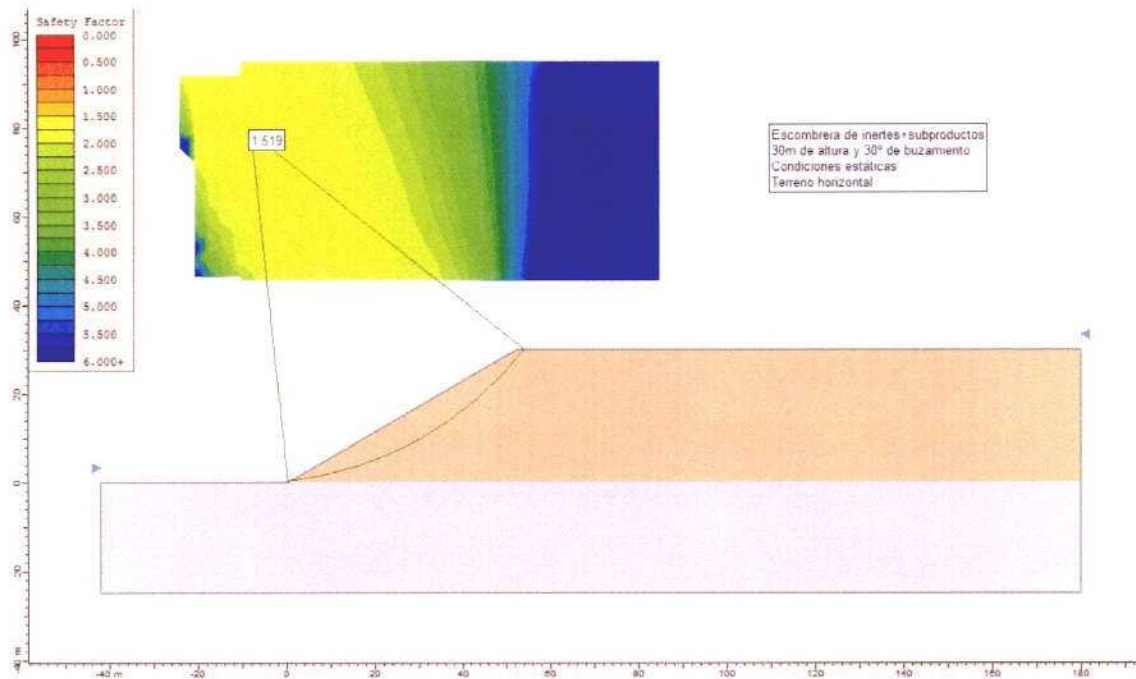


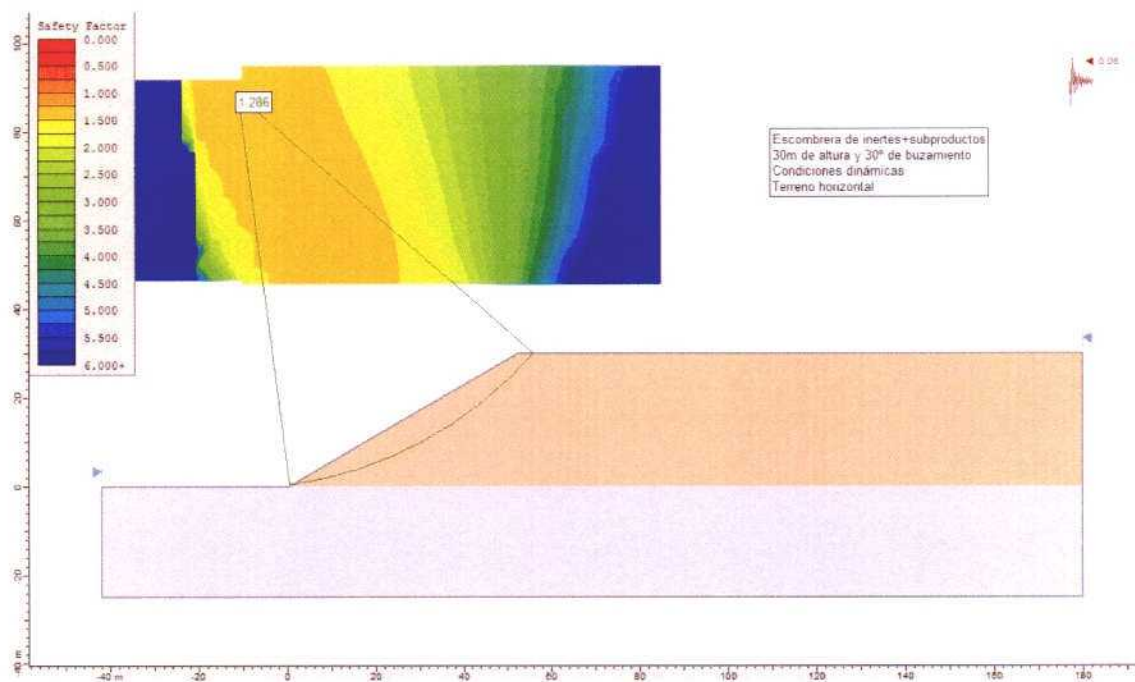
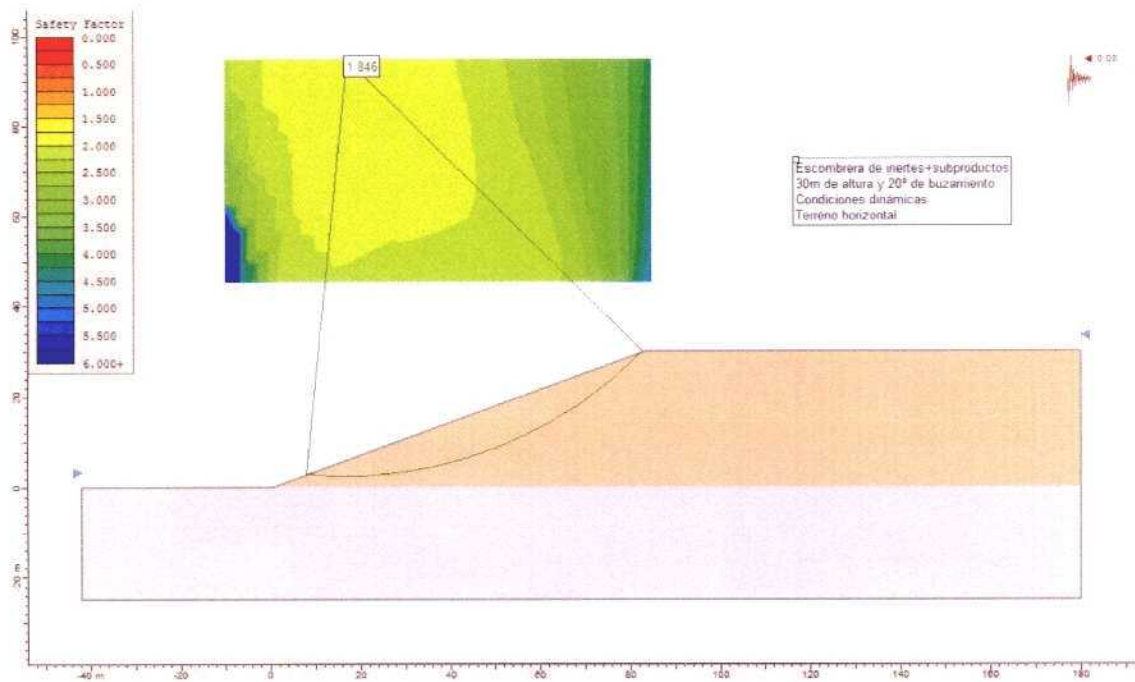


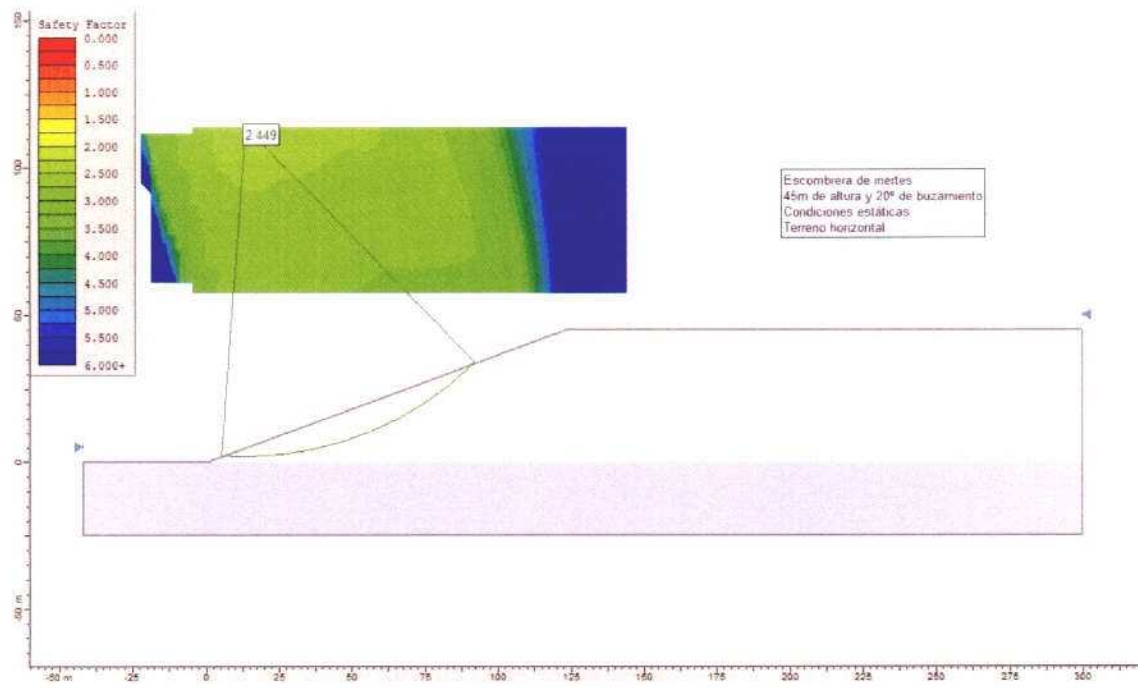
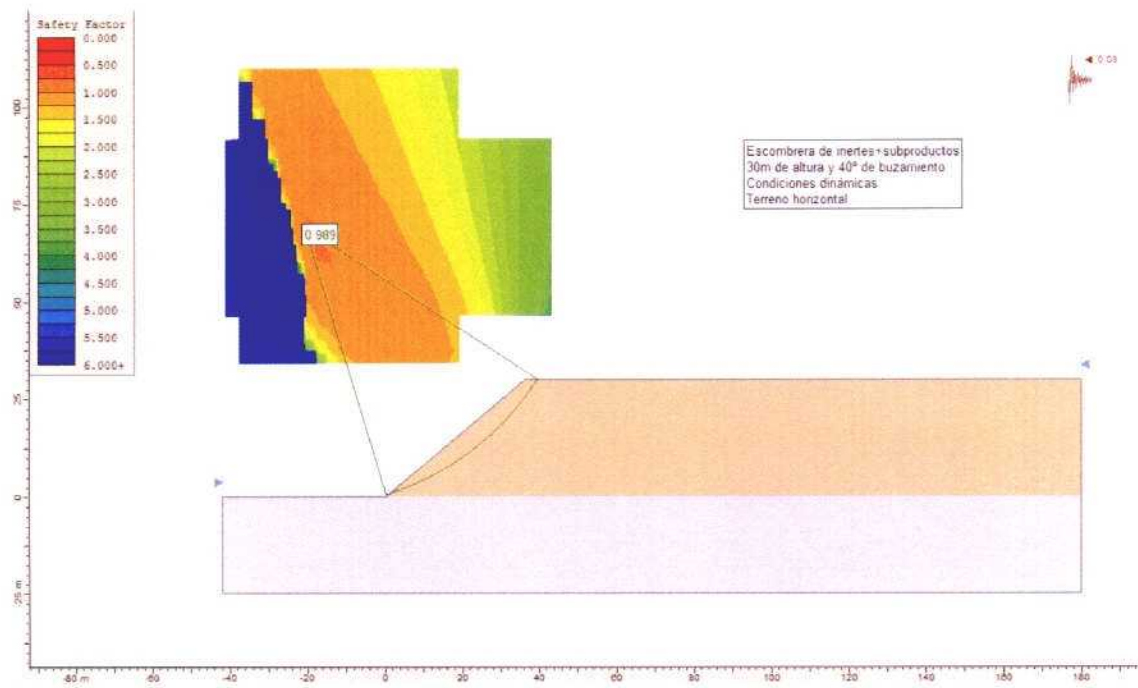


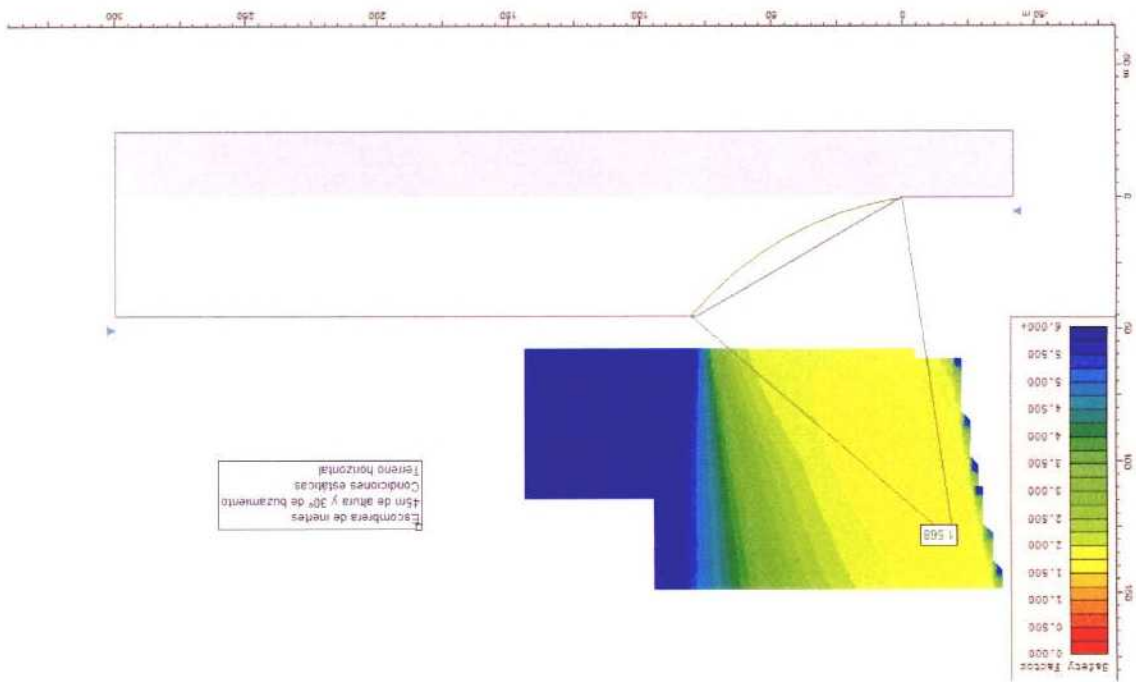
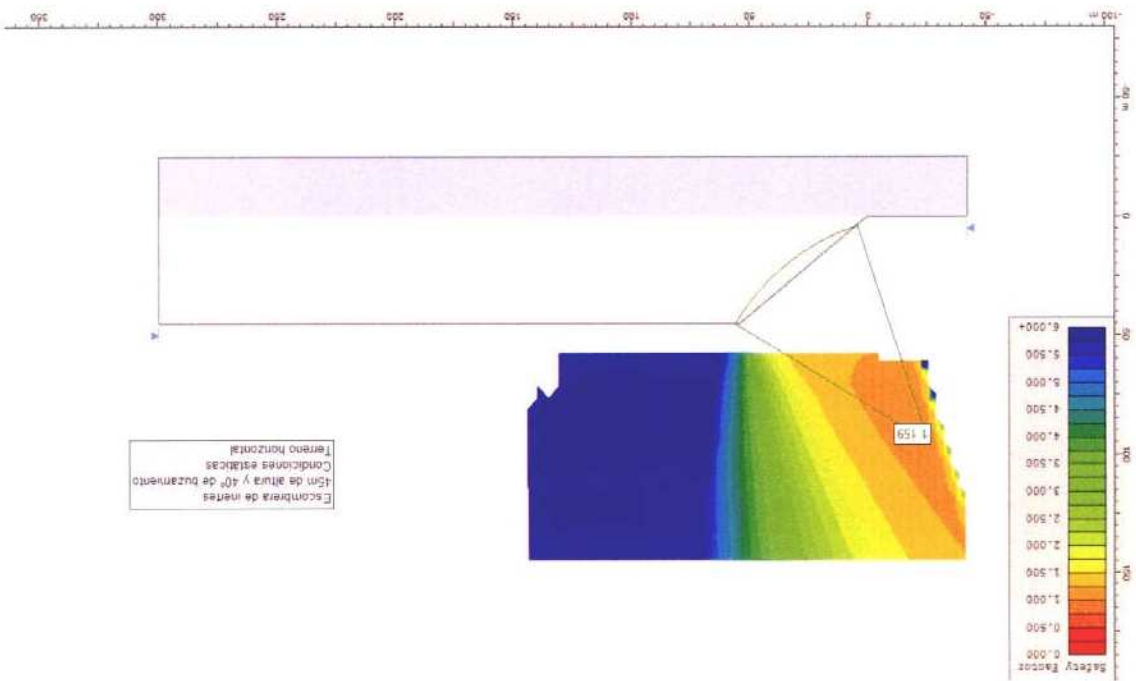


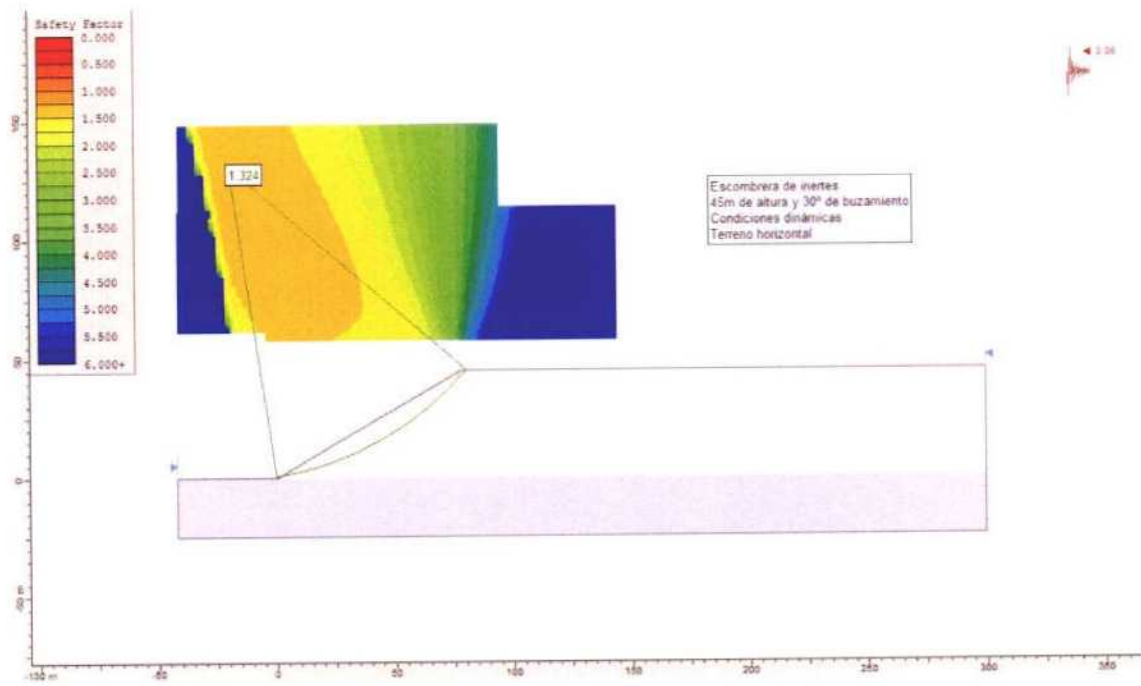
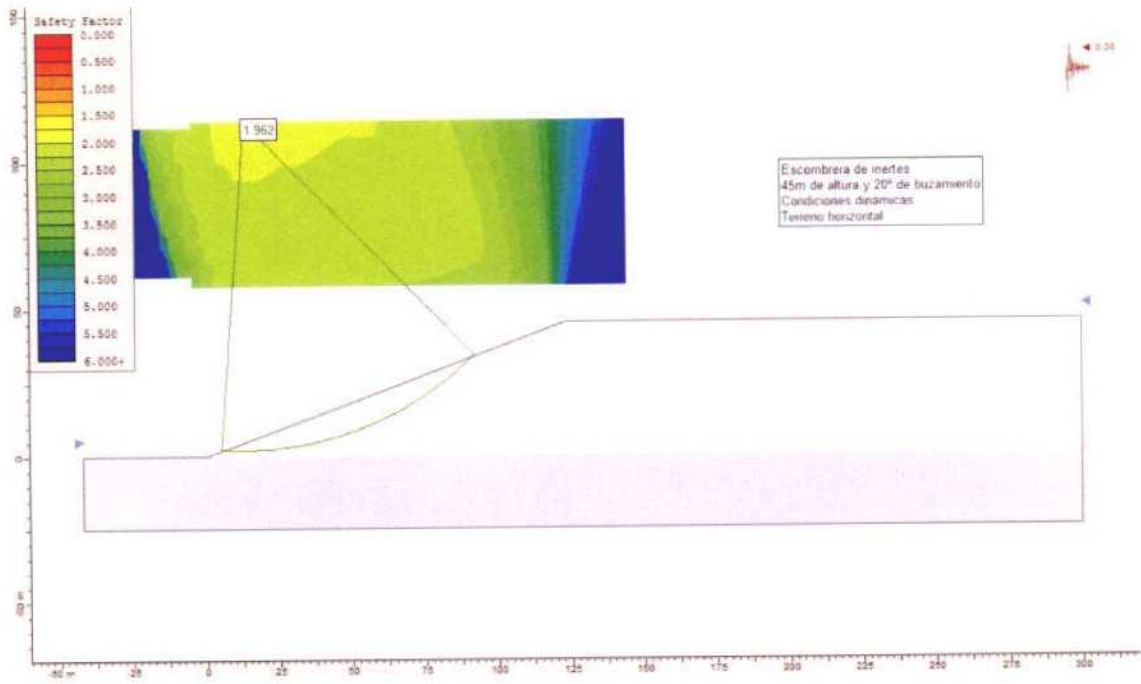


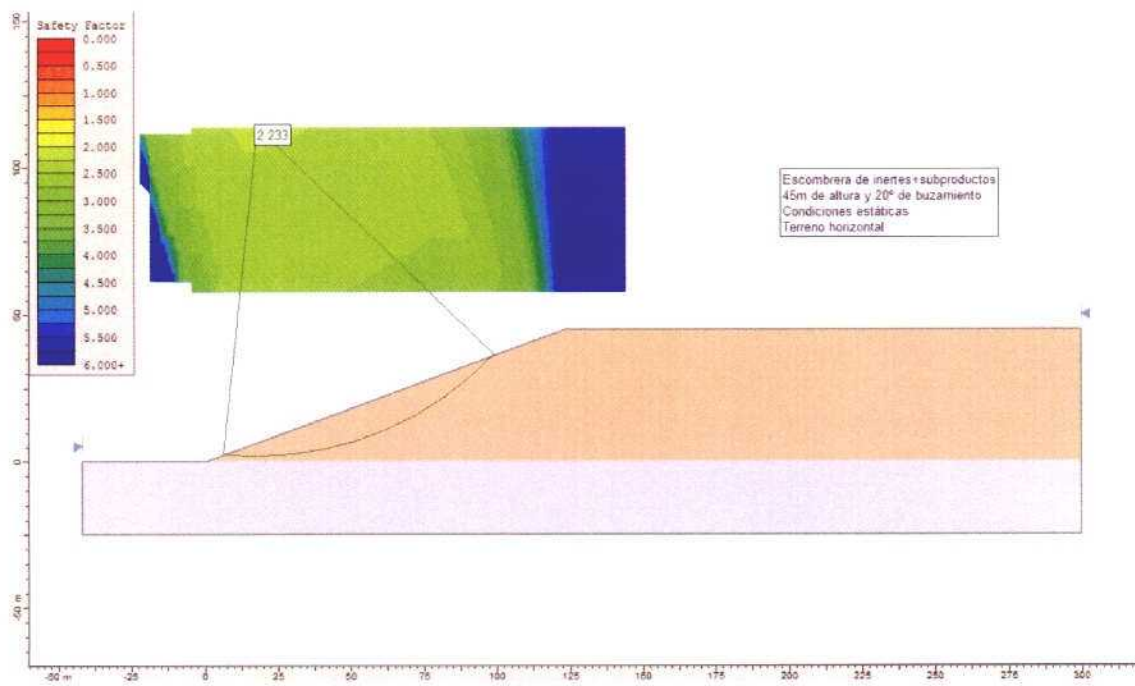
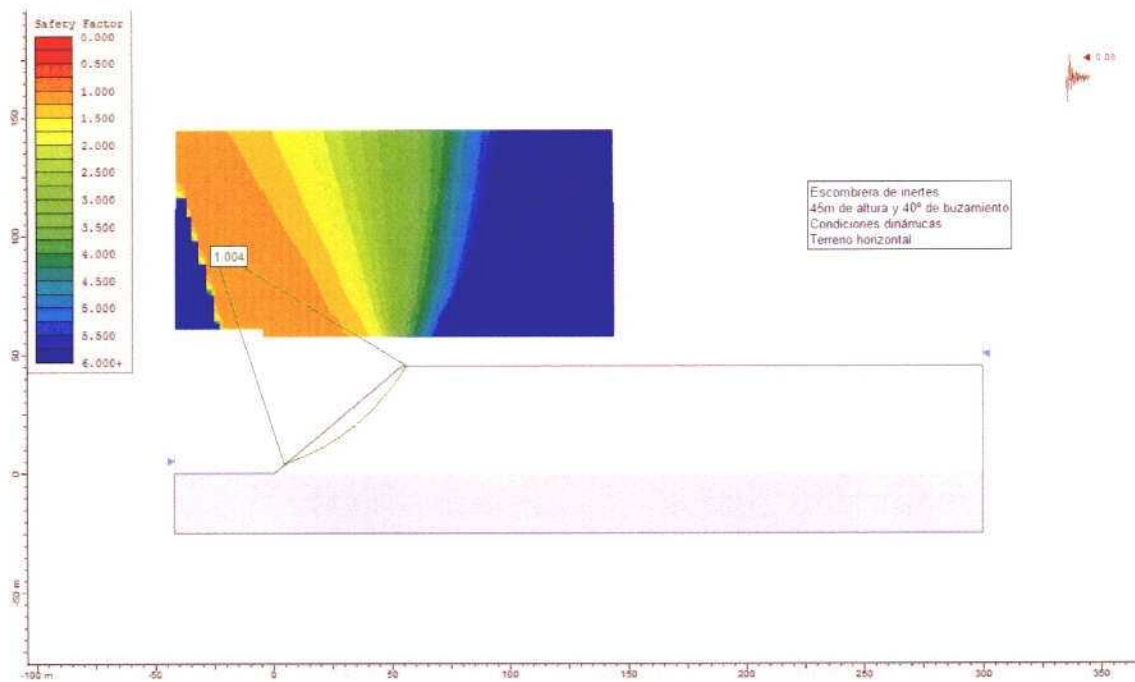


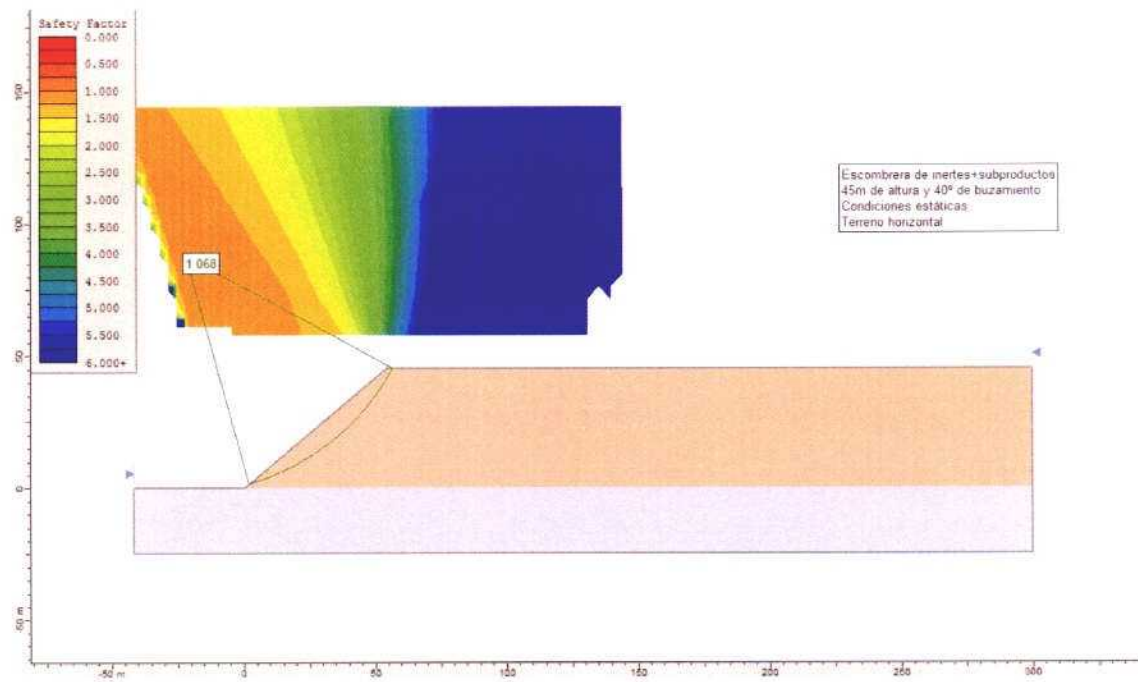
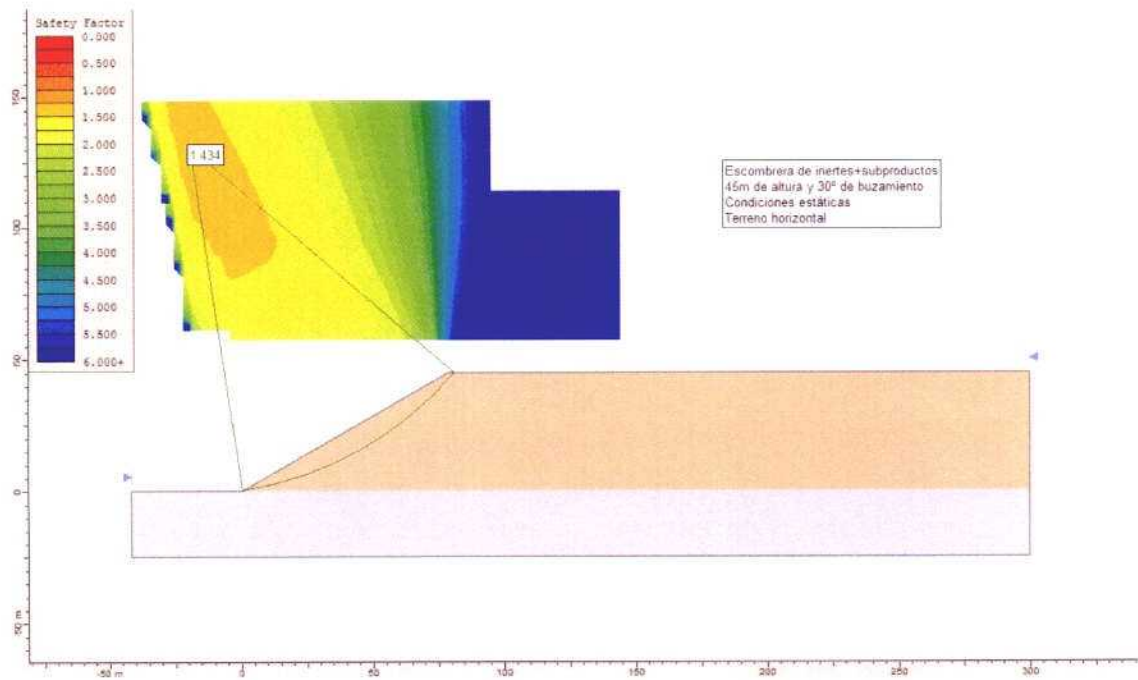


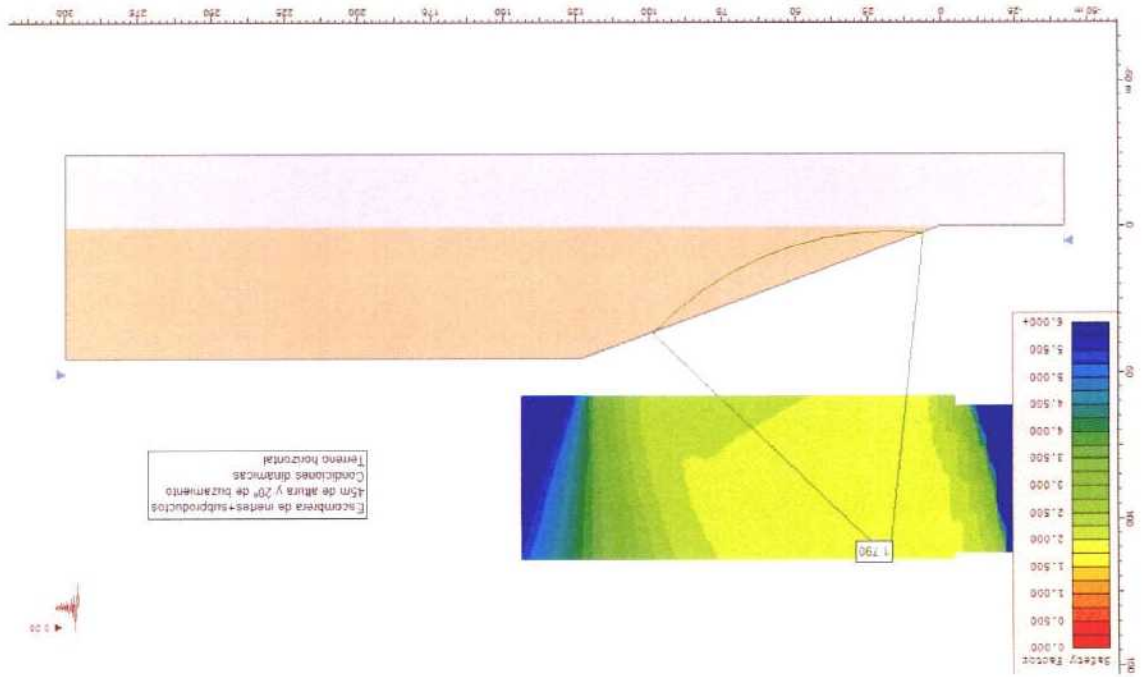
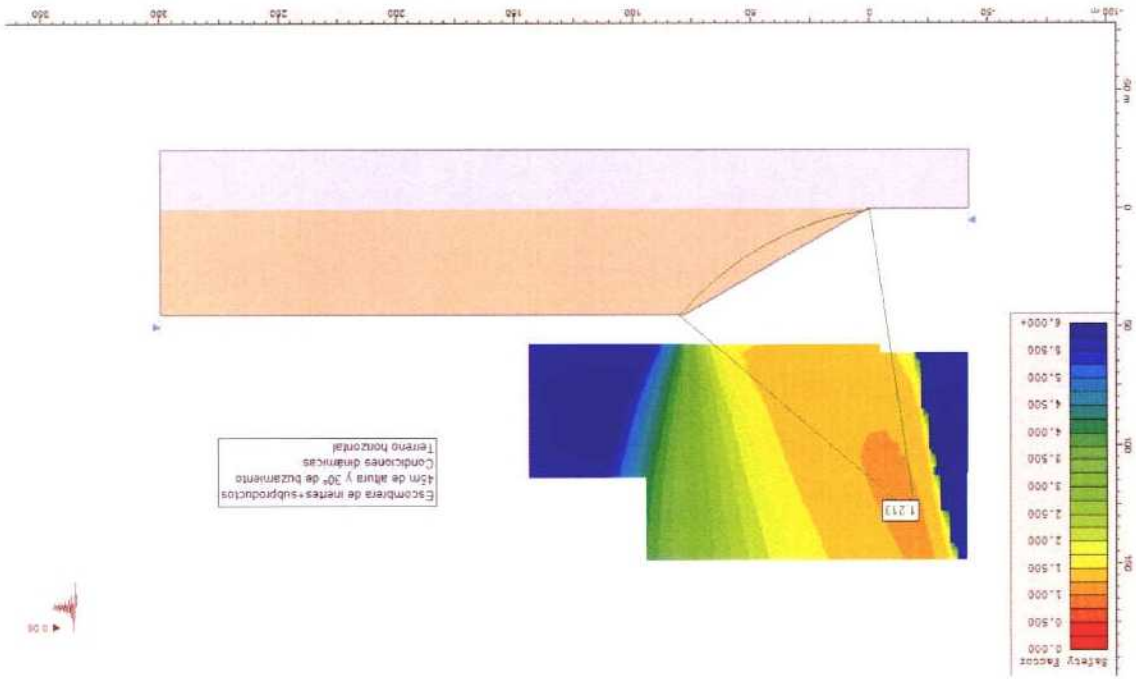






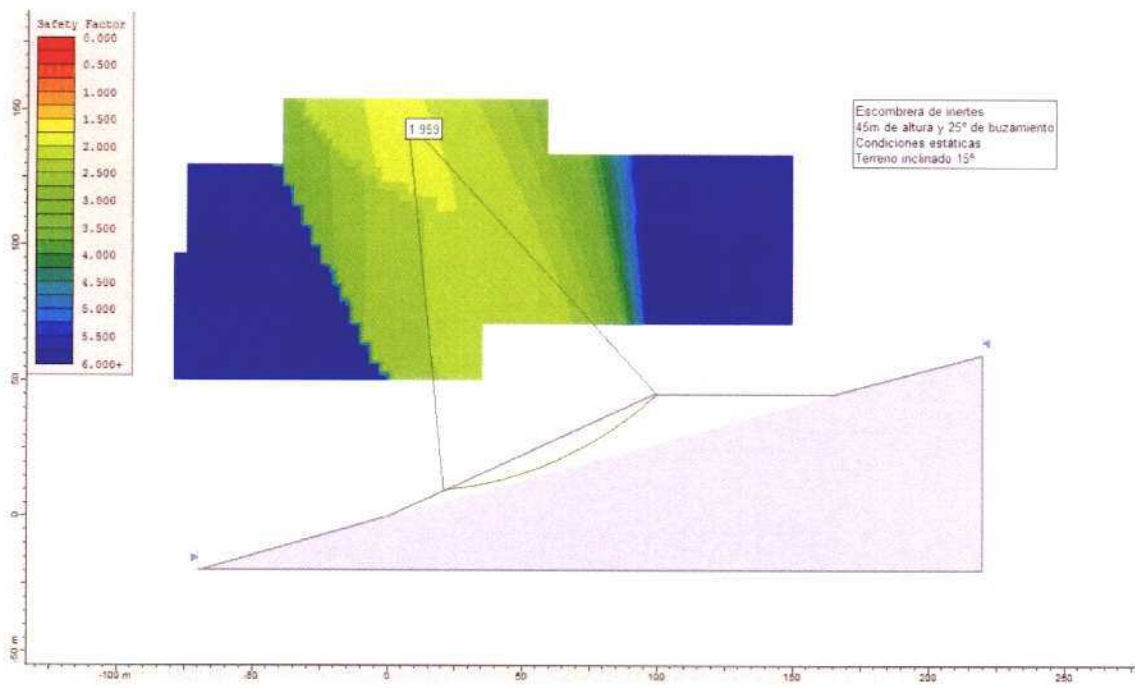
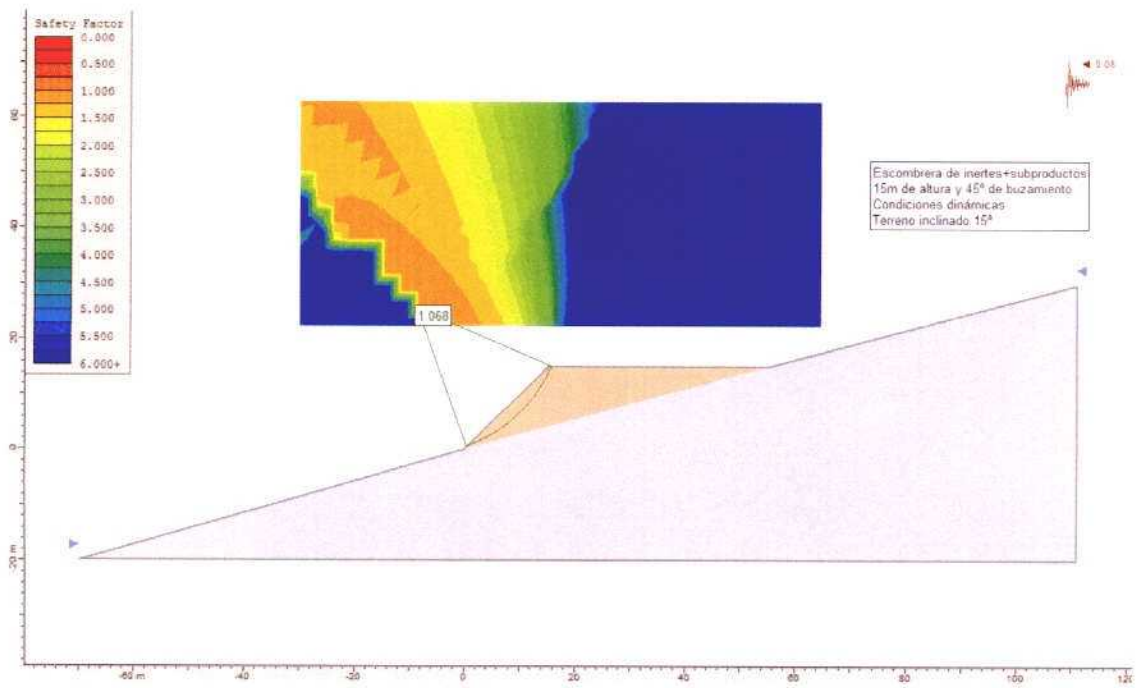


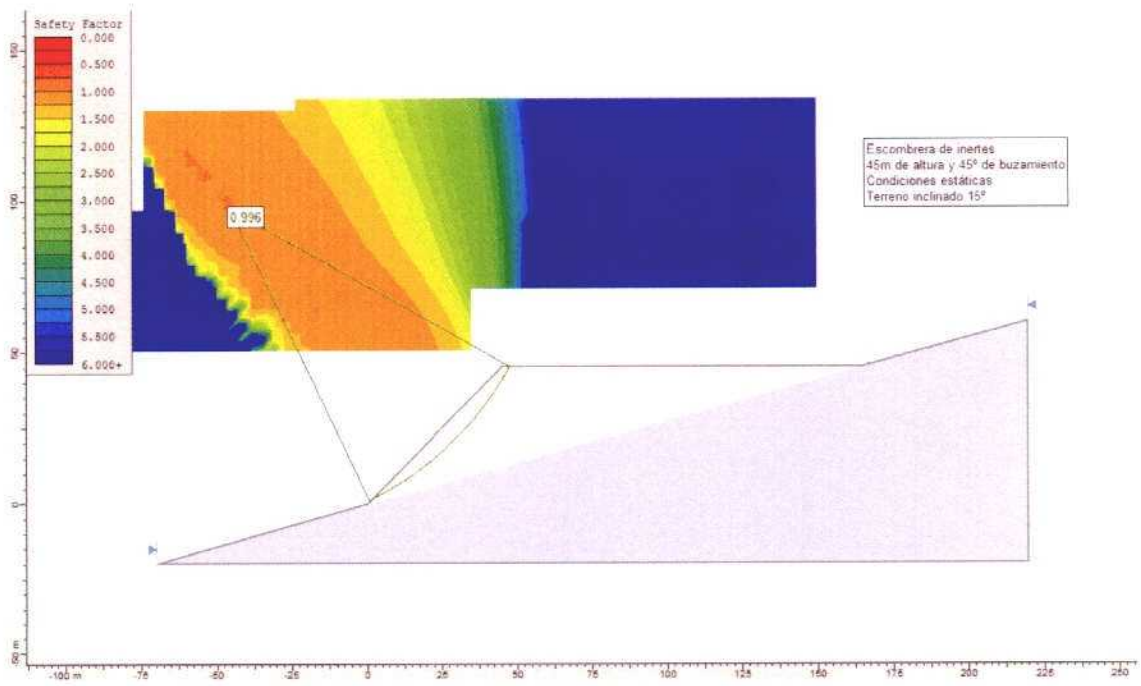
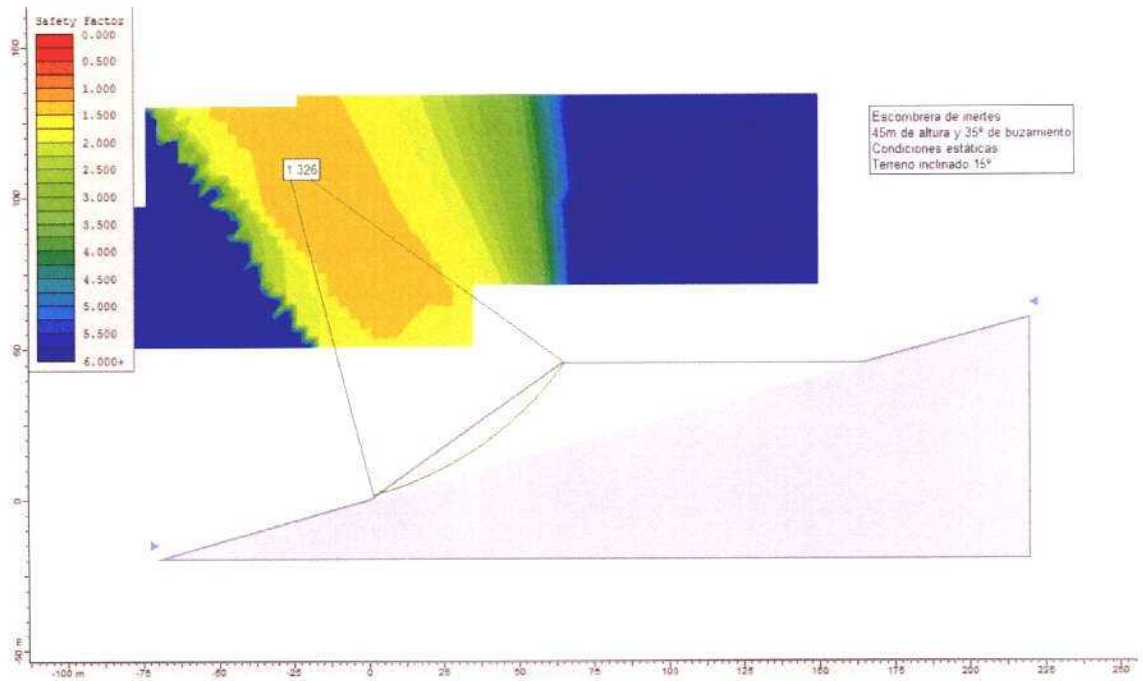


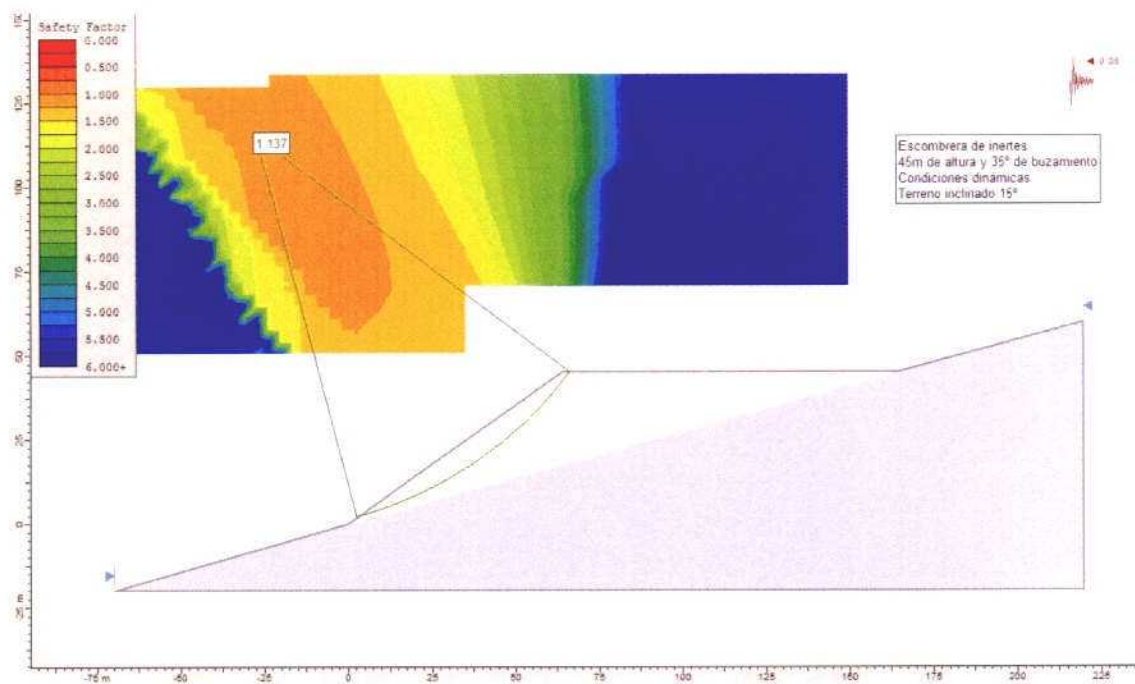
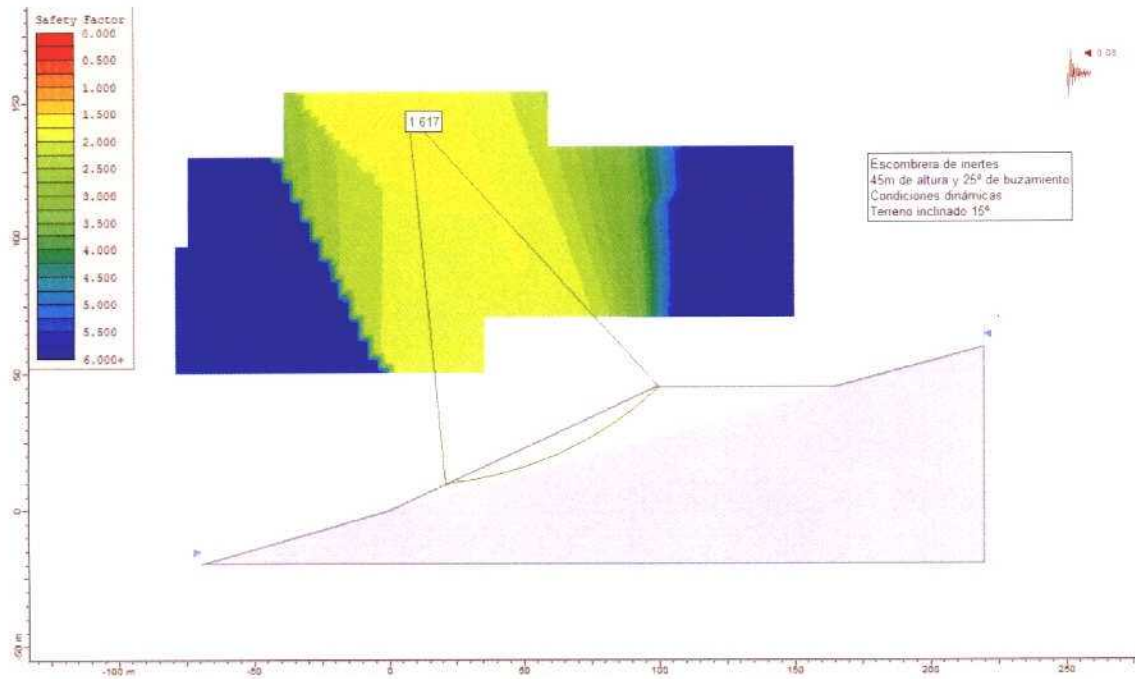


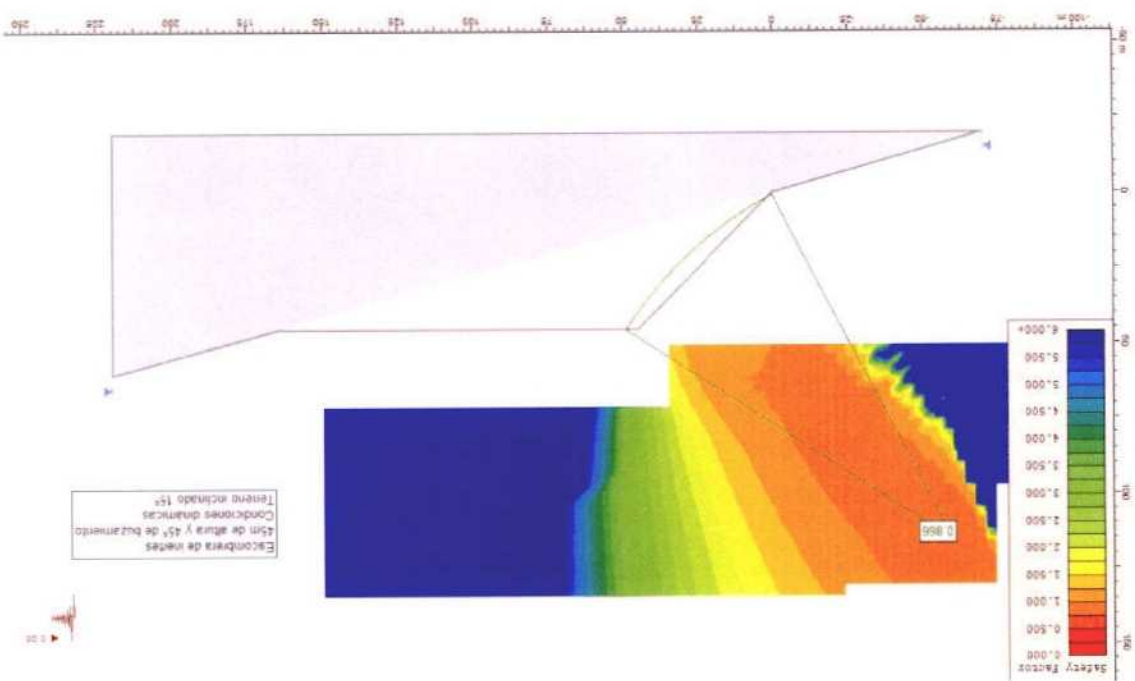
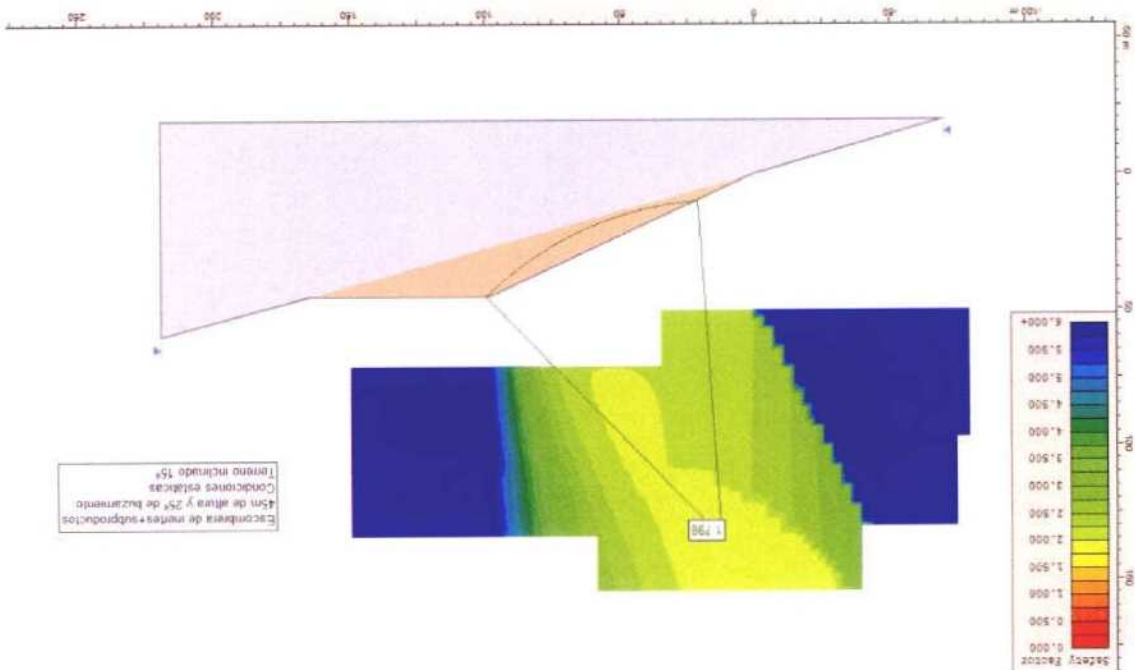


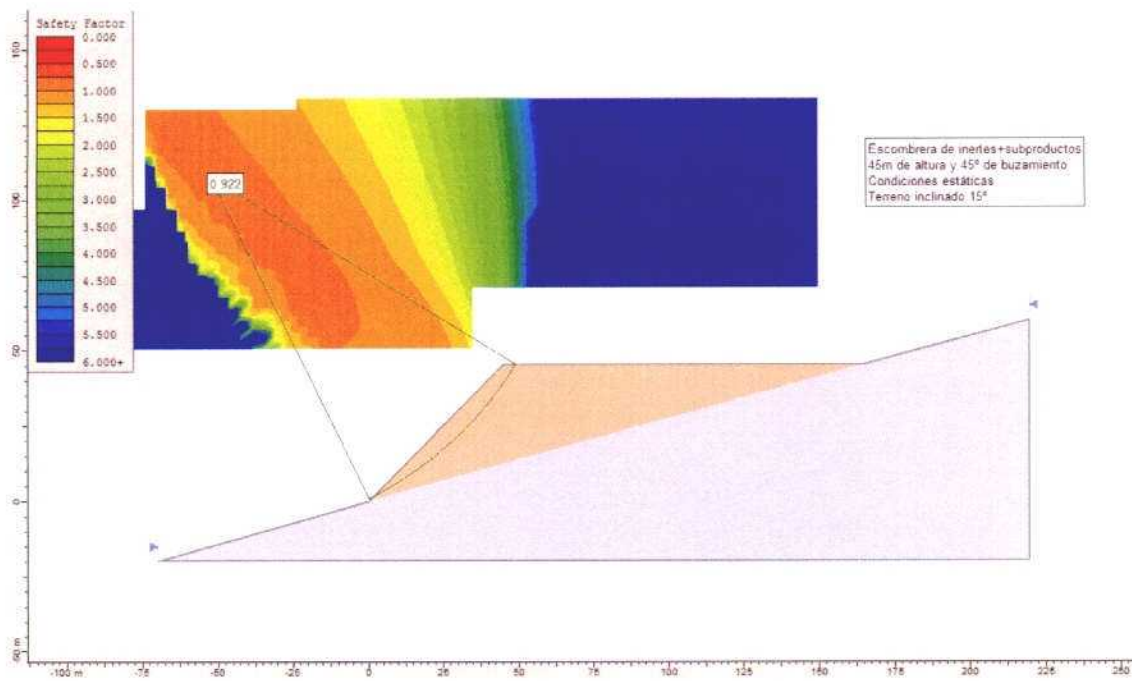
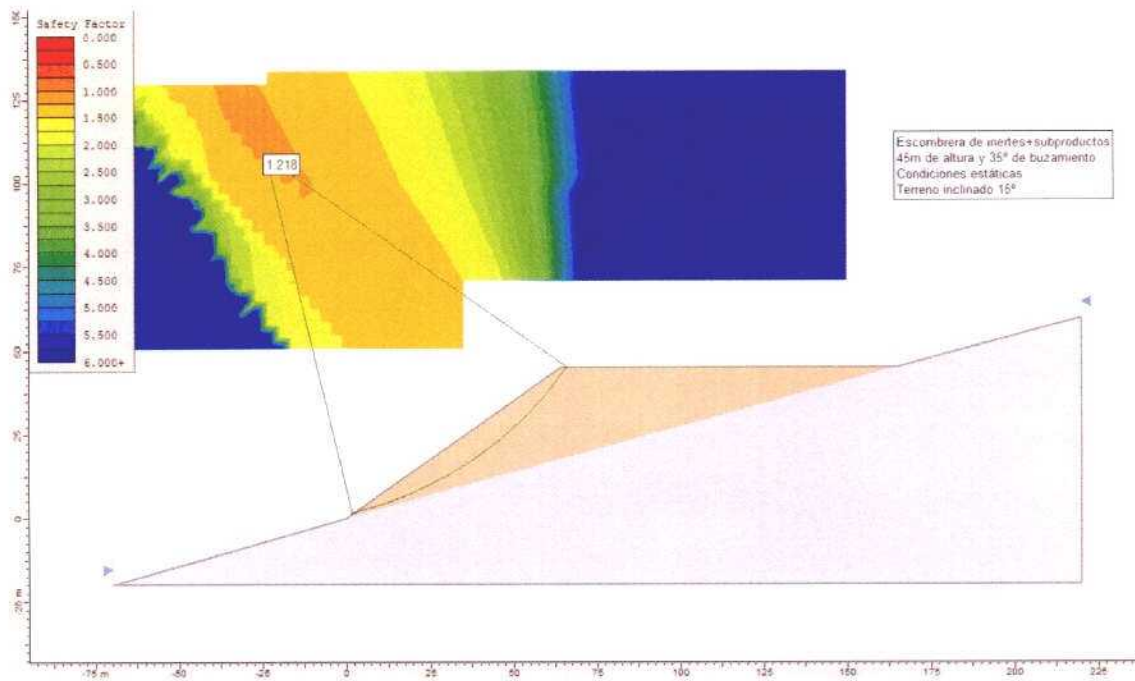
**APÉNDICE III.2. ESCOMBRERAS SOBRE TERRENOS  
INCLINADOS 15°**

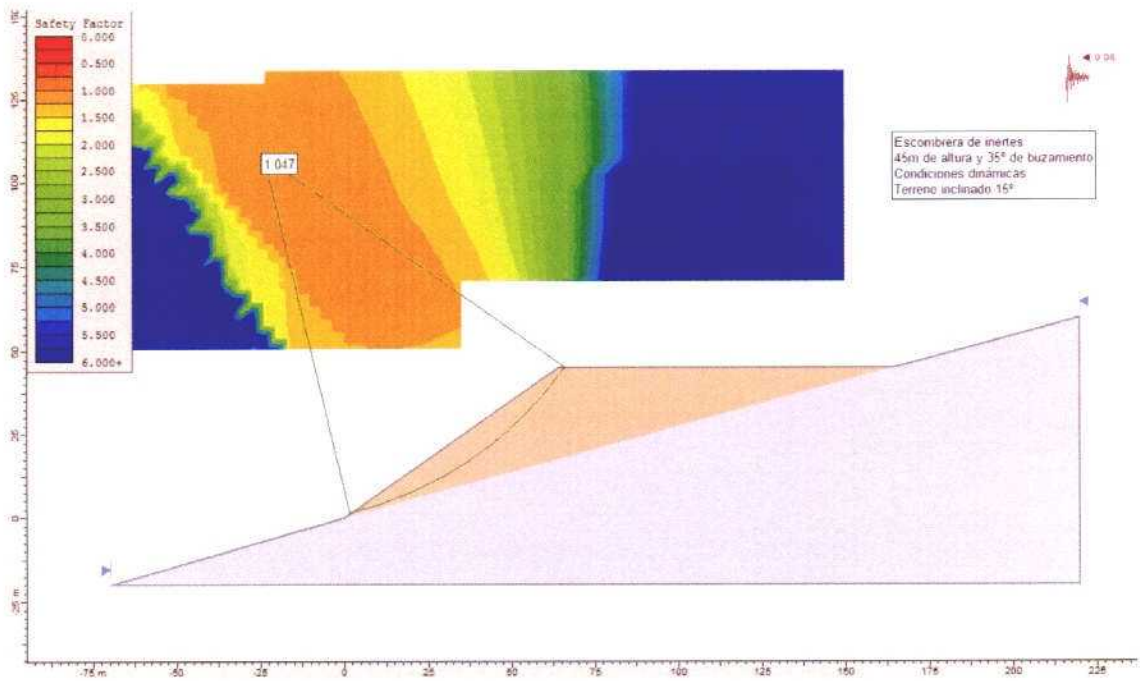
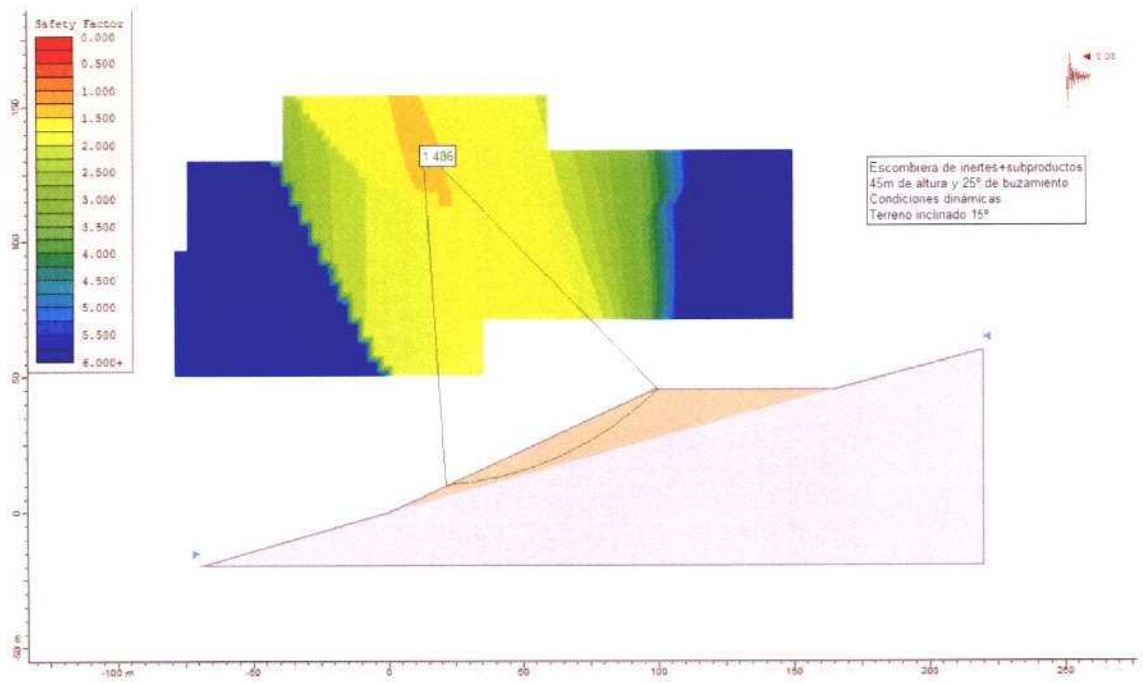


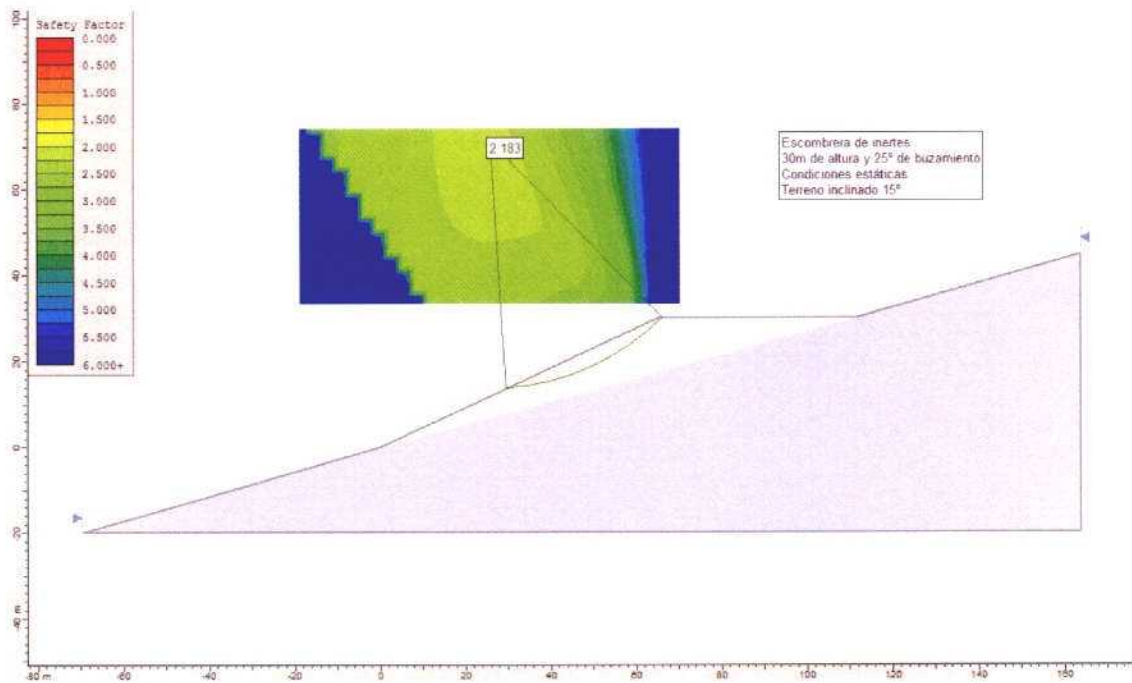
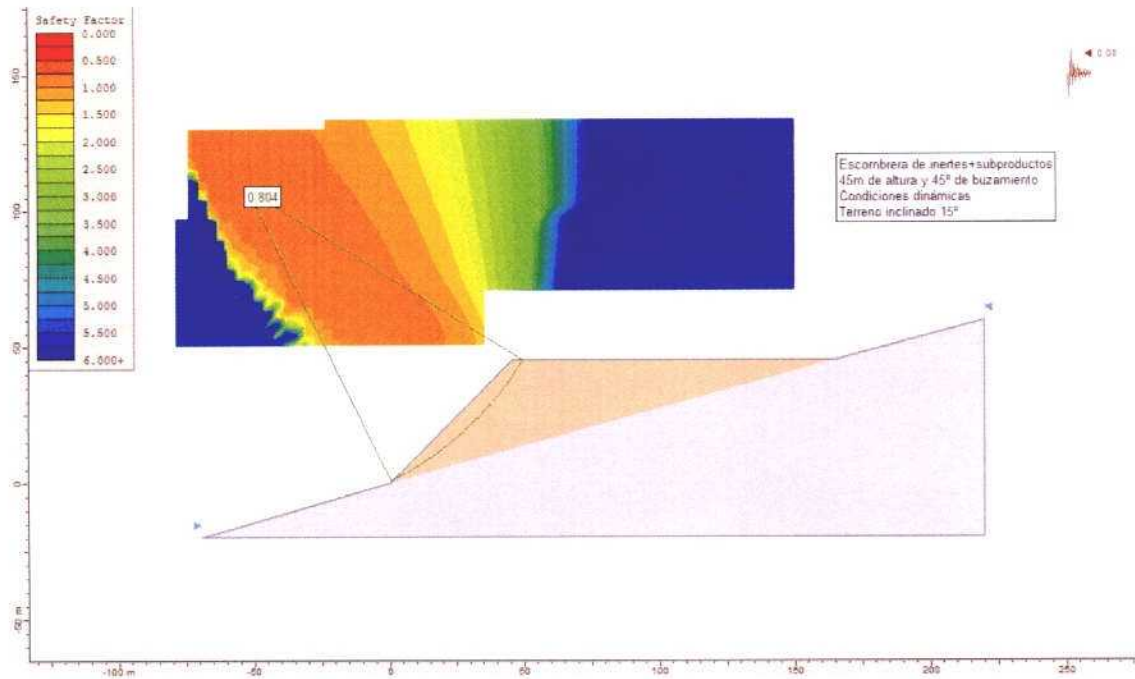




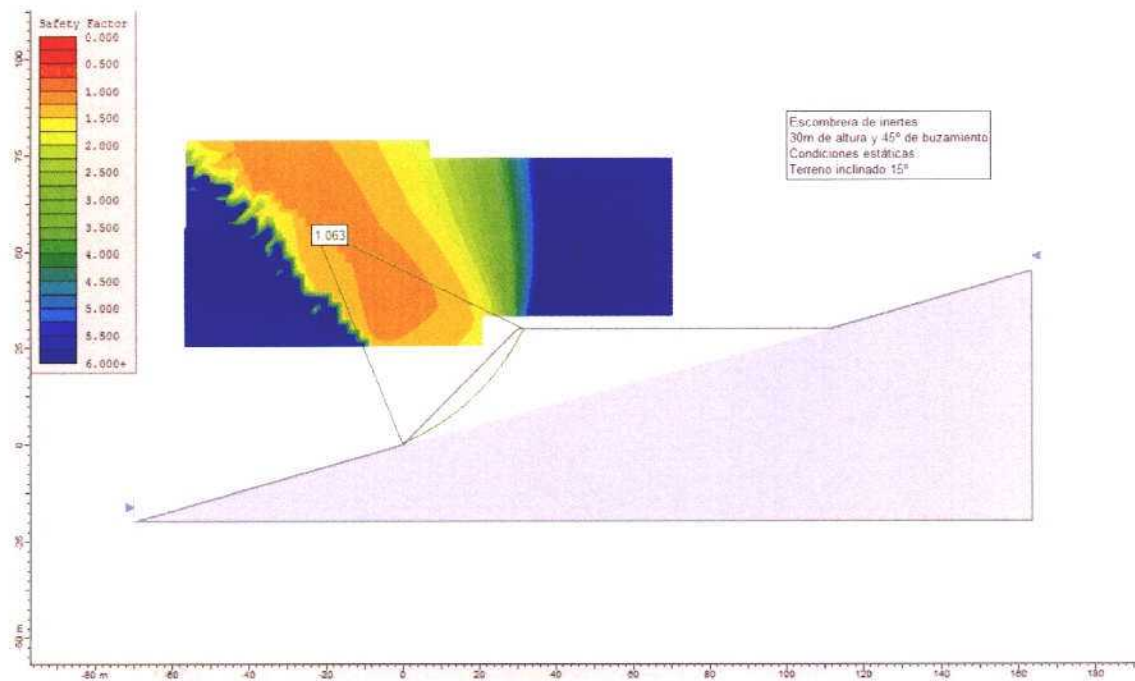
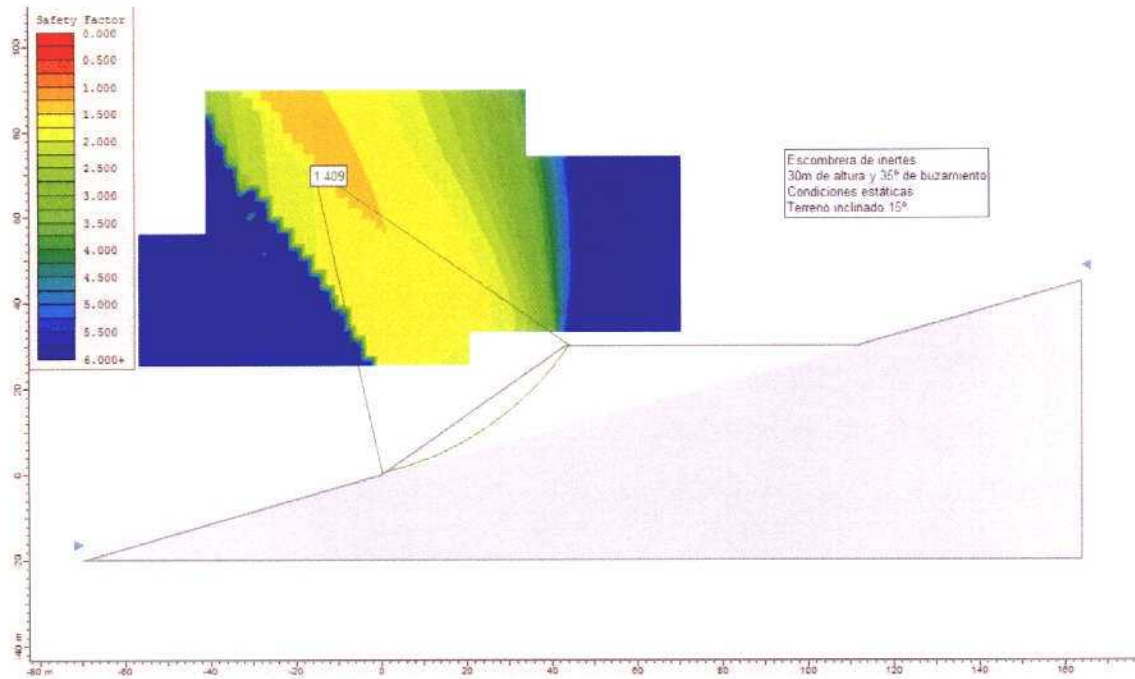


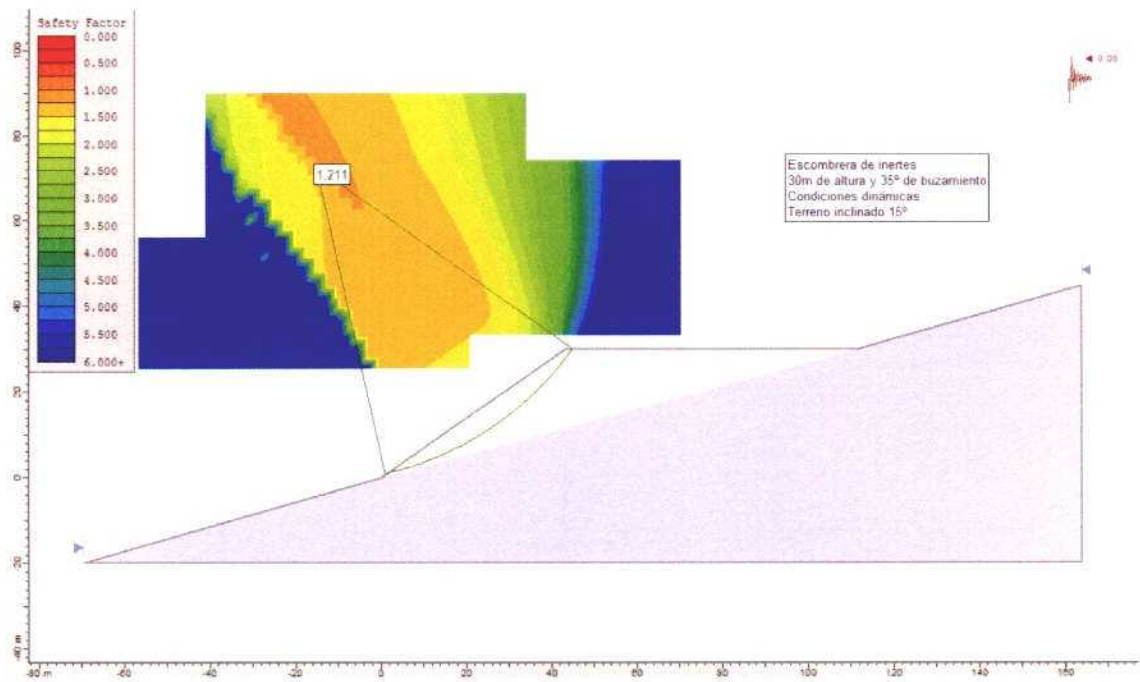
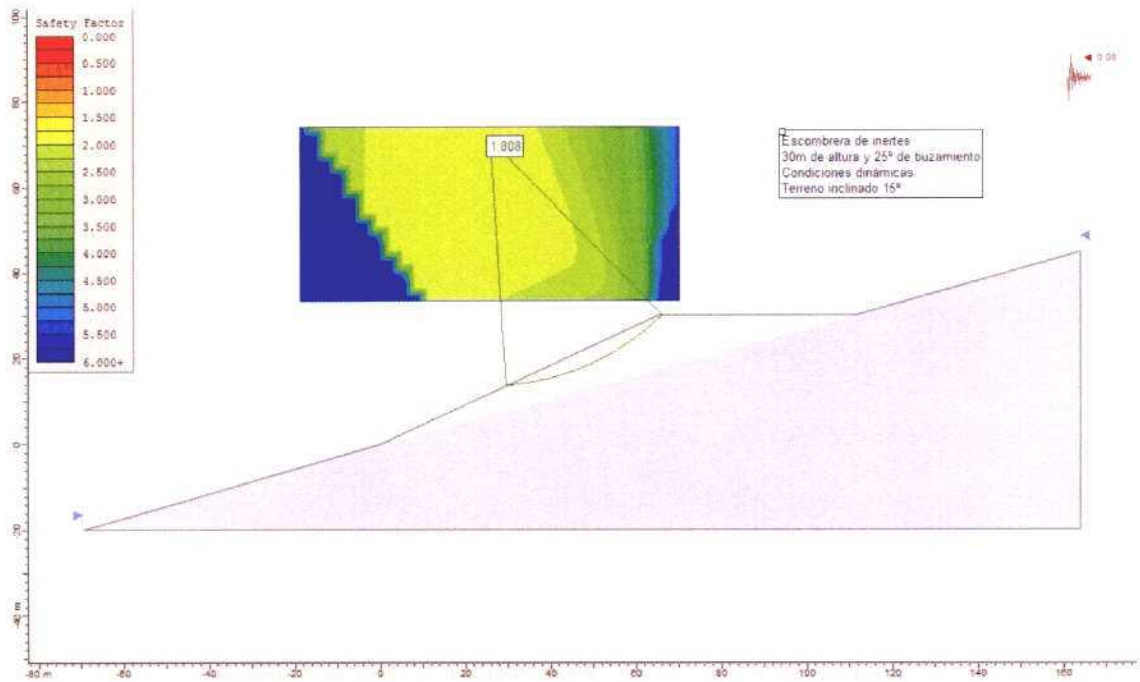


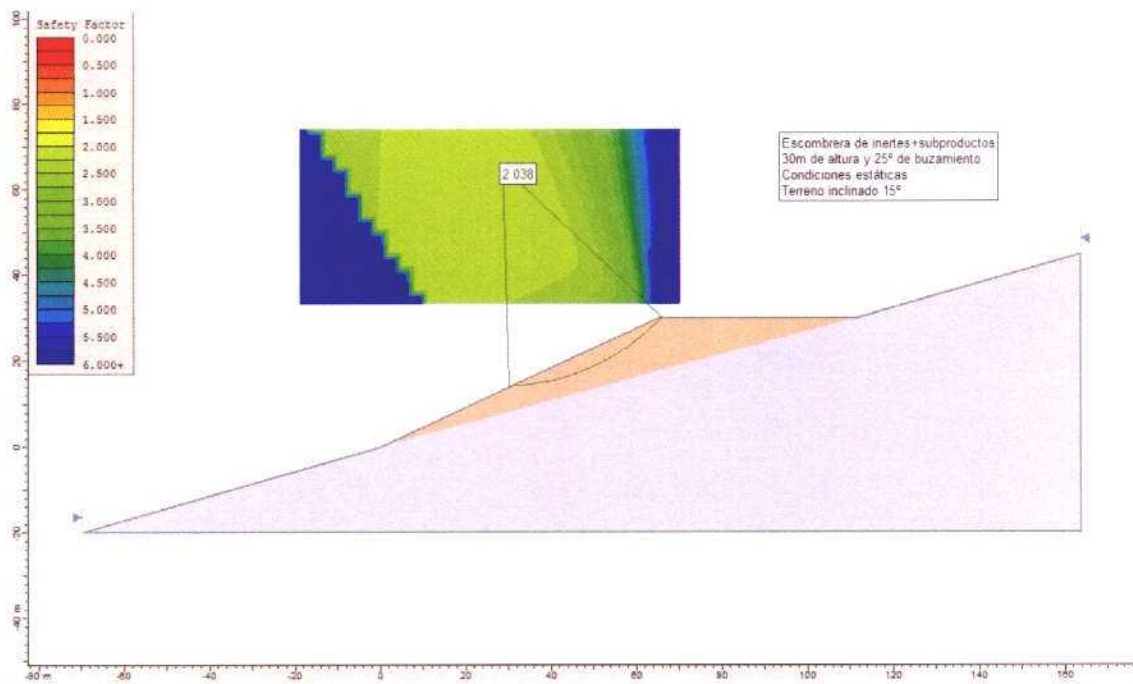
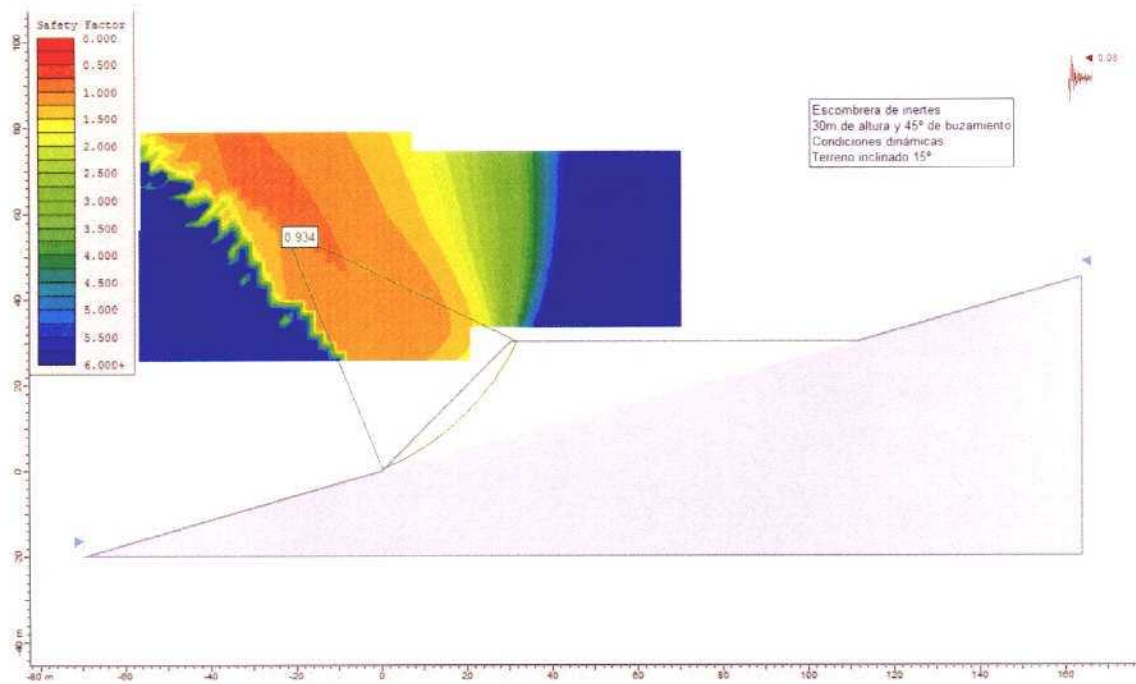


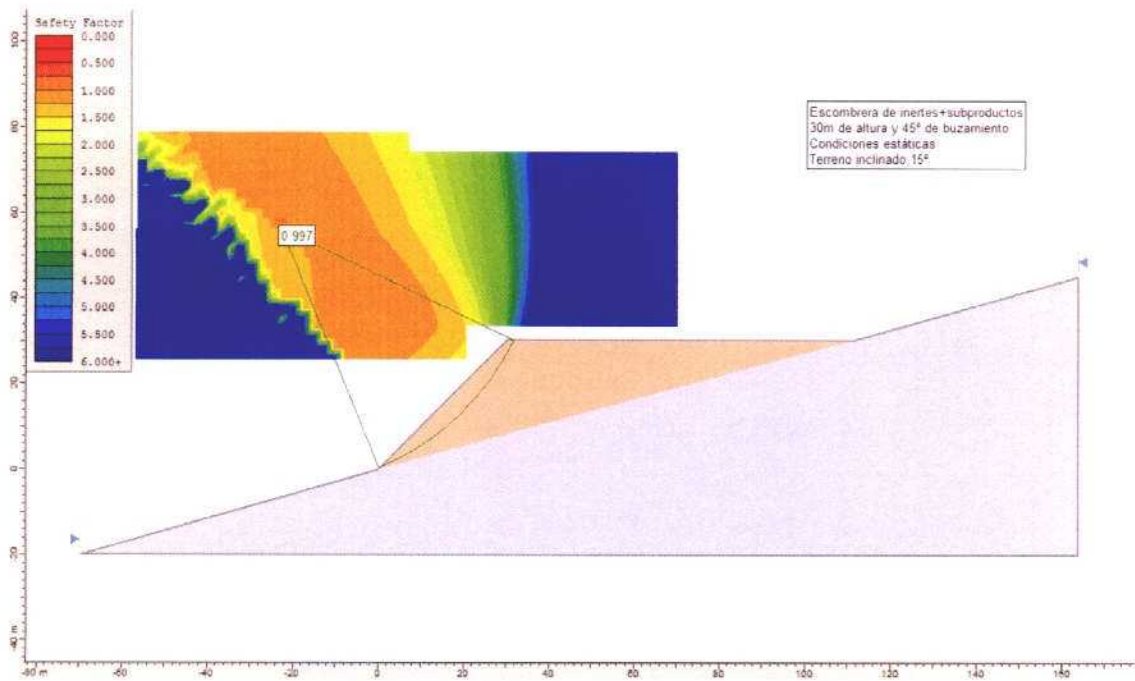
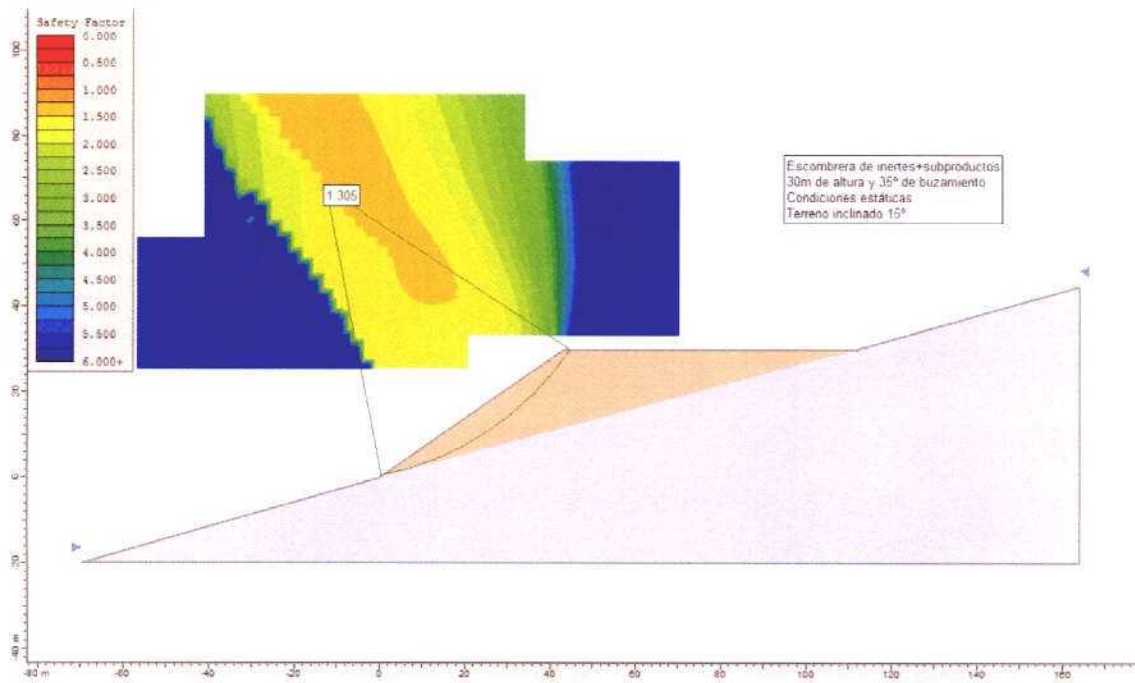


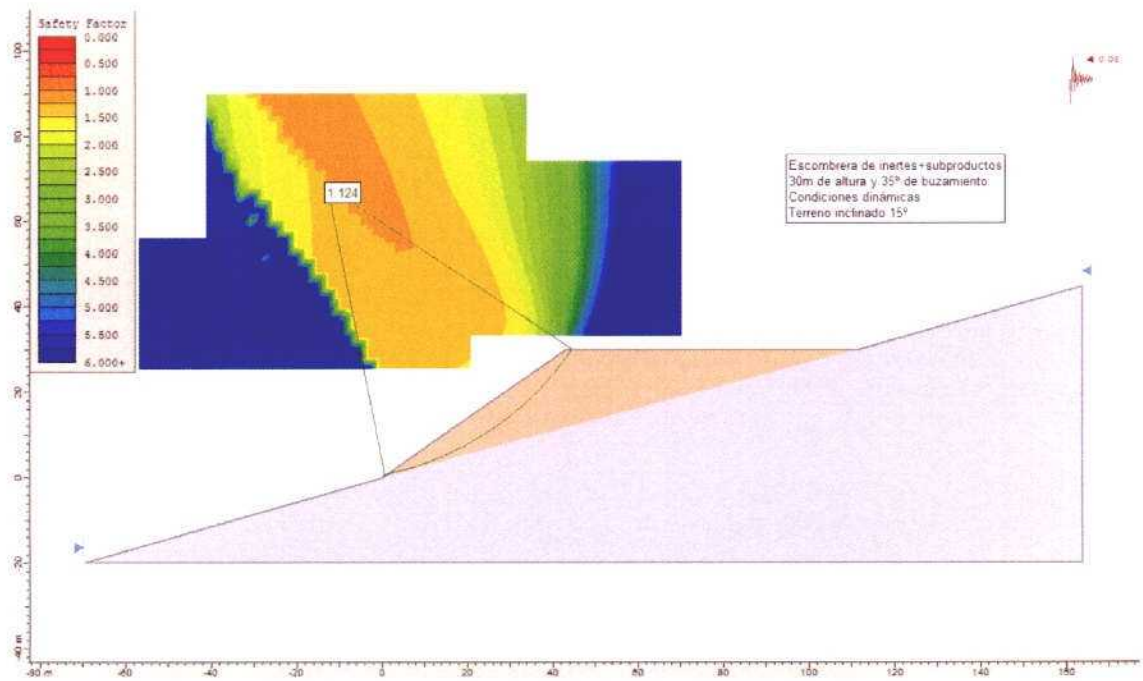
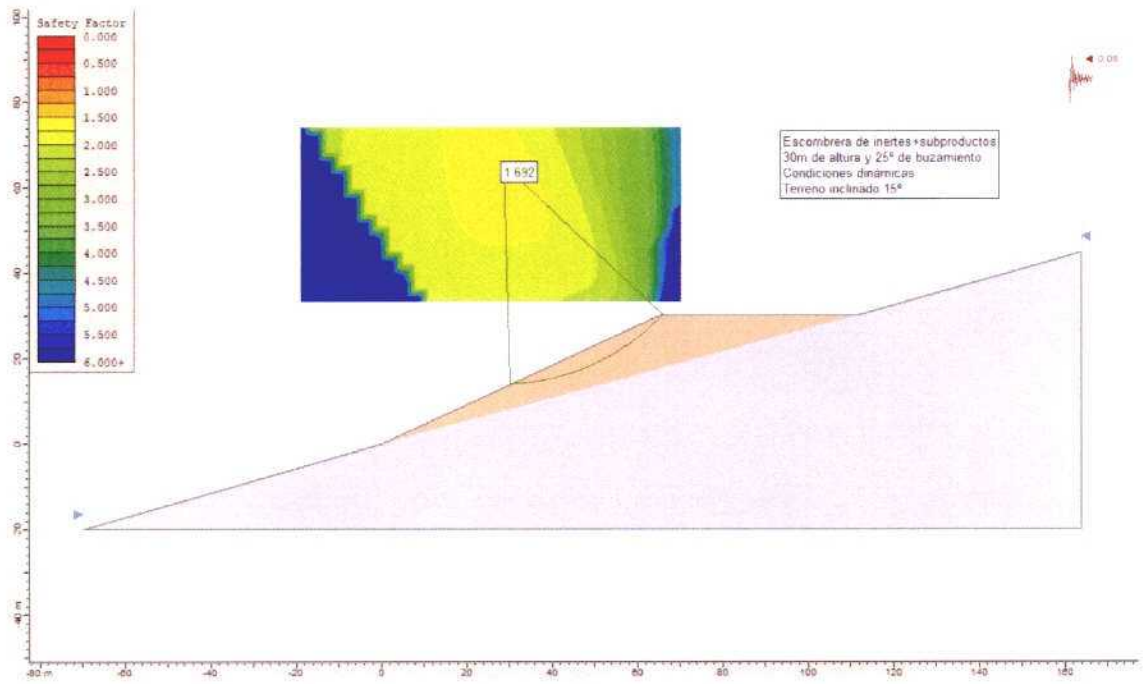


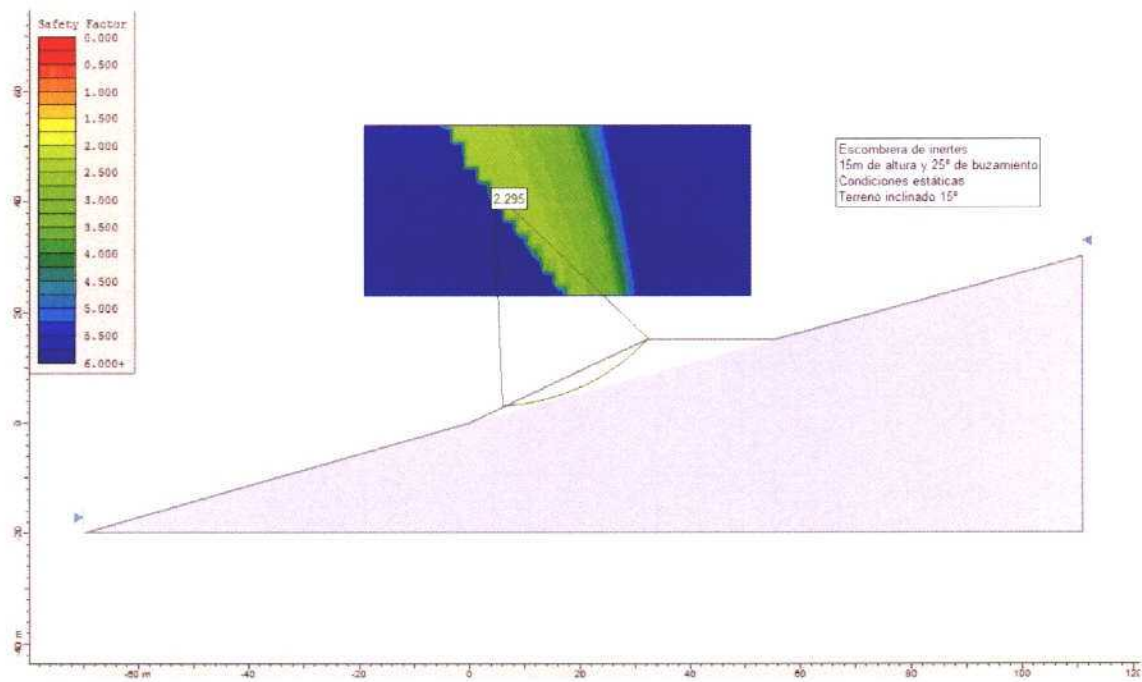
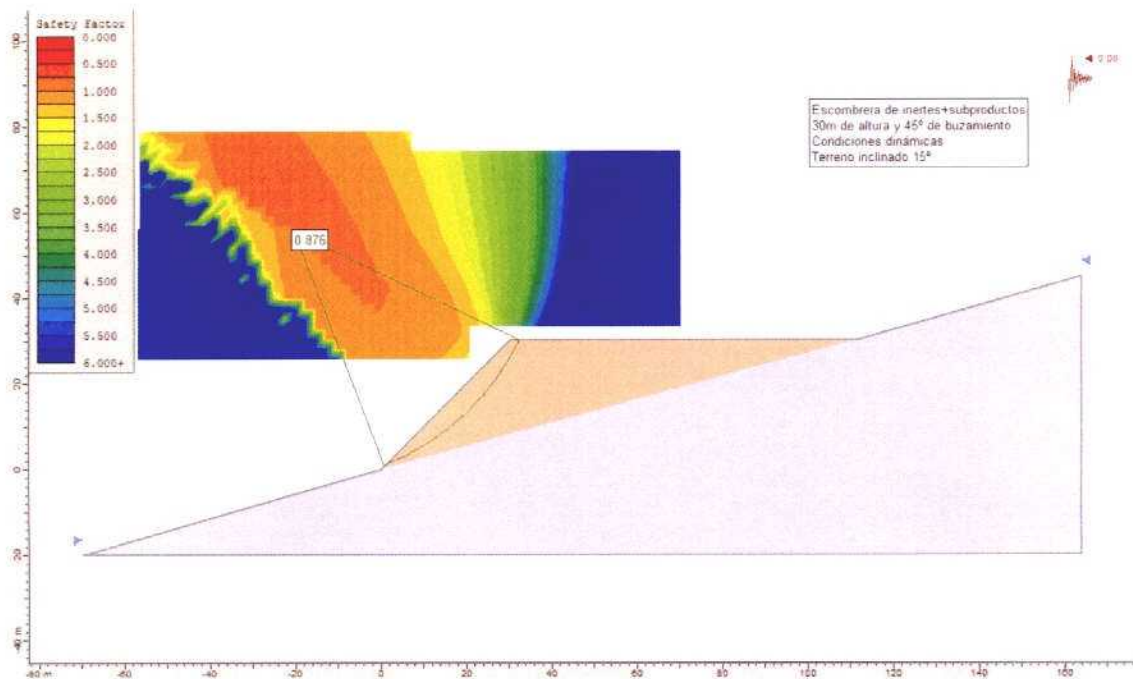


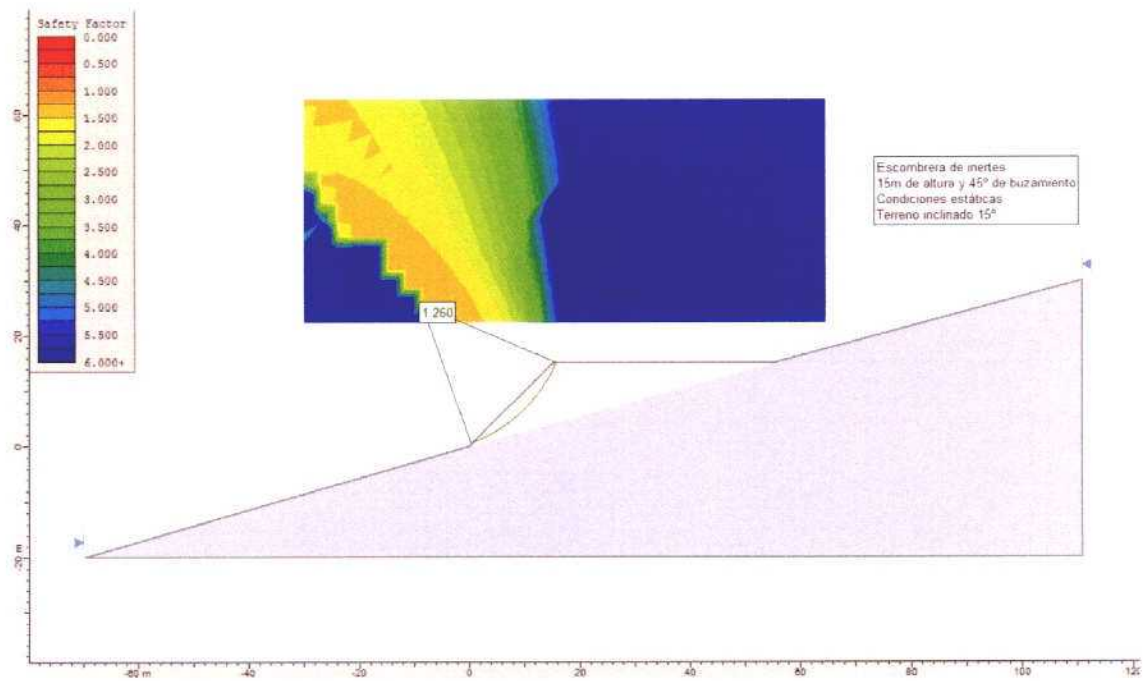
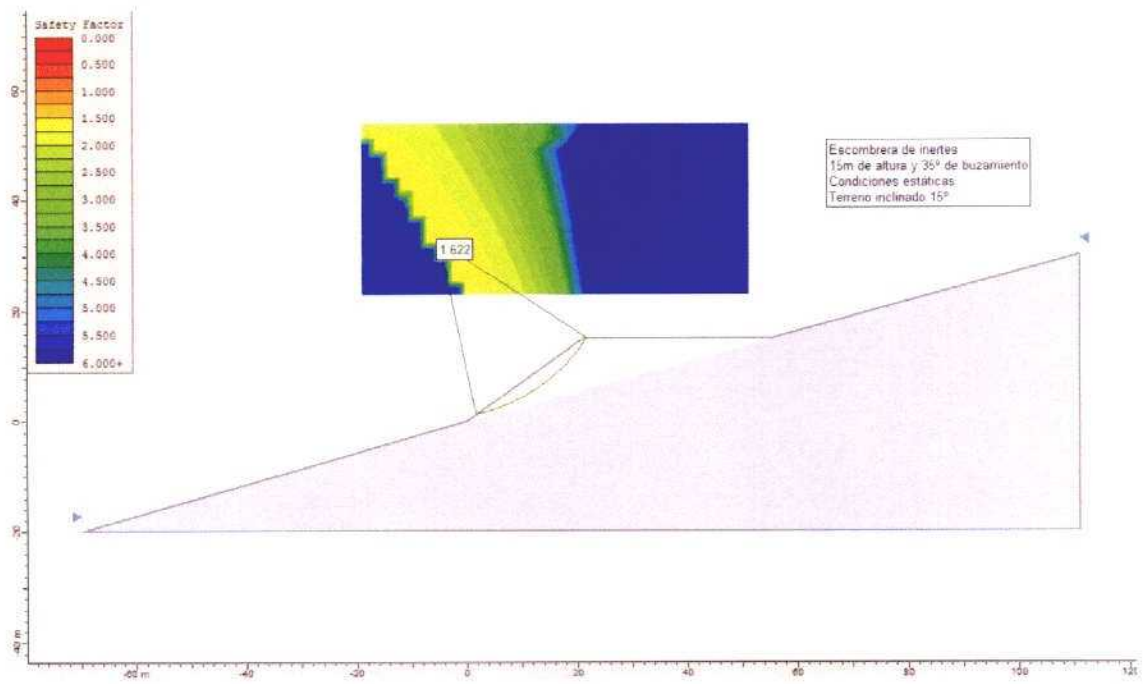


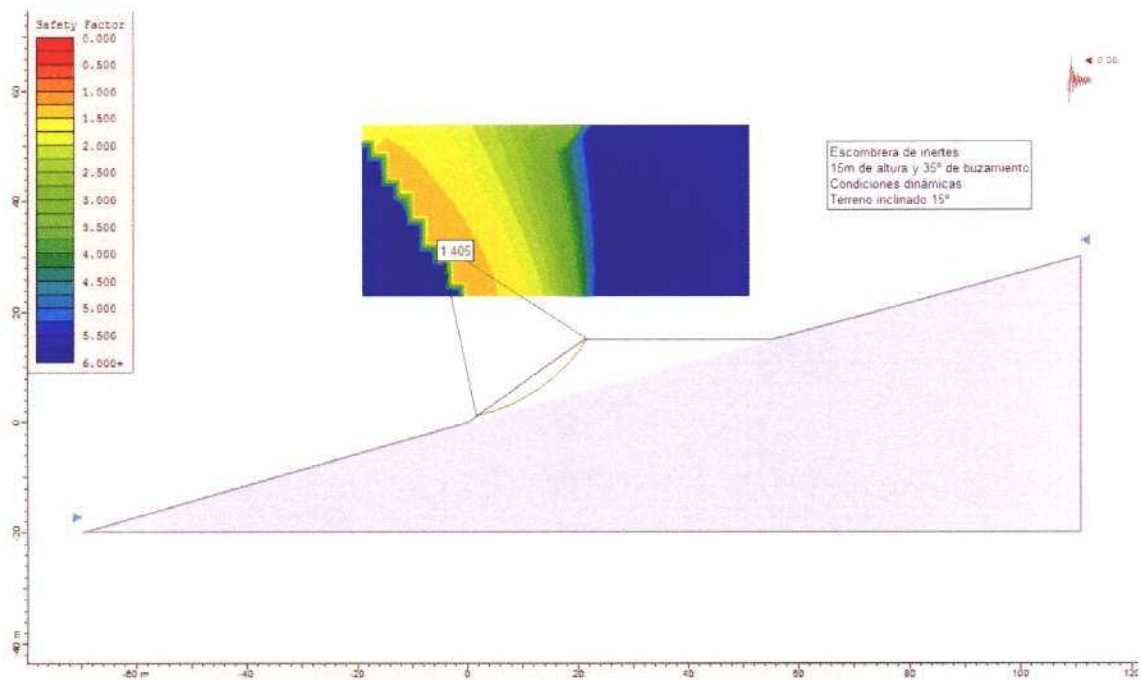
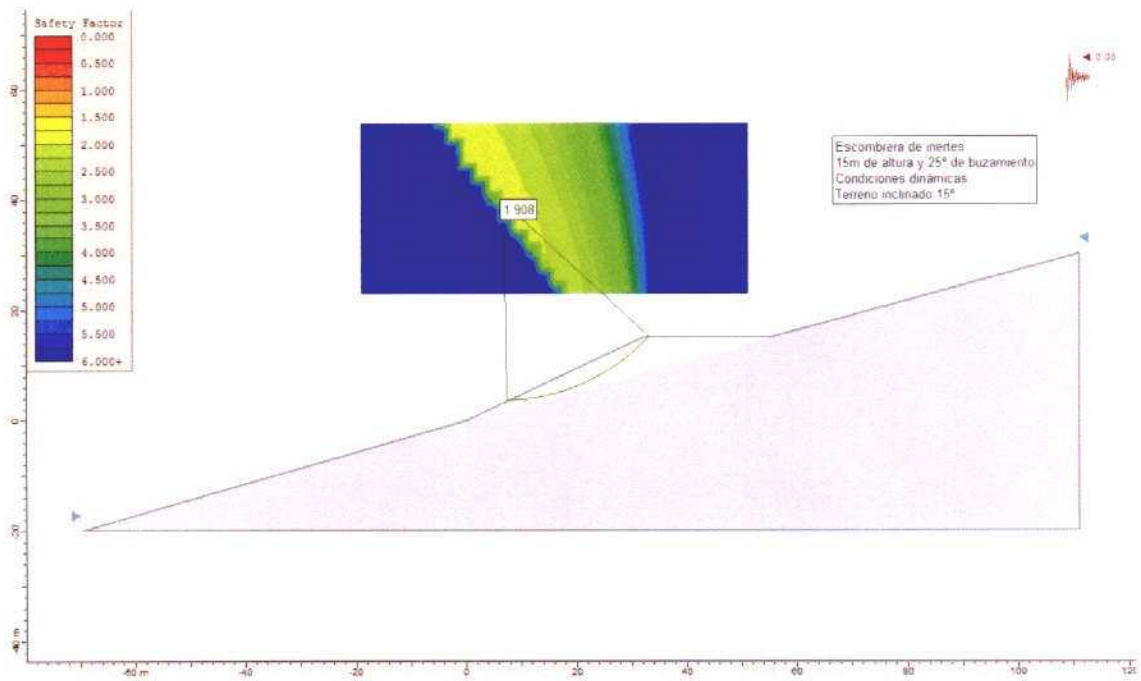




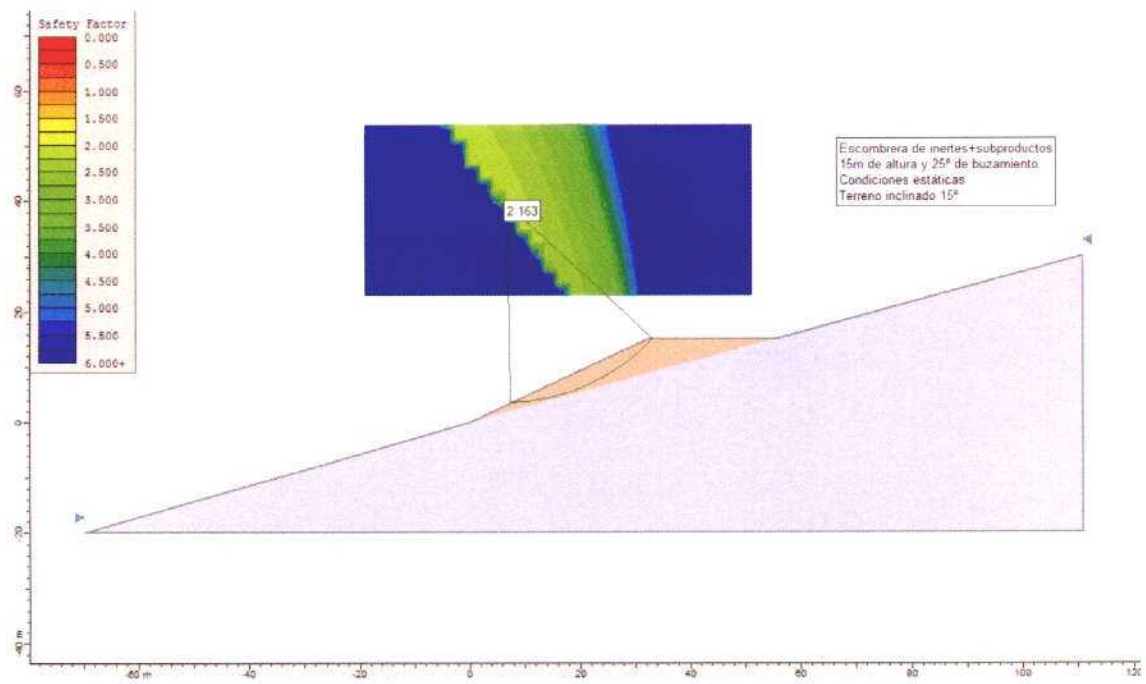
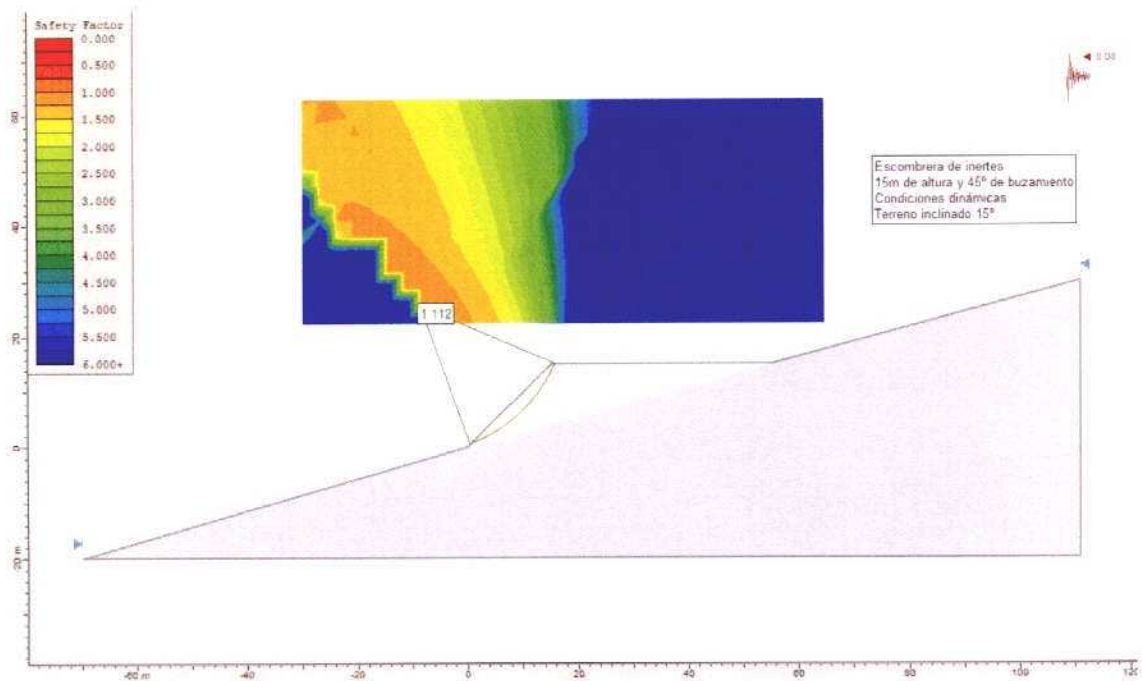


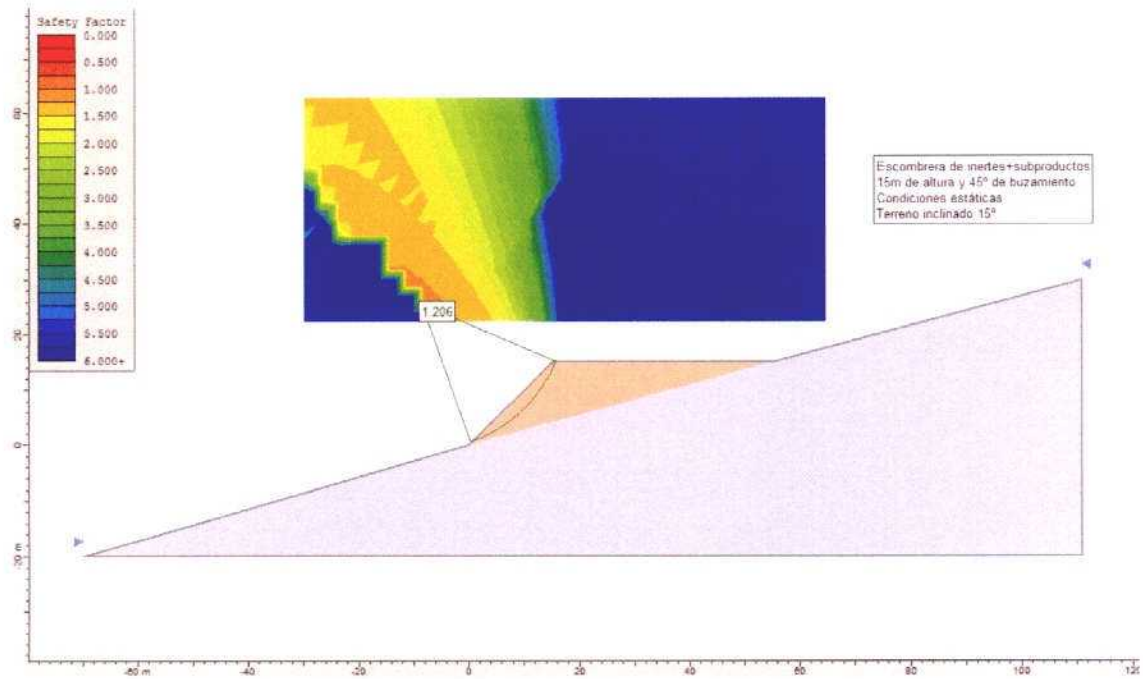
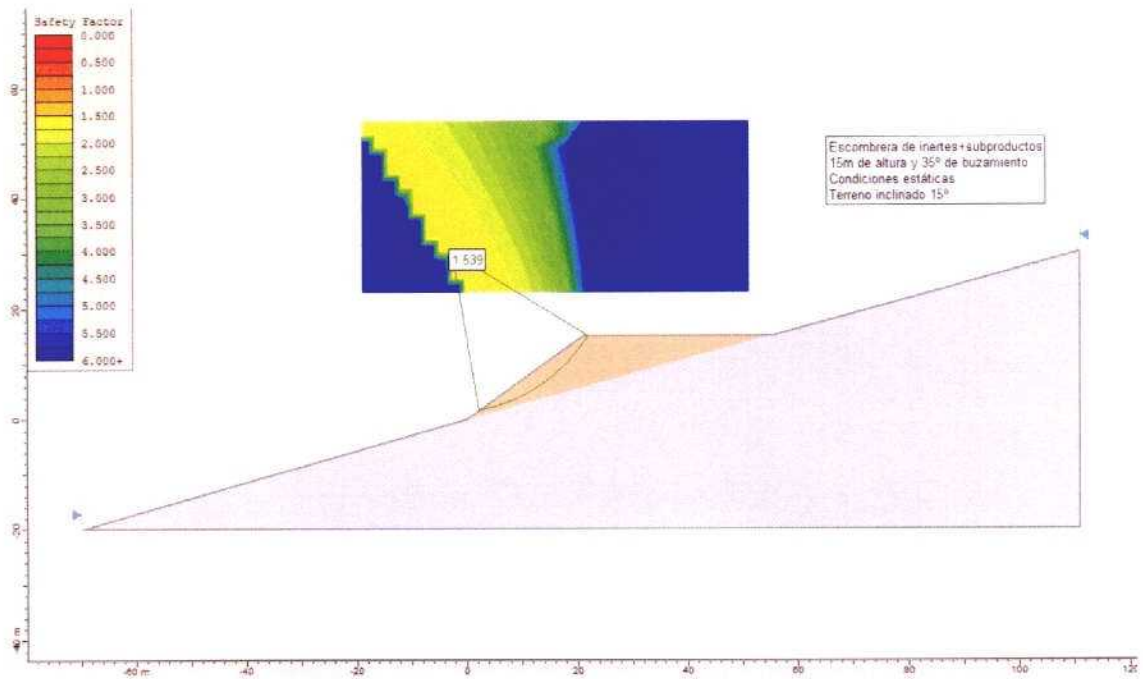


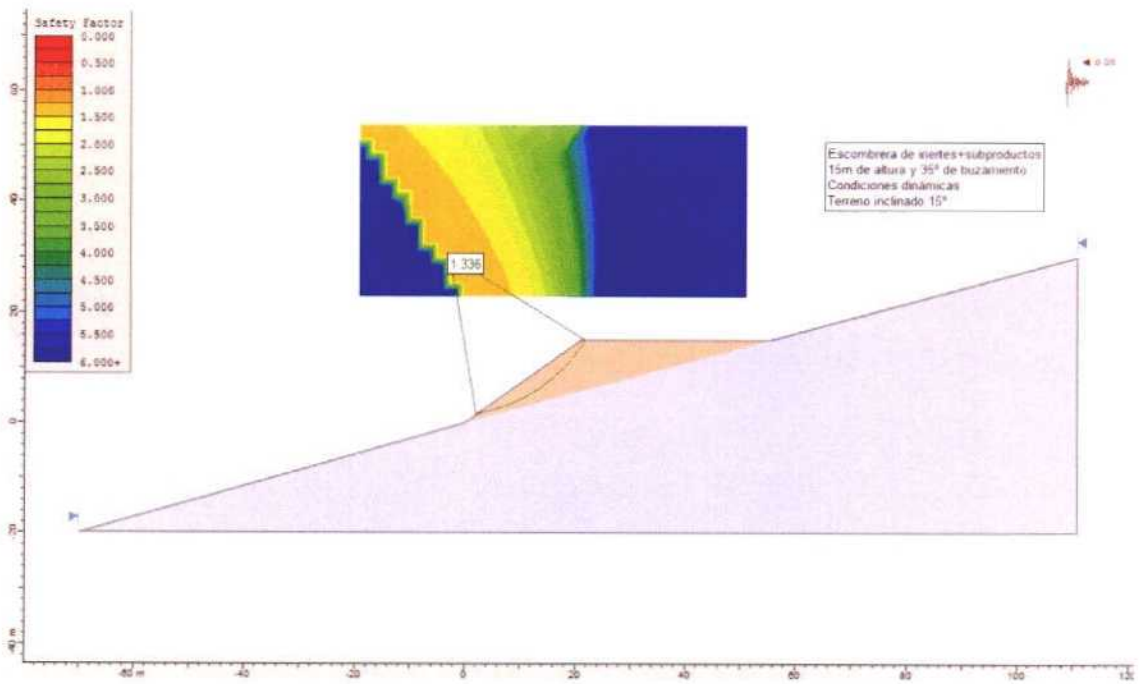
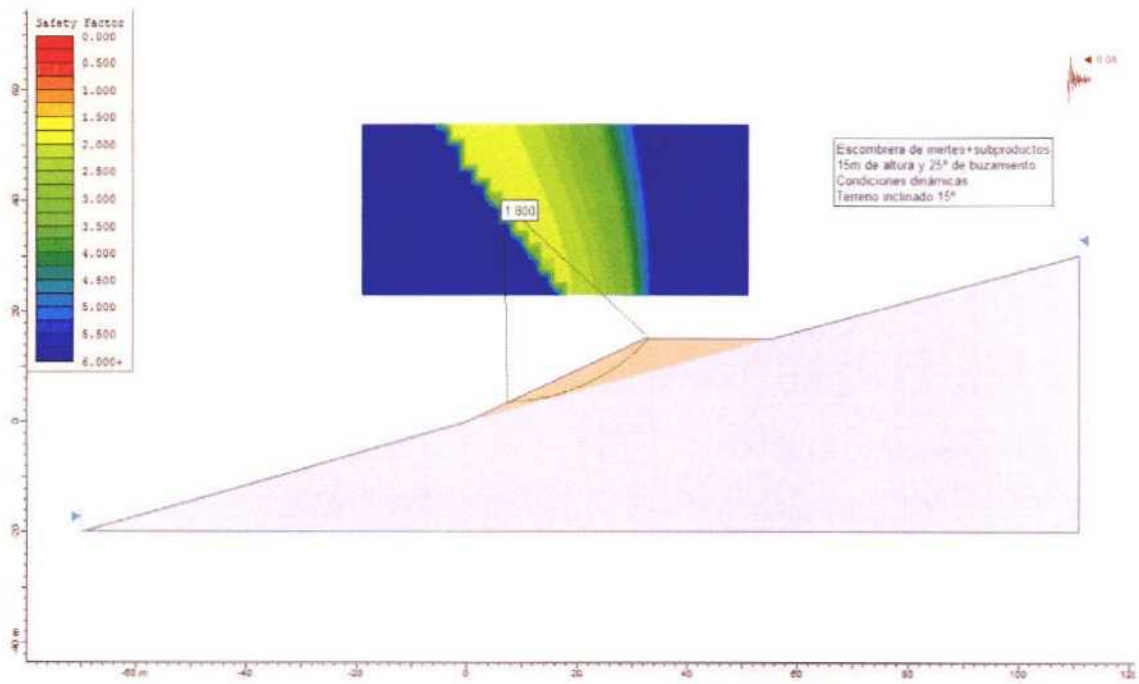












**APÉNDICE III.3. ESCOMBRERAS SOBRE TERRENOS  
INCLINADOS 30°**

