

ANEXO II
ESTUDIO GEOTÉCNICO

ÍNDICE

	Pág nº
1. INTRODUCCIÓN	3
2. CONTEXTO GEOLÓGICO DEL YACIMIENTO.....	7
3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MACIZO ROCOSO	11
3.1. CALIZAS TABLEADAS	11
3.2. INTERCALACIÓN MARGOSA	12
4. PATRÓN DE DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO	13
5. ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES	15
5.1. SITUACIÓN INICIAL.....	16
5.1.1. Perfil 1.....	16
5.1.2. Perfil 2.....	17
5.2. SITUACIÓN FINAL.....	18
5.2.1. Perfil 1.....	18
5.2.2. Perfil 2.....	19
6. ANÁLISIS DE CUÑAS	21
6.1. CUÑAS POTENCIALES.....	22
7. ROTURA PLANAR	25
8. CONCLUSIONES.....	27

1. INTRODUCCIÓN

El yacimiento de calizas de la Sierra de Alaiz se localiza en el borde meridional de la Cuenca de Pamplona, a unos 15 km al SSE de Pamplona.

En su conjunto, el afloramiento calcáreo presenta una superficie algo superior a las 1.800 ha, casi 2 km², y da lugar a un destacado relieve que constituye la línea de cumbres de la Sierra de Alaiz, cuya altura media se eleva unos 600-800 m sobre la altitud media de la Cuenca.

La totalidad del afloramiento calizo muestra una morfología arqueada (E-O), que se abre suavemente hacia el Sur y con una longitud entre extremos de casi 11 km, por poco más de 1,5-2 km de ancho, ver figuras 1.1 y 1.2.



Figura 1.1.- Localización del yacimiento de calizas de la Sierra de Alaiz, en el borde meridional de la Cuenca de Pamplona (modificado de Iberpix)

La cantera de La Morena se localiza en el extremo SO de la Sierra de Alaiz, dentro del municipio de Tiebas y junto al importante corredor de comunicaciones (AP15, N121, ferrocarril, etc) que supera el paso entre la Sierra de Alaiz y la del Perdón (ver figura 1.2).

En el presente documento se analizan las propiedades geotécnicas de los materiales así como la estabilidad de los taludes creados. Este informe es complementario al realizado por GeoNavarra en 2010 "Estudio de estabilidad de los frentes de explotación en el desarrollo de la ampliación de la cantera de Echauri Tiebas S.A., en el municipio de Tiebas-Muruarte de Reta (Navarra)".

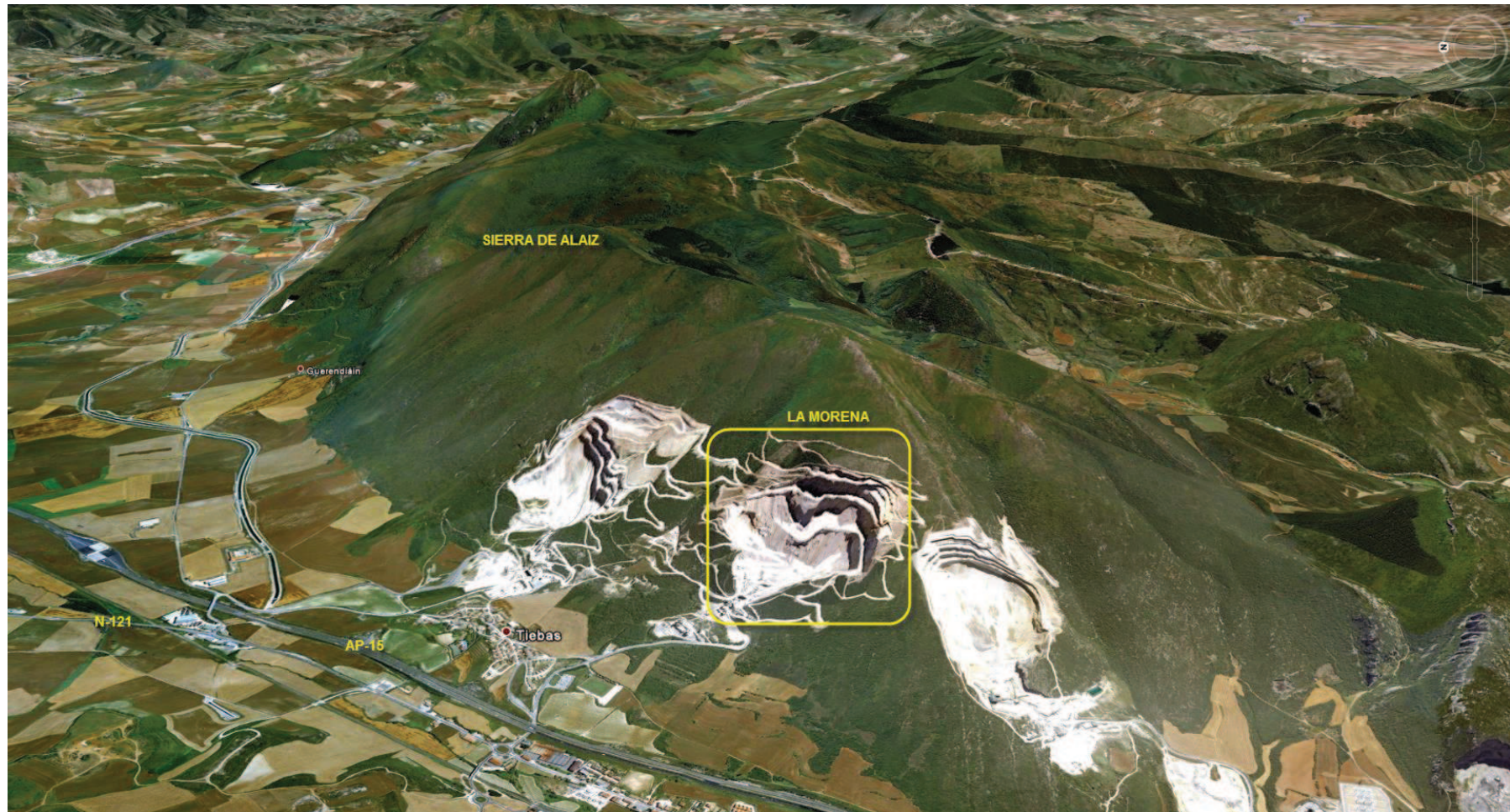


Figura 1.2.- Vista aérea del afloramiento carbonatado y detalle de la localización de la cantera de La Morena (Google mod.).

2. CONTEXTO GEOLÓGICO DEL YACIMIENTO

Desde el punto de vista geológico, el yacimiento de calizas eocenas de la Sierra de Alaiz se localiza en el ámbito de los Pirineos, en la Zona Surpirenaica, y constituyendo el borde meridional de la cuenca prepirenaica de Jaca-Pamplona.

Además, la estructura de esta sierra responde al reflejo de un anticlinal-cabalgante (pliegue-falla) de vergencia Sur, que corresponde a uno de los cabalgamientos frontales surpirenaicos (CFS).

Atendiendo a esta estructura, se aprecia un flanco corto (Sur) muy apretado y recorrido por líneas de cabalgamiento, también vergentes al Sur, mientras que el flanco septentrional de la estructura corresponde a su flanco largo, donde los materiales se disponen según una disposición monoclin, que da lugar al característico relieve en cuesta de la vertiente Norte de la Sierra de Alaiz.

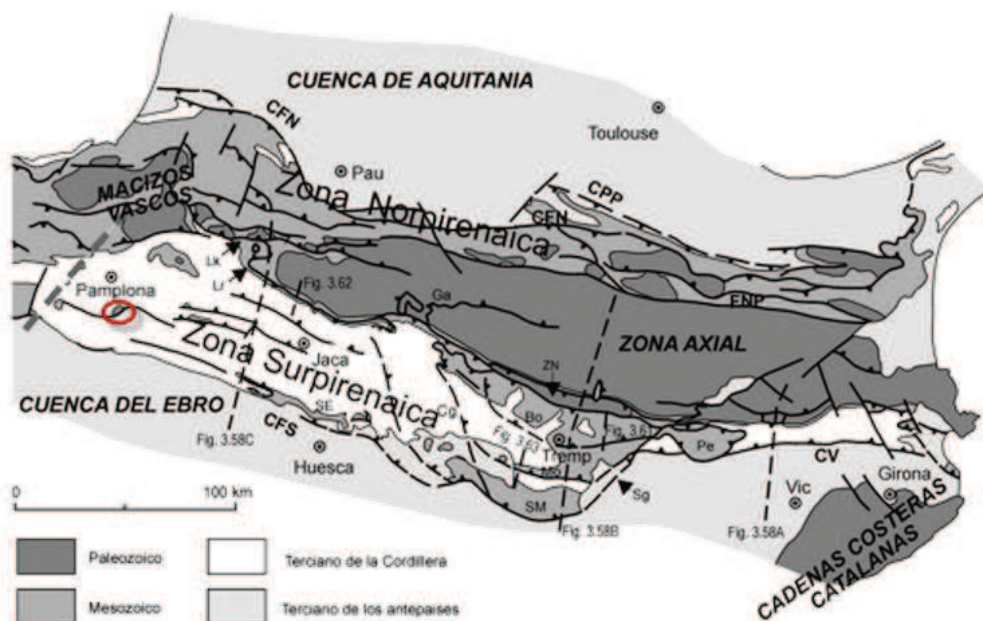


Figura 2.1.- Contexto geológico y localización de la zona de estudio dentro de los Pirineos (Geología de España, AAVV, 2004).

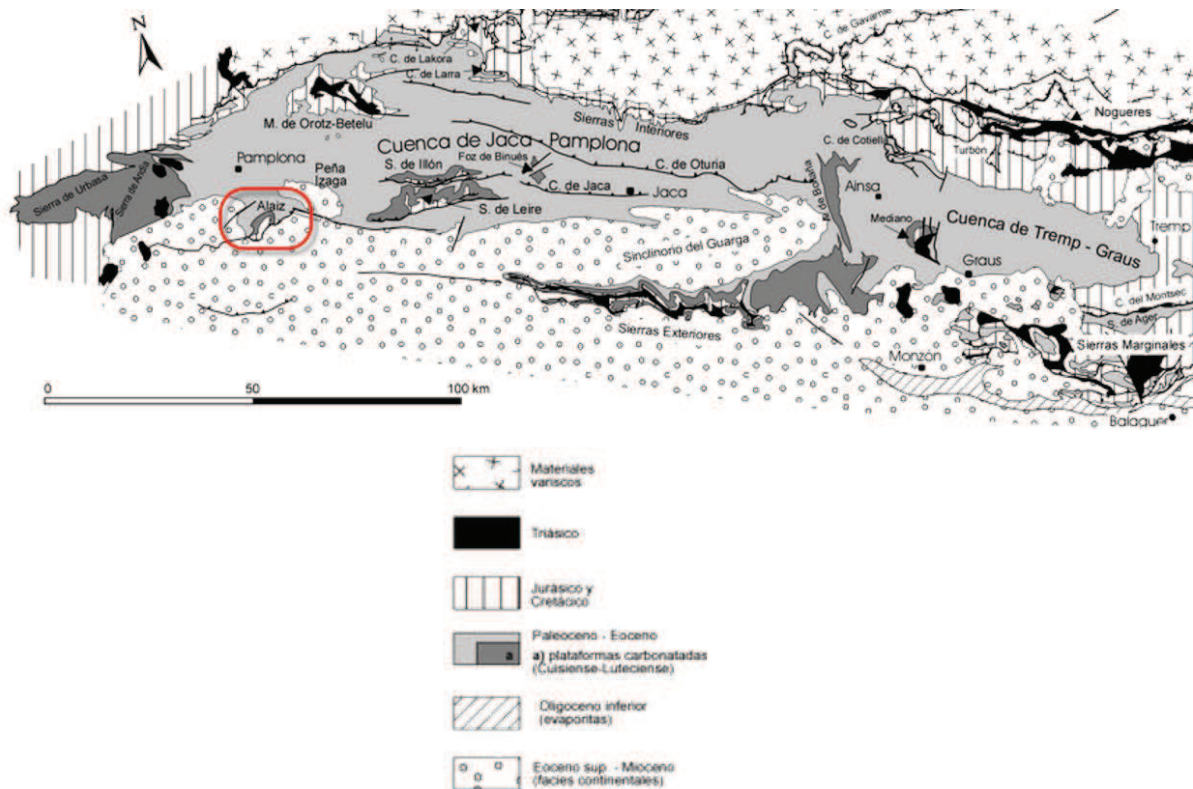


Figura 2.2.- Contexto geológico y localización de la zona de estudio dentro de la cuenca prepirenaica de Jaca-Pamplona, en la Zona surpirenaica (Geología de España, AAVV, 2004).

El afloramiento de caliza en el flanco septentrional de la Sierra de Alaiz muestra una morfología arqueada y elongada según una dirección aproximada ENE-OSO, con un eje mayor de unos 11 km y el menor de aproximadamente 1,5-2 km.

Su disposición responde en líneas generales a la de una estructura homoclinal (relieve en cuesta), con buzamientos medios a suaves (20-55°) hacia posiciones septentrionales, y levemente afectada por estructuras tectónicas transversales que configuran su estructura final (ver figura 2.3).

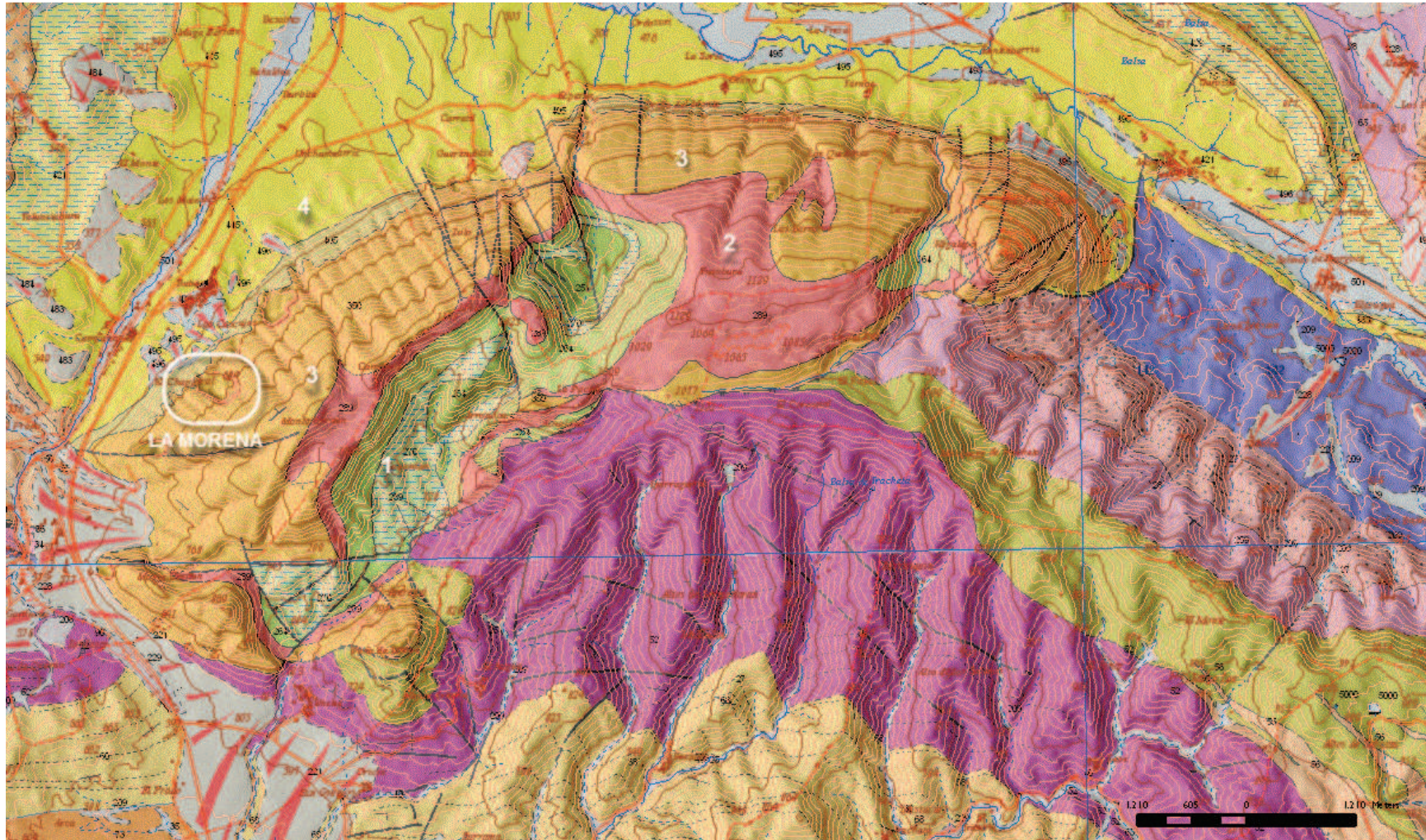


Figura 2.3.- Localización de la zona de estudio en la cartografía geológica unificada del proyecto SIGECO (ref. materiales en tabla 2.1)

Según esta estructura, las unidades diferenciadas en el ámbito de la Sierra de Alaiz son, de más antiguas (muro) a más modernas (techo), las siguientes:

TABLA 2.1.- RELACIÓN DE UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS EN LA SIERRA DE ALAIZ			
Ref. SIGECO	Ref. Geo. Navarra	Unidad	Edad
1	186/189	Arenas, areniscas y margocalizas	Cret. Sup.
2	203	Calizas dolomíticas	Paleoceno
3	215	Calizas tableadas	Eoceno inf.
4	267	Margas de Pamplona	Eoceno sup.

La potencia de las calizas eocenas de la Sierra de Alaiz es de unos 300-400 m y, desde un punto de vista general, es posible observar un tránsito desde litosomas masivos en el Este, a calizas tableadas a poniente, donde se encuentra la explotación de La Morena.

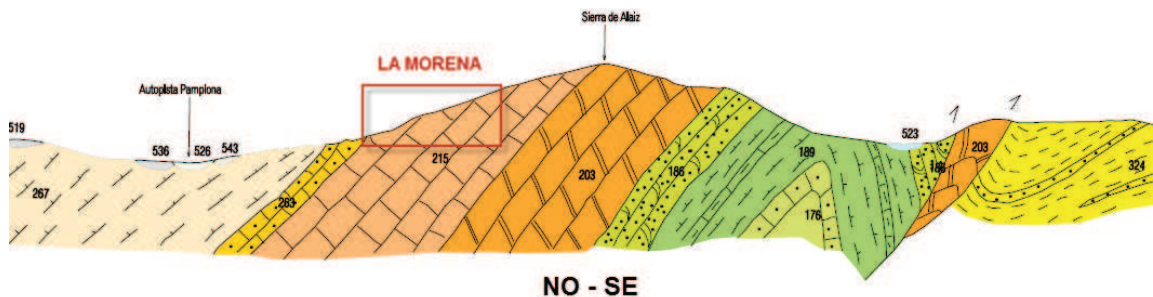


Figura 2.4.- Perfil geológico de la Sierra de Alaiz y localización de la cantera de La Morena. (Mapa Geológico de Navarra, 1:25.000).

3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MACIZO ROCOSO

Desde un punto de vista geomecánico y geotécnico, en la cantera de La Morena se distingue únicamente un litotipo; el de las calizas tableadas eocenas objeto de aprovechamiento. Sin embargo, debido a sus implicaciones geotécnicas, también se han considerado las características de la intercalación margosa presente en el paquete calizo.

3.1. CALIZAS TABLEADAS

Se trata de un litotipo que muestra gran homogeneidad y compacidad, aunque presenta una estratificación muy definida y marcada, presentando una elevada cementación.

Estas calizas están compuestas en más del 99% por carbonato cálcico. La caliza presenta una densidad de $2,65 \text{ t/m}^3$, un ángulo de rozamiento interno entre 25° y 35° , una cohesión de $2-3 \text{ kp/cm}^2$ y una resistencia a la compresión simple de 786 kp/cm^2 (ver Anexo 1).

EL RQD medio es de 75-90%, la separación del diaclasado 0,5-2 m, el relleno de las discontinuidades es blando $>5 \text{ mm}$ y suelen presentarse secas. Así pues, atendiendo a estas características y a las diferentes clasificaciones de rocas, la caliza se puede considerar como de calidad media (Bieniawski, 1973) y dura (GSL, 1970 y ISRM, 1981), con un $\text{RMR}=54$ y un índice de calidad según Barton de $Q=10,625$ (calidad media).

3.2. INTERCALACIÓN MARGOSA

Se trata de un nivel que muestra una gran homogeneidad y cierta plasticidad, que puede actuar como nivel de despegue, ya que presenta un espesor medio de 1 m. De cara a su caracterización geotécnica se considerará como una discontinuidad con relleno blando, con un ángulo de deslizamiento de 17-21° y una cohesión de 0,5-2 kp/cm².

Cabe recordar el episodio de corrimiento de una bolsa de materiales margosos ocurrido hace unos años en uno de los taludes de la cantera. El episodio en cuestión dio lugar a un replanteo de la explotación.

4. PATRÓN DE DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO

El macizo calizo conforma un cuerpo bastante homogéneo y competente. Sin embargo, al tratarse de unas calizas tableadas, el conjunto muestra un marcado y persistente patrón de discontinuidades asociadas a las juntas de estratificación (So) y, en menor medida, a la fracturación. Todo el entramado de discontinuidades que surcan el macizo calizo genera una característica anisotropía en el conjunto.

Para caracterizar esta anisotropía que afectan a la masa caliza se han determinado las principales familias de discontinuidades observadas en el campo, obtenido los siguientes patrones:

- So (20-25°/305-330°): Esta familia de discontinuidades corresponde con las juntas de estratificación del cuerpo calizo y es el más importante, por su densidad, como por su persistencia. Se trata de discontinuidades onduladas y ligeramente rugosas, con continuidades, tanto en dirección como en buzamiento, superiores a los 20 m. El espaciado es decimétrico a métrico. Las juntas suelen presentarse cerradas y, en ocasiones, con un relleno milimétrico de materiales limosos.
- J1 (87°/050° y 82°/210°): Esta familia presenta una dirección aproximada N120-140°E, pero con buzamientos subverticales tanto hacia posiciones meridionales como hacia el Norte. Las fracturas que componen esta familia muestran una continuidad grande, superior a los 20 m, tanto en dirección como en el sentido del buzamiento. Su espaciado es de 3 a 4 m en las zonas de mayor presencia y >10 m en las de menos densidad. Las superficies son estriadas a lisas, de morfología plana, con rellenos milimétricos de calcita y signos de alteración (baja-moderada).
- J2 (77°/357°): Esta familia presenta una continuidad de >20 m y un espaciado denso (0,6-2 m). Las superficies son rugosas y pueden ir acompañadas por relleno calcítico (<mm). Meteorización ligera.

5. ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Atendiendo a las características geomecánicas del macizo a explotar, se ha realizado una simulación de dos perfiles de diseño en situación inicial y al final de la explotación coincidente con el vencimiento de la concesión minera "La Morena". El software utilizado ha sido *SLIDE, versión 4 de Rocscience, Inc.* El programa analiza la estabilidad de un perfil determinado mediante distintos métodos. El método utilizado para realizar el cálculo de los factores de seguridad y las superficies de deslizamiento ha sido Bishop simplificado y Janbu simplificado.

Como resultado de estos cálculos se obtiene un factor de seguridad que se define como el cociente entre las fuerzas resistentes y las fuerzas desestabilizantes. Por tanto un factor de seguridad mayor de 1 significa que el talud es estable, y valores inferiores a la unidad significa que el talud es potencialmente inestable.

Se ha realizado el cálculo para los taludes en el caso de mayor diferencia de cota y mayor pendiente.

En el cálculo de estabilidad se ha estimado una única hipótesis de partida, suponiendo los taludes sin drenar, al estar el nivel freático por debajo del diseño final.

Los parámetros geomecánicos utilizados son los descritos en el apartado 3 del presente anexo.

Se han obtenido factores de seguridad mayores de 1,2 aplicando rotura circular, por el método de Bishop. Dichos resultados cumplen con lo exigido en la ITC MIE S.M. 07.1.03.

A continuación se presentan los resultados obtenidos del cálculo de estabilidad de dos perfiles al final de la explotación. Los perfiles calculados son los que se muestran en la siguiente figura. Como puede observarse corresponden a los perfiles más desfavorables en cuanto a altura de la explotación.

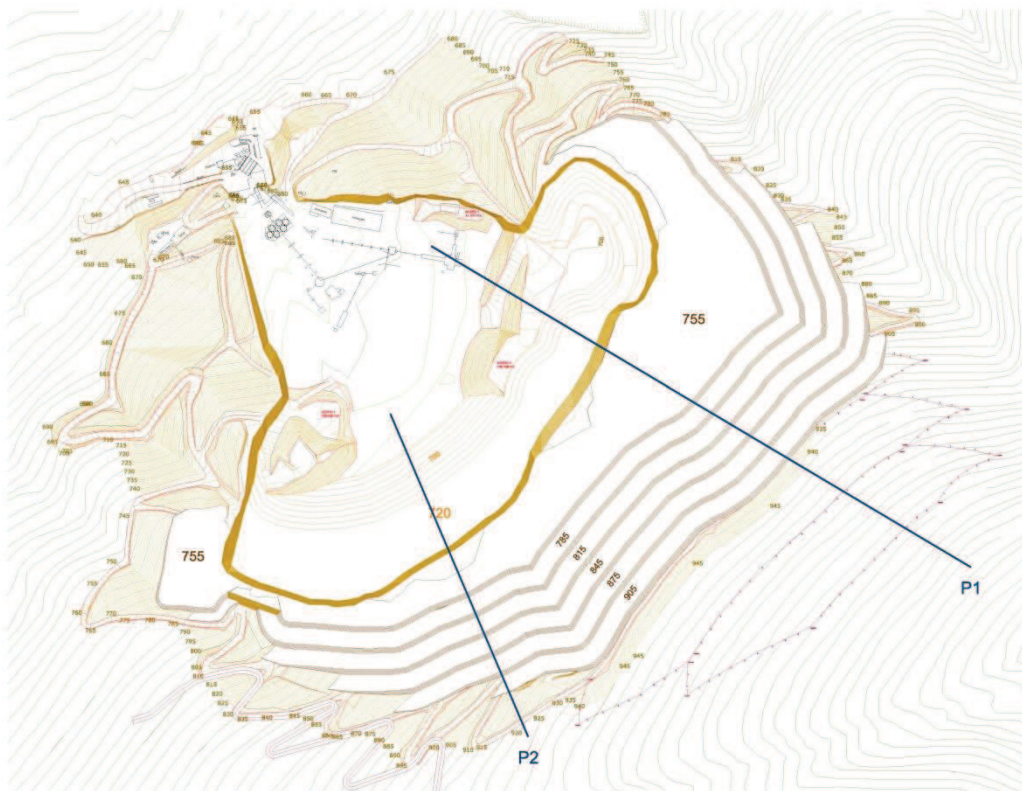


Figura 5.1.- Situación de los perfiles en situación final

5.1. SITUACIÓN INICIAL

5.1.1. Perfil 1

Este talud tiene 215 metros. El talud se compone de 4 bancos con alturas comprendidas entre los 10 y 60 metros y bermas de anchura comprendida entre 10 y 30 metros suavemente inclinadas ($2-3^\circ$). Todo el talud atraviesa materiales de la Unidad de Calizas tableadas.

Se ha obtenido un factor de seguridad de 3,57. Se ha aplicado la rotura circular, por el método de Bishop simplificado.

En la figura 5.2 se muestra la salida gráfica y el valor del factor de seguridad para la rotura pésima, en el caso considerado.

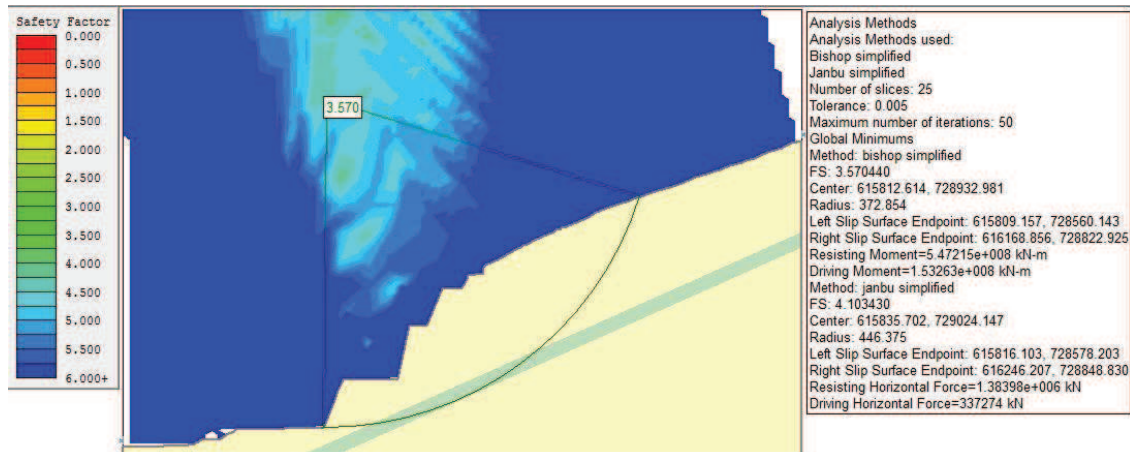


Figura 5.2.- Estabilidad del perfil 1 en situación inicial.

5.1.2. Perfil 2

Este talud tiene 225 metros de altura. El talud se compone de 5 bancos con alturas comprendidas entre los 20 y 70 metros y bermas de anchura comprendida entre 10 y 30 metros suavemente inclinadas (2-3°). En el banco más inferior del talud se atraviesa la intercalación margosa.

Se ha obtenido un factor de seguridad de 2,479. Se ha aplicado la rotura circular, por el método de Bishop simplificado.

En la figura 5.3 se muestra la salida gráfica y el valor del factor de seguridad para la rotura pésima, en el caso considerado.

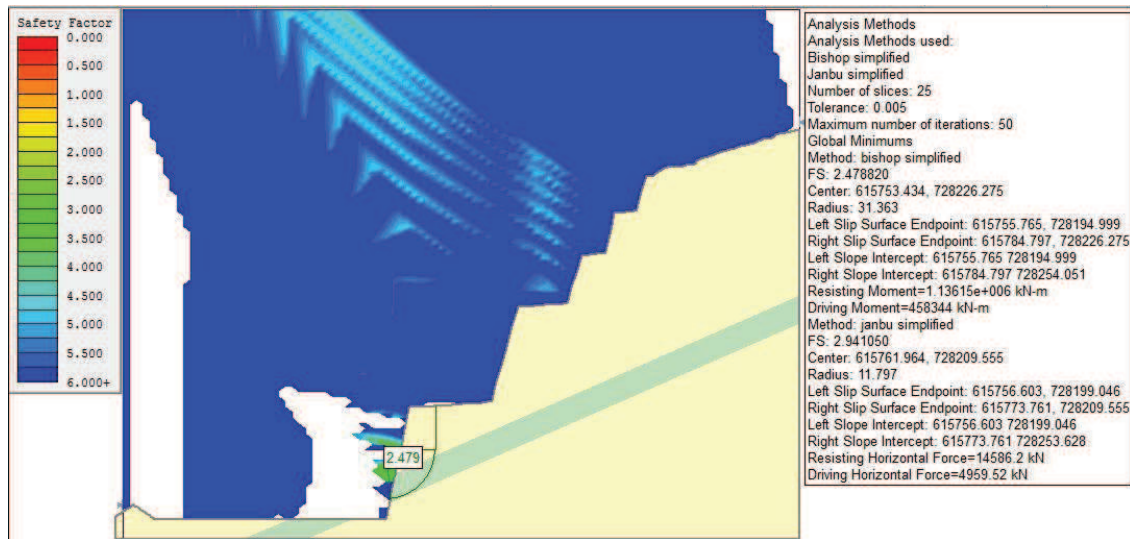


Figura 5.3.- Estabilidad del perfil 2 en situación inicial.

5.2. SITUACIÓN FINAL

Se ha considerado el caso más desfavorable, correspondiente a los taludes con anchura de berma de 20 metros y mayor altura de talud.

5.2.1. Perfil 1

El talud estará formado por 6 bancos de 30 metros de altura y bermas horizontales de 20 metros de ancho. Todo el talud atraviesa materiales de la Unidad de Calizas tableadas.

Se ha obtenido un factor de seguridad de 1,454. Se ha aplicado la rotura circular, por el método de Bishop simplificado.

En la figura 5.4 se muestra la salida gráfica y el valor del factor de seguridad para la rotura pésima, en el caso considerado.

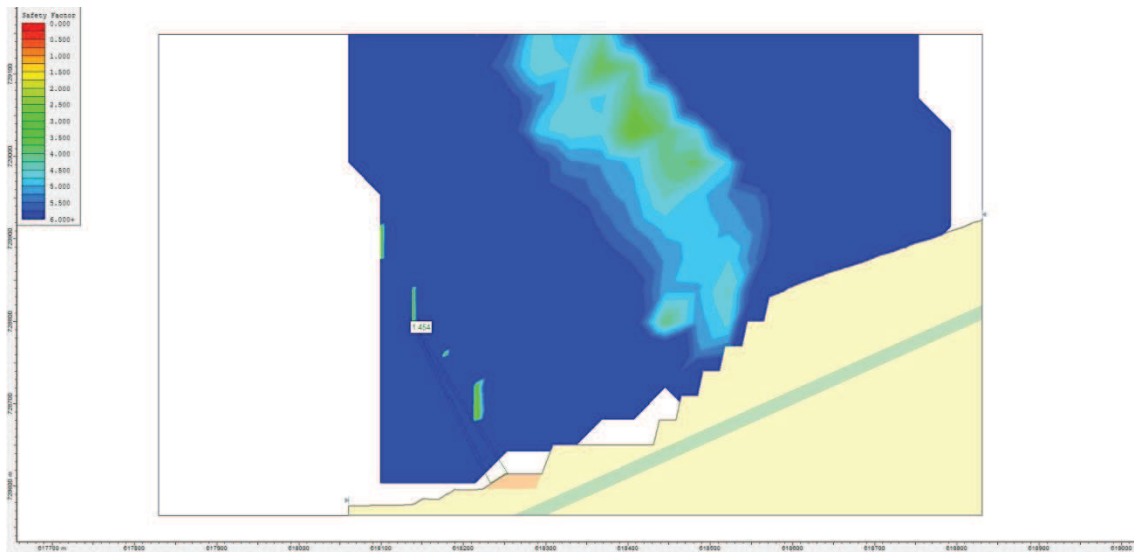


Figura 5.4.- Estabilidad del perfil 1 al final de la explotación.

5.2.2. Perfil 2

El talud estará formado por 5 bancos de 30 metros de altura y bermas horizontales de 20 metros de ancho. Todo el talud atraviesa materiales de la Unidad de Calizas tableadas.

Se ha obtenido un factor de seguridad de 1,284. Se ha aplicado la rotura circular, por el método de Bishop simplificado.

En la figura 5.5 se muestra la salida gráfica y el valor del factor de seguridad para la rotura pésima, en el caso considerado.

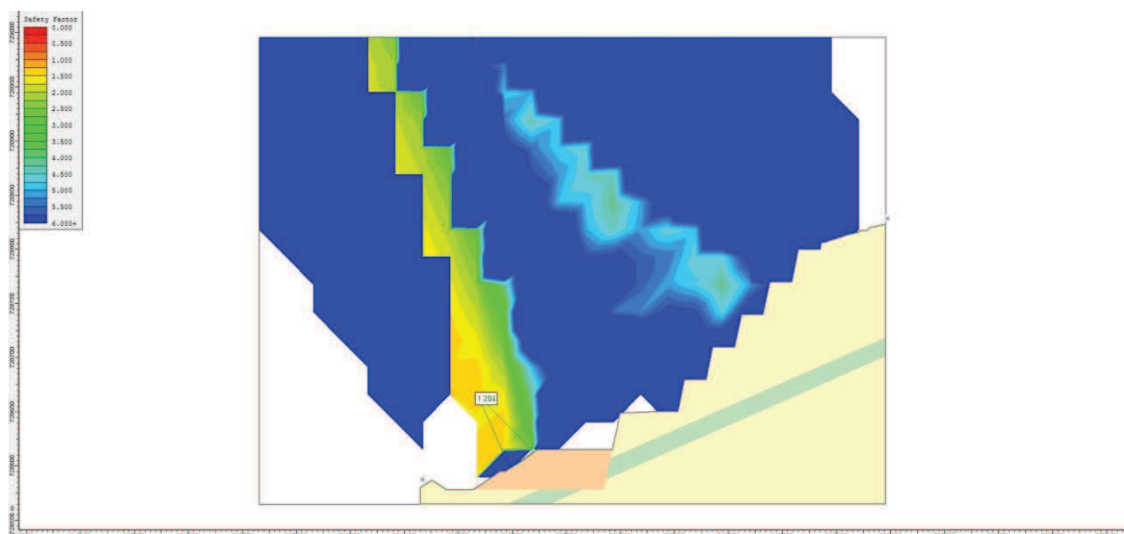


Figura 5.5.- Estabilidad del perfil 2 al final de la explotación.

6. ANÁLISIS DE CUÑAS

El análisis de este tipo de rotura se ha realizado en función de las orientaciones de las fracturas y para unas orientaciones de talud general variables en función del diseño y avances considerados. Las direcciones de los bancos estimadas para el análisis han sido las que se muestran en la tabla siguiente:

TABLA 6.1.- SENTIDO DE BUZAMIENTO Y BUZAMIENTO DE LOS TALUDES PRINCIPALES		
Talud	Dirección de buzamiento	Buzamiento
T-1	246	78
T-2	310	78
T-3	19	78

Considerando las familias de discontinuidades definidas en el estudio de fracturación, al hacer combinaciones de dos familias, se obtienen para cada sector y para cada dirección de banco considerado las combinaciones que se expresan en la tabla siguiente, en donde también se señalan las orientaciones medias de cada familia.

Juntas	Orientación		Juntas	Buz.	Dirección buz.
	So	J1 J2			
So	So-J1	So-J2	So	22,5	317,5
J1		J1-J2	J1	90	040
J2			J2	77	357

Los parámetros utilizados para el cálculo de cuñas, introducidos en el programa SWEDGE® V4 (2.002), de Rocscience, Inc., han sido:

- Dirección y buzamiento de las discontinuidades consideradas
- Dirección y buzamiento del talud de banco
- Altura de banco
- Dirección y buzamiento de berma

- Densidad de la roca
- Cohesión y ángulo de fricción interna de cada discontinuidad

Opcionalmente se puede introducir una grieta de tensión, especificada por la longitud de su traza sobre uno de los planos de las discontinuidades consideradas. También se puede introducir presión de agua y fuerzas externas y sísmicas, distintas a las propiamente gravitacionales.

El programa asume que la rotura se produce mediante deslizamiento traslacional, bien según uno de los planos de discontinuidad que limitan la cuña, bien por la línea intersección de dichos planos. El programa realiza siempre la proyección estereográfica de los planos considerados en el análisis y una salida gráfica de la cuña formada, con los cálculos de Factor de seguridad y características de la cuña. Si no se forman cuñas, el programa omite esta salida.

6.1. CUÑAS POTENCIALES

Analizada la rotura en cuña en el anexo II-1 para ángulos de talud de 85° como máximo, se muestra a continuación el análisis de la formación de cuñas para cada una de las direcciones de los bancos contemplados en el diseño con las diferentes combinaciones de juntas presentes.

De los 9 casos posibles de combinación de juntas, se forman cuñas en 6 de ellas, todas ellas estables.

Los datos más importantes sobre cada uno de los casos de formación de cuñas se muestran en la tabla siguiente.

TABLA 6.2. FORMACIÓN DE CUÑAS EN SITUACIÓN FINAL

Banco	Id	Juntas	FS	Peso (t)	Volumen (m³)	Cinemática
T1	1	S0-J1	2,93	19608,8	7843,5	Desliz. sobre intersección S0-J1
	2	S0-J2	5,05	72096,4	28838,6	Desliz. sobre intersección S0-J2
T2	3	S0-J1	2,54	422088	168835	Desliz. sobre intersección S0-J1
	4	S0-J2	4,82	474486	189794	Desliz. sobre intersección S0-J2
	5	J1-J2	3,29	166,4	66,6	Desliz. sobre intersección J1-J2
T3	6	S0-J1	2,47	6172,4	15431	Deslizamiento sobre J1

7. ROTURA PLANAR

El análisis de rotura planar se muestra el anexo II-1 "Estudio de estabilidad de los frentes de explotación en el desarrollo de la ampliación de la cantera de Echauri Tiebas S.A., en el municipio de Tiebas-Muruarte de Reta (Navarra)" realizado por GeoNavarra. Las relaciones geométricas de los planos de debilidad entre sí y con los taludes de los frentes examinados, muestra que existe la posibilidad de que se produzcan roturas planares y en cuña. No obstante, se obtienen en todos los casos factores de seguridad superiores a 1,2.

En la página 21 de dicho anexo II-1, aparece una frase ininteligible: "Las relaciones geométricas de los planos de debilidad entre sí y con los taludes de los frentes examinados muestran que existe una gran cierta a la producción roturas planares y en cuña", que corresponde a una errata en el informe realizado por Geonavarra, se refiere a que las direcciones de los planos de debilidad con los taludes de los frentes hace que exista altas posibilidades de que se produzcan roturas planares y en cuña. De hecho, se reconoce riesgo de desprendimiento y se estudia la estabilidad en quince situaciones aunque los factores de seguridad calculados se encuentran entre 1,56 y 2.

8. CONCLUSIONES

Los responsables de la cantera deben controlar las inestabilidades generadas por cuñas y los contactos con las margas. Para lograrlo, la empresa realizará la monitorización o auscultación anual de los frentes y taludes de la cantera por parte de una entidad externa, que preste especial atención al riesgo de inestabilidad por cuñas y de inestabilidades generadas por las margas. Cabe destacar, que en el presente proyecto, que contempla la explotación de la cantera hasta el año 2024, no se extraerá material margoso.

CRS Ingeniería

Octubre de 2016



INGENIERÍA Y CONSULTORÍA
EN RECURSOS DEL SUBSUELO, S.L.
C/ Raimundo Fdez. Villaverde, 53
28003 Madrid
Tel: 91 534 61 72 / 91 534 91 83
Fax: 91 534 91 83

Juan Ignacio Coullaut Santurtún

Ingeniero de Minas

Colegiado nº 3825CE

CANTERAS DE ECHAURI TIEBAS S.A.





ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE LOS FRENTES DE EXPLOTACIÓN EN EL DESARROLLO DE LA AMPLIACIÓN DE LA CANTERA DE ECHAURI TIEBAS S.A., EN EL MUNICIPIO DE TIEBAS-MURUARTE DE RETA (NAVARRA)



Servicios geológicos,
geotécnicos, hidrogeológicos
y medioambientales

Paseo de La Paz nº 1 oficina 4 31600 Burlada (Navarra)
948 076940 geonavarra@geonavarra.es

Octubre de 2.010

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS SUPERVISADO SUPERVISIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS CON SEGURO DE RESPONSABILIDAD CIVIL	
Fecha: 04/11/10	Folio: 0060	Núm: SV-0060-02
Colegiado: JOSÉ M ^º LEÓN ZUDAIRE "ET AL"		
El Secretario:		
		
Inscrito con el nº: 919		

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA	1
2. METODOLOGÍA	2
3. SITUACIÓN GEOLÓGICA GENERAL	3
3.1. GEOLOGÍA GENERAL DE LA ZONA	3
3.2. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LA SIERRA DE ALÁIZ	3
4. CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA EN ESTUDIO	5
5. ESTUDIO DE ESTABILIDAD	8
5.1. ROTURA PLANAR	11
5.2. ROTURA EN CUÑA	13
5.3. CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD	16
5.4. ROTURA POR DESPRENDIMIENTOS	18
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20

ANEJOS

ANEJO 1: Mapas

ANEJO 2: Tablas de Bieniawski y Barton

ANEJO 3: Representaciones estereográficas y tablas de estabilidades de discontinuidades

ANEJO 4: Ensayos de laboratorio

ANEJO 5: Fotografías

1.INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El presente estudio se realiza a petición de la empresa Canteras de Echauri y Tiebas, S. A., con el fin de analizar la estabilidad de la cantera de roca caliza que dicha empresa viene explotando en la Sierra de Alaiz, concretamente en el municipio de Tiebas-Muruarte de Reta. La explotación se encuentra al sur de la localidad de Tiebas.

En el año 1.995 se efectuó un estudio de la estabilidad de los frentes de la cantera debido al cambio que supuso el aumento de la altura de los bancos a 70 m. Posteriormente, en el año 2.005 se volvió a realizar un estudio geotécnico en el seno del proyecto de ampliación que tenía previsto rebajar la altura de bancos a 30 m, dejando bermas intermedias de 20 m de anchura. En el progreso de la explotación, según el proyecto citado, se ha solicitado el presente estudio de estabilidad de los nuevos frentes abiertos, con la premisa del mantenimiento de la altura de los frentes a 30 m.

1.2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

Este municipio está formado por los lugares de Muruarte de Reta y Tiebas, perteneciente al Partido Judicial de Aóiz y a la Merindad de Sangüesa. Se enmarca en la comarca geográfica de la Cuenca de Pamplona y dista de esta ciudad 14 kilómetros. Las comunicaciones con la misma enlazan carreteras locales con la Nacional N-121 Pamplona-Tudela y la autopista A-15. El municipio limita al norte con Galar y Elorz, al este y sur con Unzué y al oeste con Biurrun-Olcoz.

El clima es de tipo submediterráneo, con 800 a 1000 milímetros de precipitaciones caídas entre 80 y 100 días, entre 12º y 13º de temperatura media, más o menos 2 o 3 meses de aridez estival y unos 700-725 mm. de evapotranspiración potencial.

2.METODOLOGÍA

El estudio se ha basado en el reconocimiento sobre el terreno, de los planos de discontinuidad a favor de los cuales es más fácil que se produzcan las inestabilidades. Posteriormente se han representado todas las discontinuidades identificadas en proyecciones estereográficas con objeto de agruparlas en familias, y estudiar sus relaciones geométricas que determinarán la estabilidad del macizo. También se ha realizado una evaluación de las características geotécnicas de la roca. Finalmente se obtiene un factor de seguridad que, en función de su valor, indica la posibilidad de que se produzca un movimiento en el talud, o por lo contrario éste permanezca estable.

Se ha contado también con información de informes anteriores, realizados en esta explotación, y se ha examinado la cartografía geológica del Gobierno de Navarra a escala 1:25.000 de la hoja 141-IV (Elorz).

3.SITUACIÓN GEOLÓGICA GENERAL

3.1. GEOLOGÍA GENERAL DE LA ZONA

La mayor parte del territorio corresponde al ámbito geológico de la cuenca de Pamplona, constituida por sedimentos eocenos marinos. Por su situación, en el paso hacia la Navarra media, participa también en la sedimentación miocena de carácter continental, observable en un reducido afloramiento en Muruarte de Reta. Las rocas menos resistentes son margas y limolitas, que coinciden con las depresiones topográficas, y suelen estar parcialmente cubiertas por terrazas y glacis. Al este las calizas, calcarenitas y dolomías que forman la sierra de Alaiz (1156 m. en Carrascal), mucho más resistentes, han conservado casi intacta la pendiente estructural correspondiente a su flanco NO.

3.2. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LA SIERRA DE ALÁIZ

La Sierra de Aláiz está constituida por un anticlinal que limita la Cuenca de Pamplona por el SE, presentando en su sector oriental, una dirección E-O, mientras que a partir de Ezperun gira al SO. Se interpreta como un anticlinal desarrollado en el bloque de techo del cabalgamiento que flanquea por el sur esta misma Sierra y que representa el Cabalgamiento Frontal Pirenaico. Muy posiblemente se trata de un pliegue de "acomodación" cuya estructura da información sobre la posible geometría del bloque cabalgado. El anticlinal parece que se encuentra relativamente anclado en su extremo oriental permitiendo un aumento del desplazamiento hacia el oeste.

Este anticlinal es asimétrico, con el flanco norte muy desarrollado y un flanco sur invertido, que termina en el cabalgamiento. El núcleo está ocupado por materiales calcáreo-dolomíticos del Cretácico Superior y los flancos formados por materiales calcáreo-dolomíticos del Paleoceno-Eoceno.

La forma en arco de la estructura se acomoda a favor de fallas transversales a la traza de su eje, algunas de las cuales permiten el movimiento diferencial de bloques y se pueden calificar por lo tanto como pequeñas fallas de transformación del movimiento. Otras sin embargo, son fracturas de tensión radiadas que acomodan el arqueamiento de la estructura.

La cantera explota una gran masa calcárea que constituye un anticlinal asociado al anterior con una dirección aproximada E-O, sin vergencia apreciable, y que se sumerge hacia el oeste. Se trata de un pliegue periférico de amplio radio, subordinado a la gran estructura.

Puede distinguirse una parte inferior más tableada, constituida por bancos tabulares de espesor métrico y decimétrico. Los términos superiores corresponden a grandes bancos masivos de potencia métrica a decamétrica, que a techo poseen una superficie ferruginosa que la separa de la unidad posterior. Este conjunto calcáreo comprende una edad entre llerdiense a Luteciense inferior (Eoceno) y se correlaciona con la Formación Calizas de Guara.

La sierra de Aláiz es el reflejo de un accidente profundo que ha desplazado materiales mesozóicos y terciarios de origen marino, y forman una cadena de sierras prepirenaicas, que separan el ámbito pirenaico de la Cuenca del Ebro. Se extiende al sur de la Cuenca de Pamplona, siguiendo una dirección NE-SO, ligeramente arqueada que forma un complejo anticlinal. El flanco Norte está surcado por pequeños barrancos adaptados a la estructura; la vertiente meridional está recorrida por el arroyo de Artusia, que constituye uno de los ramales que dan lugar al río Cidacos.

4. CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA EN ESTUDIO

Como ya se ha referido en el anterior capítulo, el macizo rocoso en estudio está formado por un conjunto calcáreo bastante masivo, en el que los planos de estratificación están separados entre 0,50 y 1,60 m, aunque en ocasiones no se encuentran bien definidos. La actividad tectónica de la zona ha dejado su impronta en la roca en forma de un diaclasado distribuido en varias familias, con distintos grados de penetración, que definen litoclasas (bloque unitario) que raramente superan 1,50 m.

Con objeto de caracterizar el macizo rocoso se ha analizado siguiendo los criterios establecidos por Bieniawski (1979) y Barton (1974), que se exponen en los anejos correspondientes.

Se han recopilado una serie de ensayos de compresión simple según la norma UNE 22185, realizados dentro de las labores de control de calidad sobre seis probetas de muestras tomadas en la cantera, en los que se han obtenido los siguientes resultados.

Probeta nº	Resistencia (Kp/cm²)
1	658,0
2	895,0
3	678,6
4	791,9
5	911,1
6	781,4
Media	786,0

La **clasificación RMR** ("Rock Mass Rating") desarrollada por **Bieniawski** constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación. Tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa
- Grado de fracturación en términos del RQD ("Rock Quality Designation")
- Espaciado de las discontinuidades
- Condiciones de las discontinuidades
- Condiciones hidrogeológicas
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico del macizo se expresa por medio del índice de calidad RMR, que varía de 0 a 100. Teniendo en cuenta las distintas observaciones realizadas sobre la roca del macizo, se han considerado las siguientes puntuaciones:

1. Resistencia a la compresión simple: 786,0 kp/cm ² o 77,08 MPa	Puntuación: 7
2. R.Q.D.: ("Rock quality designation") índice de calidad de la roca: 75-90%	Puntuación: 17
3. Separación del diaclasado: Entre 0,6 y 2,0 m	Puntuación: 15
4. Estado de las discontinuidades: Longitud: Media 2,00 m. Entre 1 y 3 m	Puntuación: 4
Abertura: Media 2,5 mm Entre 1 y 5 mm	Puntuación: 1
Rugosidad: Rugosas a <u>onduladas</u>	Puntuación: 1
Relleno: Duro < 5 mm	Puntuación: 4
Alteración: Ligeramente alterada	Puntuación: 5
5. Agua freática: Estado general: Ligeramente húmedo	Puntuación: 10
Corrección por la orientación de las discontinuidades: Favorables	Puntuación: -5

La suma de estos valores arroja un índice RMR de 59 por lo que esta clasificación determina que se trata de una roca de **clase III o calidad media, aunque casi de clase II o calidad buena.**

Para estas calidades Bieniawski propone valores de ángulo de **rozamiento interno de la roca** entre 25° y 45°, y **cohesión** entre 2 y 4 kp/cm², por lo que para los cálculos y en este caso concreto se tomarán **34° y 3 kp/cm²**, respectivamente.

El ángulo de rozamiento interno de la caliza se verá disminuido en las zonas más superficiales del macizo calcáreo, conforme se comienzan a plantear nuevas excavaciones de frentes debido a la alteración sufrida por su situación superficial, dominada principalmente por el incremento de la abertura de juntas por efecto de fenómenos kársticos. Sin embargo, conforme progresa la excavación se observa que esta muestra características de roca sana en los primeros metros retirados.

A continuación se halla el índice de **calidad Q** de la roca según **Barton**, que se obtiene a partir de seis parámetros procedentes de la observación del macizo.

El índice viene dado por la expresión siguiente:

$$Q = (RQD / J_n) \cdot (J_r / J_a) \cdot (J_w / SRF)$$

Donde:

- RQD, es el índice de calidad de la roca.
- J_n, es el índice de diaclasado que indica el grado de fracturación del macizo rocoso
- J_r, es el índice de rugosidad de las discontinuidades o juntas
- J_a, es el índice que indica la alteración de las discontinuidades
- J_w, es un coeficiente reductor por la presencia de agua en las juntas.
- SRF, ("Stress reduction factor"), es un coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional del macizo rocoso.

En los anexos de este trabajo se encuentra la tabla de estimación de los parámetros que intervienen en el índice Q de Barton y el rango de variación de los mismos.

En este caso

- RQD = 80%
- J_n = 12 Tres familias y algunas diaclasas aleatorias, clase G
- J_r = 1,5 Diaclasas planas, rugosas o lisas, clase E
- J_a = 1,0 Planos de discontinuidad inalterados, superficies ligeramente manchadas,... clase B
- J_w = 1 Excavaciones secas clase A
- SRF = 1,0 Roca competente

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$Q = (80/12) \times (1,5/1) \times (1/1) = 10$$

Este valor indica que según esta clasificación se trata de una **roca entre calidad media y buena**, resultado semejante al obtenido a través del método de Bieniawski.

5. ESTUDIO DE ESTABILIDAD

Dadas las características de los taludes a excavar en la cantera se han estudiado dos posibles tipos de deslizamientos que pueden producirse, la rotura planar y la rotura en cuña, además de posible aparición de desprendimientos. Para ello se han realizado medidas de campo de direcciones de discontinuidades en el macizo rocoso como estratificación, juntas, diaclasas, etc, en **seis estaciones estructurales**. Se localizan en las zonas de ampliación de las explotaciones. Por su amplia distribución se puede poner de manifiesto la variabilidad en la dirección y características de los planos estudiados.

El resultado de estas mediciones se ha representado estereográficamente en falsillas estereográficas de Schmidt, en la que se determinan las distribuciones espaciales preferentes de los conjuntos de juntas, y de Wulff, para hallar las relaciones angulares entre éstas. Realizada esta operación se han podido diferenciar **seis familias** de discontinuidades principales, descartándose otras juntas anómalas por muy ocasionales, de escasa continuidad y penetración. La estratificación también se considera una discontinuidad principal, y queda incluida en las anteriormente reconocidas.

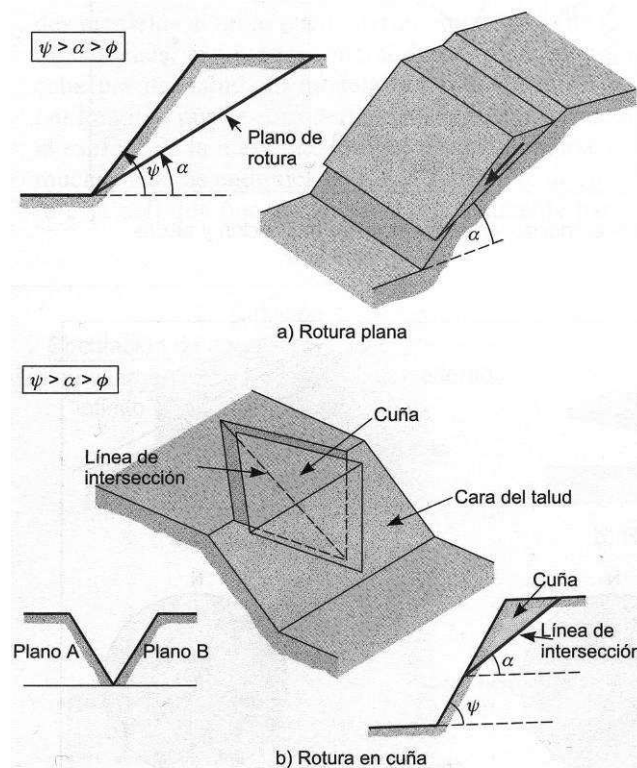


Figura 1.- Representación espacial de las rotura planar y en cuña

Se distinguen cinco familias de diaclasas, cuyas orientaciones y buzamientos se presentan en el siguiente cuadro:

Plano	Distribución espacial
J ₁	N70°E / 84,4°S
J ₂	N156,8°E / 79,9°N
J ₃	N7,2°E / 89,2°E
J ₄	N112,5°E / 81,5°N
J ₅	N34,1°E / 36,4°NO

A su vez se agrupan en dos familias aproximadamente ortogonales entre sí: J₁ con J₂, y J₃ con J₄. Estas cuatro familias poseen planos bastante verticalizados y es frecuente observar mineralizaciones de calcita y óxidos de hierro. En las estaciones estructurales nº 1 y 2 es común la aparición de oligisto y limonita en estas discontinuidades. Las más penetrantes en la roca y a su vez las más frecuentes son J₁ y J₄. La última familia de diaclasas-fracturas (J₅) corta a todas las anteriores y posee un buzamiento más tendido y es frecuente en todas las estaciones, aunque poco abundante.

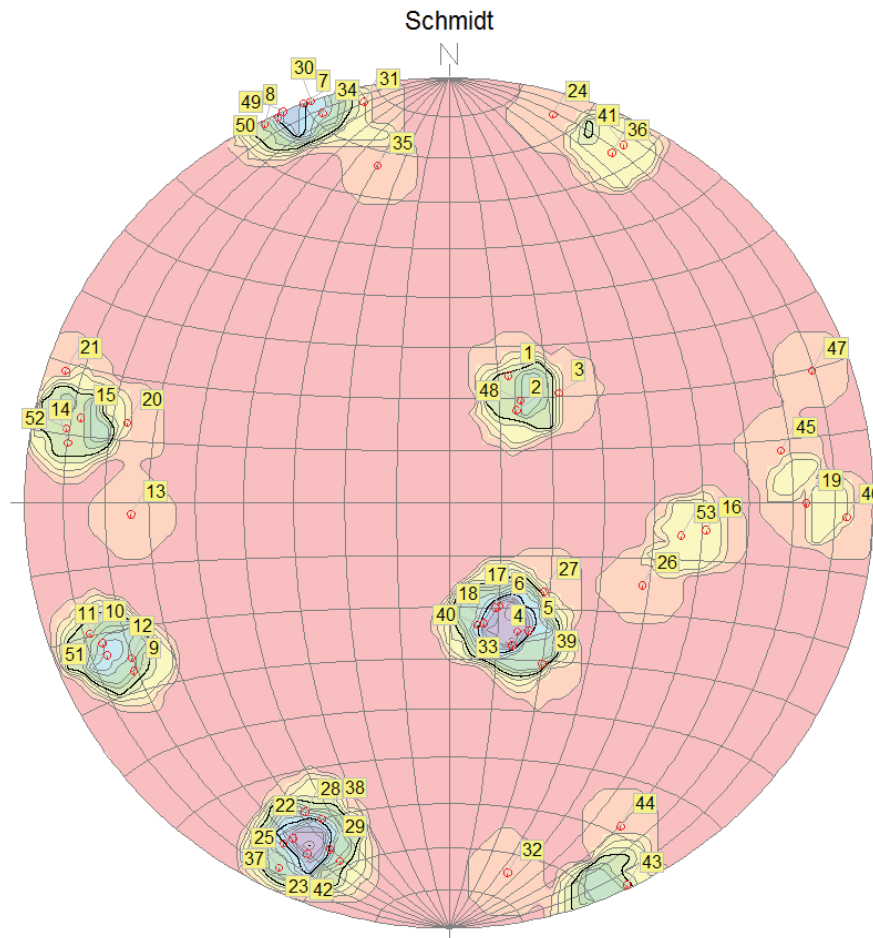


Figura 2.- Diagrama de densidad de polos de los planos de discontinuidad existentes en las estaciones. Schmidt (equiareal).

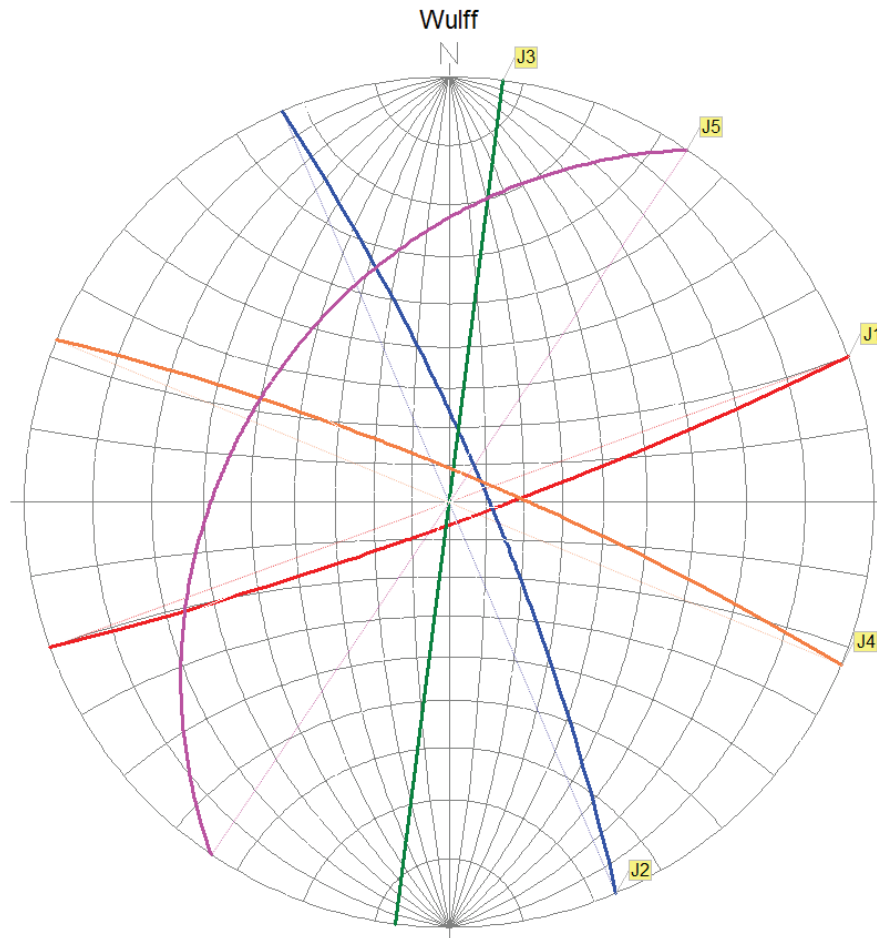


Figura 3.- Representación estereográfica de los planos de diaclasa que han sido identificados en las estaciones estructurales. Wulff (equiangular).

La estratificación posee distintos valores según dónde haya sido tomada la medida, puesto que la cantera excava un anticlinal, cuyo eje posee una dirección aproximada E-O y con valores de buzamiento entre 22° y 30°. Tampoco todas las familias de diaclasas aparecen en todas las estaciones estudiadas, pudiendo faltar hasta dos de éstas.

Los datos recogidos en el examen de campo muestran una clara constancia direccional de las distintas familias de diaclasas. Este hecho favorece su tratamiento geométrico, por lo que en este estudio se asume el valor medio de las medidas como el más representativo. Sin embargo, para cada estación tanto los planos de estratificación como la orientación de los frentes es variable. En los anejos se muestran las representaciones estereográficas de cada una de las estaciones.

A continuación se presenta el estudio de estabilidad según el tipo de deslizamiento considerado para cada una de las seis estaciones estudiadas.

5.1. ROTURA PLANAR

Se produce a favor de una superficie preexistente, que puede ser la estratificación, una junta tectónica, una falla, etc. La condición básica es la presencia de discontinuidades buzando a favor del talud y con su misma dirección, cumpliéndose la condición de que la discontinuidad debe estar descalzada por el talud (ángulo del talud > ángulo superficie junta) ($\psi > \alpha$) y su buzamiento debe ser mayor que su ángulo de rozamiento interno ($\alpha > \varphi$).

Con las anteriores premisas se analizan los datos para cada una de las estaciones estructurales y se muestran en tablas a continuación. Los posibles deslizamientos que pueden producirse se encuentran resaltados:

ESTACION nº 1

Caso	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento del plano (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (φ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
E ₁	85° NO	26.1° SO	34°	En contra	$\psi > \alpha < \varphi$
J ₁	85° NO	88.4° S	34°	En contra	$\psi < \alpha > \varphi$
J ₂	85° NO	79.9° N	34°	En contra	$\psi > \alpha > \varphi$
J ₃	85° NO	89.2° E	34°	En contra	$\psi < \alpha > \varphi$
J₅	85° NO	36.4° NO	34°	A favor	$\psi > \alpha > \varphi$

ESTACION nº 2

Caso	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento del plano (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (φ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
E ₂	85° NO	27° N	34°	A favor	$\psi > \alpha < \varphi$
J ₁	85° NO	88.4° S	34°	En contra	$\psi < \alpha > \varphi$
J ₂	85° NO	79.9° N	34°	En contra	$\psi > \alpha > \varphi$
J ₃	85° NO	89.2° E	34°	En contra	$\psi < \alpha > \varphi$
J₅	85° NO	36.4° NO	34°	A favor	$\psi > \alpha > \varphi$

ESTACION nº 3

Caso	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento del plano (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (φ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
E ₃	85° NO	23° SO	34°	En contra	$\psi > \alpha < \varphi$
J ₃	85° NO	89.2° E	34°	En contra	$\psi < \alpha > \varphi$
J ₄	85° NO	81.5° N	34°	En contra	$\psi < \alpha > \varphi$
J₅	85° NO	36.4° NO	34°	A favor	$\psi > \alpha > \varphi$

ESTACION nº 4

Caso	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento del plano (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (ϕ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
E ₄	85° N	25° SO	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
J ₁	85° N	88.4° S	34°	En contra	$\psi < \alpha > \phi$
J₄	85° N	81.5° N	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$
J₅	85° N	36.4° NO	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$

ESTACION nº 5

Caso	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento del plano (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (ϕ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
E ₅	85° N	24° SO	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
J ₁	85° N	88.4° S	34°	En contra	$\psi < \alpha > \phi$
J₄	85° N	81.5° N	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$
J₅	85° N	36.4° NO	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$

ESTACION nº 6

Caso	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento del plano (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (ϕ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
E ₆	85° NO	24° SO	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
J ₁	85° NO	88.4° S	34°	En contra	$\psi < \alpha > \phi$
J ₂	85° NO	79.9° N	34°	En contra	$\psi > \alpha > \phi$
J ₃	85° NO	89.2° E	34°	En contra	$\psi < \alpha > \phi$
J₄	85° NO	81.5° N	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$

Las relaciones de los planos de debilidad con los taludes de los frentes examinados muestran cierta resistencia a la producción de deslizamientos. En todas las estaciones pueden producirse deslizamientos, sobre todo por el plano de fractura J₅ y en menor medida por el plano J₄, aunque la esporádica presencia de la primera junta minimiza el riesgo de deslizamientos. De todas las combinaciones posibles aparecen ocho que pueden producir deslizamientos planares. Sin embargo, en cinco de ellos el ángulo de rozamiento interno de la roca es muy próximo al buzamiento del plano de la familia J₅, por lo que la posibilidad de inestabilidades se ve reducida.

Se aprecia como la orientación de los taludes tiende a acomodarse a la dirección de los planos de discontinuidad más verticalizados y penetrativos. La rotura por estos planos facilita las labores de extracción, controlando en mayor medida los volúmenes de roca que vayan a desprenderse. Es el caso de los frentes correspondientes a las estaciones nº 1, 5 y 6 que tienden a ajustarse a los planos de diaclasado J₁ y J₂.

5.2. ROTURA EN CUÑA

Corresponde al deslizamiento de un bloque en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad, a favor de su línea de intersección. Para que se produzca este tipo de rotura, análogamente al caso de la rotura planar, deben cumplirse dos condiciones:

(a) $\psi > \alpha > \varphi$

ψ ángulo del talud (se considera 85° como máximo)

α buzamiento de la línea de intersección.

φ ángulo de rozamiento interno de la roca (34°)

(b) La línea de intersección debe buzarse a favor del talud y con una dirección semejante.

En los taludes estudiados en cada una de las estaciones, los planos de discontinuidad observados son seis, cinco familias de diaclasas más el definido por la estratificación. A continuación se muestra el resultado del análisis geométrico de los planos que aparecen en cada una de las estaciones.

ESTACION nº 1

Caso	Lineación	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento de la lineación (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (φ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
L ₁	E ₁ -J ₁	85° NO	22,2° O	34°	En contra	$\psi > \alpha < \varphi$
L ₂	E ₁ -J ₂	85° NO	13,3° S	34°	En contra	$\psi > \alpha < \varphi$
L ₃	E ₁ -J ₃	85° NO	23,2° S	34°	En contra	$\psi > \alpha < \varphi$
L ₄	E ₁ -J ₅	85° NO	22,4° O	34°	En contra	$\psi > \alpha < \varphi$
L ₅	J ₁ -J ₂	85° NO	79,7° O	34°	En contra	$\psi > \alpha > \varphi$
L ₆	J ₁ -J ₃	85° NO	88,4° SE	34°	En contra	$\psi < \alpha > \varphi$
L ₇	J ₁ -J ₅	85° NO	23,0° O	34°	En contra	$\psi > \alpha < \varphi$
L₈	J₂-J₃	85° NO	71,8° N	34°	A favor	$\psi > \alpha > \varphi$
L ₉	J ₂ -J ₅	85° NO	30,0 N	34°	A favor	$\psi > \alpha < \varphi$
L ₁₀	J ₃ -J ₅	85° NO	18,3° S	34°	A favor	$\psi > \alpha < \varphi$

ESTACION nº 2

Caso	Lineación	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento de la lineación (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (ϕ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
L ₁	E ₂ -J ₁	85° NO	3,7° O	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L ₂	E ₂ -J ₂	85° NO	26,7° N	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L ₃	E ₂ -J ₃	85° NO	22,7° N	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L ₄	E ₂ -J ₅	85° NO	25,4° N	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L ₅	J ₁ -J ₂	85° NO	79,7° O	34°	En contra	$\psi > \alpha > \phi$
L ₆	J ₁ -J ₃	85° NO	88,4° SE	34°	En contra	$\psi < \alpha > \phi$
L ₇	J ₁ -J ₅	85° NO	23,0° O	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L₈	J₂-J₃	85° NO	71,8° N	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$
L ₉	J ₂ -J ₅	85° NO	30,0 N	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L ₁₀	J ₃ -J ₅	85° NO	18,3° S	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$

ESTACION nº 3

Caso	Lineación	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento de la lineación (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (ϕ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
L ₁	E ₃ -J ₃	85° NO	20,7° N	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
L ₂	E ₃ -J ₄	85° NO	15,3° O	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
L ₃	E ₃ -J ₅	85° NO	9,4° N	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L ₄	J ₃ -J ₄	85° NO	81,4° N	34°	En contra	$\psi > \alpha > \phi$
L ₅	J ₃ -J ₅	85° NO	18,3° N	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L₆	J₄-J₅	85° NO	36,3° O	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$

ESTACION nº 4

Caso	Lineación	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento de la lineación (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (ϕ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
L ₁	E ₄ -J ₁	85° N	12,1° O	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L ₂	E ₄ -J ₄	85° N	23,1° O	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
L ₃	E ₄ -J ₅	85° N	2,5° N	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
L ₄	J ₁ -J ₄	85° N	73,1° O	34°	En contra	$\psi > \alpha > \phi$
L ₅	J ₁ -J ₅	85° N	23,0° O	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
L₆	J₄-J₅	85° N	36,3° O	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$

ESTACION nº 5

Caso	Lineación	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento de la lineación (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (ϕ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
L ₁	E ₅ -J ₁	85° N	12,7° O	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L ₂	E ₅ -J ₄	85° N	22,6° O	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
L ₃	E ₅ -J ₅	85° N	1,6° N	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
L ₄	J ₁ -J ₄	85° N	73,1° O	34°	En contra	$\psi > \alpha > \phi$
L ₅	J ₁ -J ₅	85° N	23,0° O	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
L₆	J₄-J₅	85° N	36,3° O	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$

ESTACION nº 6

Caso	Lineación	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento de la lineación (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (φ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
L ₁	E ₆ -J ₁	85° NO	3,1° E	34°	En contra	$\psi > \alpha < \varphi$
L ₂	E ₆ -J ₂	85° NO	23,9° S	34°	A favor	$\psi > \alpha < \varphi$
L ₃	E ₆ -J ₃	85° NO	22,6° E	34°	A favor	$\psi > \alpha < \varphi$
L ₄	E ₆ -J ₄	85° NO	15,3° N	34°	A favor	$\psi > \alpha < \varphi$
L ₅	J ₁ -J ₂	85° NO	73,1° O	34°	En contra	$\psi > \alpha > \varphi$
L ₆	J ₁ -J ₃	85° NO	88,4° SE	34°	En contra	$\psi < \alpha > \varphi$
L ₇	J ₁ -J ₄	85° NO	75,8° E	34°	En contra	$\psi > \alpha > \varphi$
L₈	J₂-J₃	85° NO	71,8° N	34°	A favor	$\psi > \alpha > \varphi$
L ₉	J ₂ -J ₄	85° NO	79,8° NE	34°	En contra	$\psi > \alpha > \varphi$
L₁₀	J₃-J₄	85° NO	80,6° S	34°	A favor	$\psi > \alpha > \varphi$

Como ya se ha indicado, para que se produzcan roturas de este tipo debe cumplirse la condición siguiente: ($\psi > \alpha > \varphi$), además de que el buzamiento de la lineación sea a favor del talud. En este sentido, se observa que en la mayoría de los casos, para un ángulo de talud máximo de 85° con diversas orientaciones, como distintos planos de estratificación para cada una de las estaciones consideradas no se cumplen estas condiciones. Sin embargo, existen algunas combinaciones de planos que pueden posibilitar el movimiento de bloques calcáreos por rotura en cuña, al cumplir las condiciones señaladas:

Estación estructural	Caso	Lineación	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento de la lineación (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (φ)
nº 1	L ₈	J ₂ -J ₃	85° NO	71,8° N	34°
nº 2	L ₈	J ₂ -J ₃	85° NO	71,8° N	34°
nº 3	L ₆	J ₄ -J ₅	85° NO	36,3° O	34°
nº 4	L ₆	J ₄ -J ₅	85° N	36,3° O	34°
nº 5	L ₆	J ₄ -J ₅	85° N	36,3° O	34°
nº 6	L ₈	J ₂ -J ₃	85° NO	71,8° N	34°
nº 6	L ₁₀	J ₃ -J ₄	85° NO	80,6° S	34°

De todas las combinaciones geométricas y según el rozamiento interno de la roca (34°), solamente siete combinaciones pueden producir roturas en cuña.

Es importante tener en cuenta la dispersión de orientaciones existente en cada una de las familias de discontinuidades, que con valores extremos desfavorables, se pueden llegar a movilizar cuñas rocosas sin necesidad de alcanzar valores angulares tan elevados.

5.3. CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD

El cálculo de la estabilidad se efectúa a partir de la siguiente fórmula:

$$F.S. = \frac{\text{Fuerzas.resistentes.}(Fr)}{\text{Fuerzas.desestabilizadoras.}(Fd)}$$

$$Fr = Z \cdot L$$

Siendo L la longitud de rotura a lo largo de la cual actúan las fuerzas resistentes, suponiendo por comodidad que éstas son constantes.

$$Fd = W \cdot \text{sen}(\xi - \mu)$$

Siendo W el peso del triángulo inestable y ξ y μ los ángulos del talud de desmonte y del buzamiento de la discontinuidad, respectivamente.

Sustituyendo:

$$F.S. = \frac{Zn \cdot \text{tg}[JRC \cdot \log_{10}(JCS / Zn) + \varphi] \cdot L}{W \cdot \text{sen}\mu}$$

Suponiendo que $Zn = W/L$

$$F.S. = \frac{\text{tg}[JRC \cdot \log_{10}(JCS \cdot L / W) + \varphi]}{\text{sen}\mu}$$

$$F.S. = \frac{\text{tg}(JRC \cdot \log_{10}[(2 \cdot JCS \cdot \text{sen}(\xi) / (f \cdot H \cdot \text{sen}(\xi - \mu)))] + \varphi)}{\text{sen}(\mu)}$$

En la determinación del factor de seguridad para cada una de las situaciones en las que pueden producirse roturas a favor de los planos de discontinuidad presentes, se dispone de información correspondiente a la resistencia de la roca, del que se toma el valor medio, y de la densidad de la roca. Los taludes deben poseer una altura máxima de 30 metros y se considera que el ángulo de éstos respecto del plano horizontal es de 85°.

El ángulo de rozamiento interno, determinado en la evaluación del índice de calidad de la roca por Bieniawski, se refiere a una roca calcárea sana (34°). Sin embargo, las zonas del macizo más superficiales, en la apertura de los nuevos frentes y en las

zonas más elevadas, la calidad del macizo rocoso decrece por efecto de la alteración. Para poder evaluar esta circunstancia se considera que estos volúmenes rocosos poseen una calidad media a baja, por lo que se toma el valor de 25° como ángulo de rozamiento interno de la roca.

μ = ángulo de los planos de deslizamiento (**variable**)

f = densidad de la roca (**2,50 t/m³**)

H = altura máxima del talud general (**30,00 m**)

φ = ángulo de rozamiento interno de la roca (**25° - 34°**)

ε = ángulo general de talud (**85°**)

Resistencia a la compresión simple **77,08 MPa (786,0 kg/cm²)***


*JCS ("Joint wall Compressive Strength"): Es la resistencia a la compresión de las paredes de la litoclasea. Si la junta no está alterada, el valor que se obtiene es el de la resistencia a la compresión simple de la roca y si las paredes de la litoclasea sí estuviesen alteradas podría llegar a ser la cuarta parte de este valor. En este caso se le aplica el valor de tres cuartos de la resistencia debido a que se han observado algunos signos de alteración en las juntas de diaclasa, por lo que queda finalmente: **JCS = 786 x 3/4 = 589,5.**


*JRC ("Joint Roughness Coefficient"): Índice empírico que califica el tipo de rugosidad atendiendo a criterios específicos. Es el coeficiente de rugosidad de las litoclaseas, puede oscilar entre 0 para juntas lisas y planas hasta 20 para juntas rugosas y onduladas. En nuestro caso el valor que se ha tomado es 10, valor intermedio entre juntas lisas y rugosas. **JRC = 12.**

Sustituyendo los anteriores datos en la fórmula, según se trate de un tipo de roca u otro, se obtiene para las distintas combinaciones de planos los siguientes resultados:

ROTURA PLANAR

Estación estructural	Caso	Buzamiento del plano o lineación (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (φ)	Factor de seguridad (FS)
nº 1	J ₅	36,4° NO	25°	1,46
			34°	2,00
nº 2	J ₅	36,4° NO	25°	1,46
			34°	2,00
nº 3	J ₅	36,4° NO	25°	1,46
			34°	2,00
nº 4	J ₄	81,5° N	25°	1,39
			34°	1,98
nº 4	J ₅	36,4° NO	25°	1,46
			34°	2,00
nº 5	J ₄	81,5° N	25°	1,39
			34°	1,98
nº 5	J ₅	36,4° NO	25°	1,46
			34°	2,00
nº 6	J ₄	81,5° N	25°	1,39
			34°	


ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
 SUPERVISADO
 SUPERVISIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
 CON SEGURO DE RESPONSABILIDAD CIVIL

Fecha: 04/11/10 Folio: 0060 Núm: SV-0060-02
 Colegiado: JOSÉ M^o LEÓN ZUDAIRE "ET AL"
 17 El Secretario: 
 Inscrito con el nº: 919

ROTURA EN CUÑA

Estación estructural	Caso	Lineación	Buzamiento del plano o lineación (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (φ)	Factor de seguridad (FS)
nº 1	L ₈	J ₂ -J ₃	71,8° N	25°	1,46
				34°	2,00
nº 2	L ₈	J ₂ -J ₃	71,8° N	25°	1,29
				34°	1,81
nº 3	L ₆	J ₄ -J ₅	36,3° O	25°	1,46
				34°	2,00
nº 4	L ₆	J ₄ -J ₅	36,3° O	25°	1,14
				34°	1,58
nº 5	L ₆	J ₄ -J ₅	36,3° O	25°	1,18
				34°	1,64
nº 6	L ₈	J ₂ -J ₃	71,8° N	25°	1,13
				34°	1,56
nº 6	L ₁₀	J ₃ -J ₄	80,6° S	25°	1,33
				34°	1,88

Como puede observarse para ángulos de rozamiento interno propios de la roca sana, los factores de seguridad resultantes para rotura planar son superiores al mínimo requerido por la Autoridad Minera (FS = 1,2), encontrándose entre 1,98 y 2,00.

No es el caso en el supuesto de la roca alterada, puesto que en las estaciones nº 4, 5 y 6 el valor de factor de seguridad, en combinaciones de planos que pueden producir rotura en cuña, se encuentra por debajo del mínimo señalado en algunos casos, con valores entre 1,13 y 1,18. Para el resto de estaciones se sitúa entre 1,29 y 1,46. En el caso de la rotura planar para el caso de la roca meteorizada, los valores del factor de seguridad se encuentran por encima del mínimo considerado, entre 1,39 y 1,46. Como ya se ha comentado, estos valores serán aplicables en las zonas alteradas superficiales o cuando en el avance del frente se descubran zonas descompuestas y/o karstificadas.

5.4. ROTURA POR DESPRENDIMIENTOS

Se define como desprendimiento, una masa separada de un talud de desmonte mediante una superficie de corte, normalmente pequeña, cuyo recorrido de caída se realiza en gran parte a través del aire o por rodamiento y rebote.

Frecuentemente estas inestabilidades afectan a bloques aislados, aunque también pueden afectar a masas rocosas. Los mecanismos que pueden conducir a estas

inestabilidades, generalmente sucesivos y complementarios, son: meteorización o extrusión de capas blandas, concentración de presiones en el borde y rotura por flexotracción.

Estos desprendimientos pueden aparecer durante la realización del talud, como con posterioridad, concentrándose sobre todo en la parte alta del desmonte, que aprovechando las familias de diaclasas y la estratificación, puede reducir la roca a bloques decimétricos. Es probable que suceda este hecho tras observar que la parte superior del talud se encuentra más alterada que el interior del macizo rocoso descubierto.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio se realiza a petición de la empresa Canteras de Echauri y Tiebas, S. A., con el fin de analizar la estabilidad de la cantera de roca caliza que dicha empresa explota en la Sierra de Alaiz, municipio de Tiebas-Muruarte de Reta. La explotación se encuentra al sur de la localidad de Tiebas.

Concretamente se estudia la estabilidad de los nuevos frentes abiertos, y la progresión de los ya existentes, en el seno del nuevo proyecto de explotación que reduce la altura máxima de éstos de 70 m a 30 m, dejando bermas intermedias de 20 m de anchura.

El estudio se ha basado en el reconocimiento sobre el terreno, de los planos de discontinuidad a favor de los cuales es más fácil que se produzcan inestabilidades. Posteriormente se han representado todas las discontinuidades identificadas en proyecciones estereográficas con objeto de agruparlas en familias, y estudiar sus relaciones geométricas que determinarán la estabilidad del macizo. También se ha realizado una evaluación de las características geotécnicas de la roca. Finalmente se obtienen factores de seguridad que, en función de su valor, indican la posibilidad de que se produzca un movimiento en el talud, o por lo contrario éste permanezca estable.

La cantera explota la parte occidental del macizo calcáreo que constituye la Sierra de Aláiz. Este importante relieve se extiende al sur de la Cuenca de Pamplona siguiendo una dirección NE-SO ligeramente arqueada. La estructura de la sierra corresponde a un anticlinal cabalgante sobre los materiales terciarios continentales de la Cuenca del Ebro. La cantera descubre un anticlinal de amplio radio que posee un eje con dirección E-O que se sumerge hacia el oeste.

Las calizas de la sierra de Alaiz se prestan por su calidad y su proximidad a Pamplona, a la producción de áridos para la construcción. Hoy en día se están comercializando las calizas, calcarenitas del Luteciense superior y los bancos inferiores del Biarritziense de la falda NO de la sierra de Alaiz.

Los ensayos de laboratorio sobre seis probetas de roca revelan un resistencia a la compresión simple de 786,0 kp/cm². Según las determinaciones de Bieniawski y Barton se trata de una roca de calidad media-buena, el índice R.M.R. de Bieniawski tiene un valor de 59 (entre clase II y III) y el índice Q de Barton es de 10, que califica a la roca entre calidad media y buena.

El ángulo de rozamiento interno de la roca se estima entonces en 34° , con una cohesión en torno a 3 kp/cm^2 . Estos datos valores se estiman según Bieniawski. Sin embargo, las zonas del macizo más superficiales, en la apertura de los nuevos frentes y en las zonas más elevadas, la calidad del macizo rocoso decrece por efecto de la alteración. En estas circunstancias se considera que estos volúmenes rocosos poseen una calidad media a baja, por lo que se toma el valor de 25° como ángulo de rozamiento interno de la roca.


Se han realizado seis estaciones estructurales en varios frentes de la cantera y se han identificado cinco familias de planos de diaclasas (dos pares aproximadamente perpendiculares y verticalizados, con una quinta más tendida que corta a las demás) y se reconocen con facilidad los planos de estratificación, pero al tratarse de un anticlinal, poseen distintas orientaciones según la estación donde se haya tomado el dato.


Plano	Distribución espacial
J ₁	N70°E / 84,4°S
J ₂	N156,8°E / 79,9°N
J ₃	N7,2°E / 89,2°E
J ₄	N112,5°E / 81,5°N
J ₅	N34,1°E / 36,4°NO

Las relaciones geométricas de los planos de debilidad entre sí y con los taludes de los frentes examinados muestran que existe una gran cierta a la producción roturas planares y en cuña. En quince situaciones se reconoce riesgo de desprendimiento. Si se considera la roca sana, los factores de seguridad calculados se encuentran entre 1,56 y 2,00, por lo que son superiores al mínimo recomendado por la Autoridad Minera (FS = 1,20).

ROTURA PLANAR

Estación estructural	Caso	Buzamiento del plano o lineación (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (φ)	Factor de seguridad (FS)
nº 1	J ₅	36,4° NO	25°	1,46
			34°	2,00
nº 2	J ₅	36,4° NO	25°	1,46
			34°	2,00
nº 3	J ₅	36,4° NO	25°	1,46
			34°	2,00
nº 4	J ₄	81,5° N	25°	1,39
			34°	1,98
nº 4	J ₅	36,4° NO	25°	1,46
			34°	2,00
nº 5	J ₄	81,5° N	25°	1,39
			34°	1,98
nº 5	J ₅	36,4° NO	25°	1,46
			34°	2,00
nº 6	J ₄	81,5° N	25°	1,39
			34°	


ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
SUPERVISADO
SUPERVISIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
CON SEGURO DE RESPONSABILIDAD CIVIL

Fecha: 04/11/10 Folio: 0060 Núm: SV-0060-02
 Colegiado: JOSÉ M^º LEÓN ZUDAIRE "ET AL"
 21 El Secretario: 
 Inscrito con el nº: 919

ROTURA EN CUÑA

Estación estructural	Caso	Lineación	Buzamiento del plano o lineación (α)	Angulo rozam. interno de la roca (φ)	Factor de seguridad (FS)
nº 1	L ₈	J ₂ -J ₃	71,8° N	25°	1,46
				34°	2,00
nº 2	L ₈	J ₂ -J ₃	71,8° N	25°	1,29
				34°	1,81
nº 3	L ₆	J ₄ -J ₅	36,3° O	25°	1,46
				34°	2,00
nº 4	L ₆	J ₄ -J ₅	36,3° O	25°	1,14
				34°	1,58
nº 5	L ₆	J ₄ -J ₅	36,3° O	25°	1,18
				34°	1,64
nº 6	L ₈	J ₂ -J ₃	71,8° N	25°	1,13
				34°	1,56
nº 6	L ₁₀	J ₃ -J ₄	80,6° S	25°	1,33
				34°	1,88

No es el caso en el supuesto de la roca alterada, puesto que en las estaciones nº 4, 5 y 6 el valor de factor de seguridad, en combinaciones de planos que pueden producir rotura en cuña, se encuentra por debajo del mínimo señalado en algunos casos, con valores entre 1,13 y 1,18. Para el resto de estaciones se sitúa entre 1,29 y 1,46. En el caso de la rotura planar para el caso de la roca meteorizada, los valores del factor de seguridad se encuentran por encima del mínimo considerado, entre 1,39 y 1,46. Como ya se ha comentado, estos valores serán aplicables en las zonas alteradas superficiales o cuando en el avance del frente se descubran zonas descompuestas y/o karstificadas.

Según la disposición geométrica de las distintas familias de juntas y de estratificación respecto a los taludes considerados, el estudio muestra la existencia de combinaciones inestables. Sin embargo, para el caso de rotura planar el factor de seguridad se encuentra siempre por encima del recomendado por la Autoridad Minera, no siendo así en algunas circunstancias de rotura en cuña, cuando la roca considerada está alterada.

Como se ha comprobado, la zona de alteración del macizo es bastante superficial, progresando unos metros en las capas y dependiendo de la densidad de fracturación existente. Este paquete más superficial, y tendente con más facilidad a la producción de inestabilidades, es conocido por la aparición de roturas planares y en cuña, que provocan desprendimientos de fragmentos y bloques de roca en la parte alta del talud. Este fenómeno es conocido y por este motivo los técnicos de la cantera, durante la planificación de las voladuras y en el progreso de la excavación, evalúan el riesgo de inestabilidades y deciden en numerosos casos evacuar este volumen rocoso, o

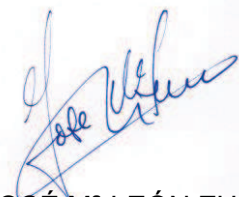
simplemente sanear la parte alta del talud para descubrir la roca sana cuando esta alteración es escasa.

La coincidencia de la orientación de los taludes, que forman los frentes de excavados, con las familias de diaclasas existentes responde a la búsqueda de una explotación mejor planificada, más eficaz y segura. De esta forma, tanto la voladura de los bancos como su laboreo son más eficientes, previendo con más facilidad qué volúmenes de roca se desprenden cada vez, favoreciendo el control del comportamiento del macizo calcáreo.

Burlada, 20 de octubre de 2.010





Fdo. : CELSO GIL MARÍN
- GEÓLOGO Col. Nº 5.957 -





Fdo.: JOSÉ Mª LEÓN ZUDAIRE
- GEÓLOGO Col. Nº 919 -

ANEJOS

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS SUPERVISADO SUPERVISIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS CON SEGURO DE RESPONSABILIDAD CIVIL		
	Fecha: 04/11/10	Folio: 0060	Núm: SV-0060-02
Colegiado: JOSÉ Mª LEÓN ZUDAIRE "ET AL"			
Anejos		El Secretario:	
Inscrito con el nº: 919			

ANEJO 1

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS		
	SUPERVISADO SUPLIMIENTO DE ANEJOS Y PROYECTOS CON SEGURO DE RESPONSABILIDAD CIVIL		
MAPAS			
Fecha: 04/11/10	Folio: 0060	Núm: SV-0060-02	
Colegiado: JOSÉ M ^a LEÓN ZUDAIRE "ET AL"			
Anejos		El Secretario:	
Inscrito con el n ^o : 919			



Mapa nº 1.- Situación de la cantera en Tiebas.

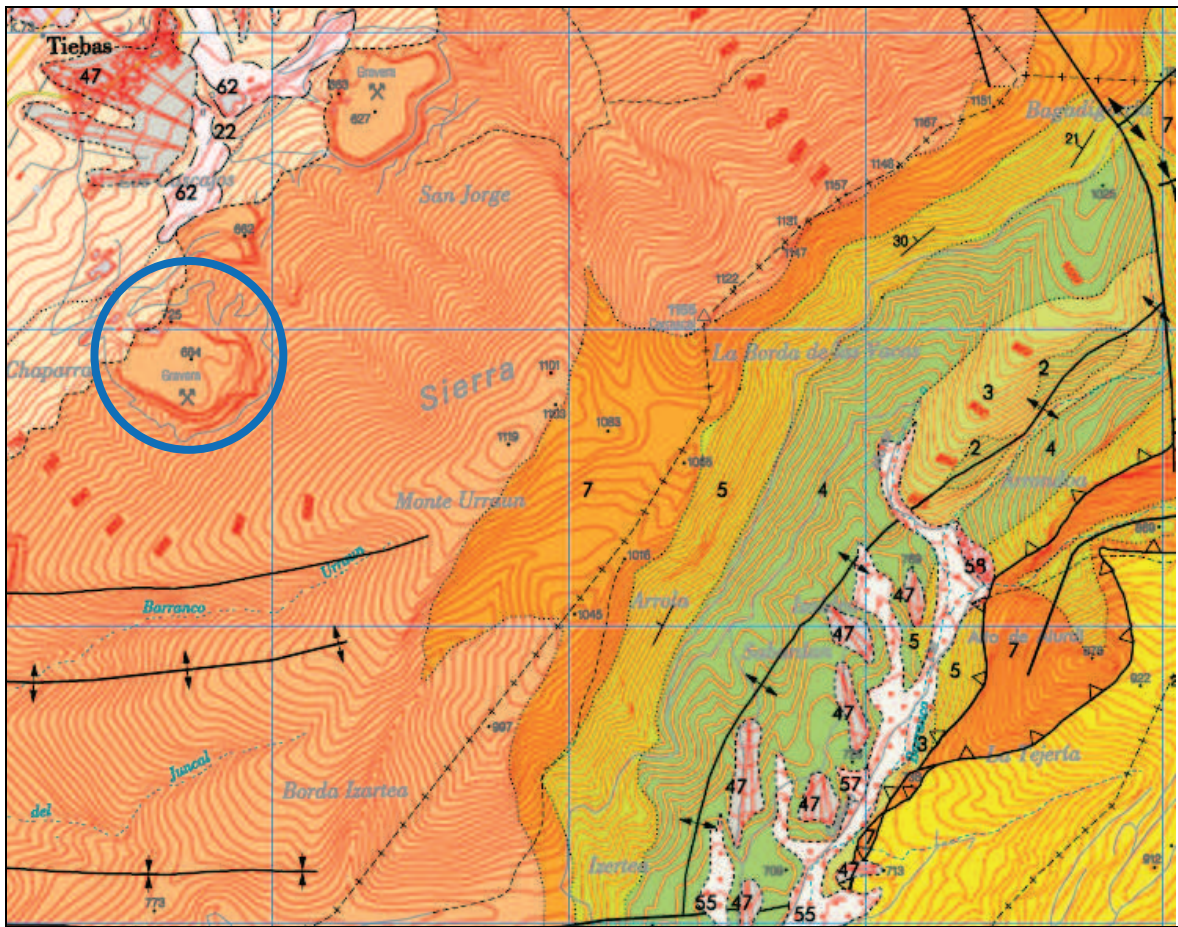


Mapa nº 2.- Representación topográfica de la cantera estudiada. Escala 1:10.000

MAPA GEOLÓGICO

Cuadrícula de 1 km de lado

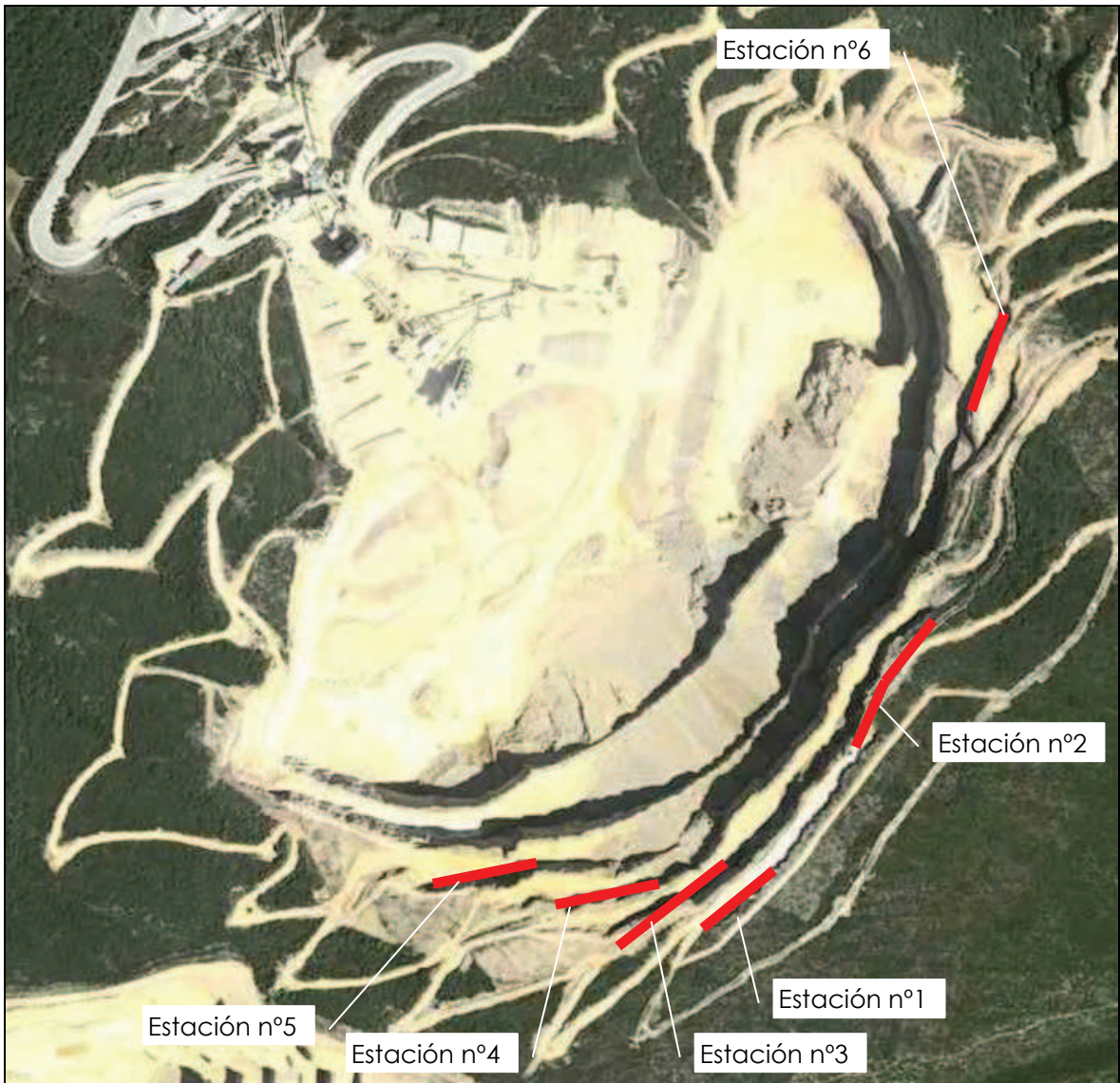
Tomado de la Hoja 141-IV (Elorz) de la Cartografía Geológica 1:25.000 (Gobierno de Navarra).



Leyenda

- 2.- Areniscas con cemento calcáreo. Santoniense (Cretácico superior)
- 3.- Calizas arenosas. Santoniense (Cretácico superior)
- 4.- Margas grises y margocalizas. Campaniense (Cretácico superior)
- 5.- Arenas, areniscas conglomeráticas y dolomías a techo. Maastrichtiense (Cretácico superior)
- 7.- Calizas dolomíticas. (Paleoceno)
- 9.- Calizas masivas y tableadas. Ilerdiense – Luteciense (Eoceno)**
- 18.- Calcarenitas y margas. Bartonense (Eoceno)
- 22.- Margas grises. "Margas de Pamplona". Bartonense-Priabonense (Eoceno)
- 47.- Gravas, arenas y arcillas. Glacis. (Cuaternario)
- 55.- Arcillas, arenas, cantos y gravas. Aluvial y fondos de valle. Holoceno (Cuaternario)
- 58.- Arcillas, arenas, gravas y bloques. Coluviones. Holoceno (Cuaternario)
- 62.- Depósitos antrópicos. Holoceno-Actual (Cuaternario)



Mapa nº 3.- Cartografía geológica de la zona de estudio.



Mapa nº 4.- Ortofotografía (año 2010) con la situación de las distintas estaciones estructurales realizadas. Escala aprox. 1:5.000

ANEJO 2

TABLAS DE BIENIAWSKI BARTON

		
ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS SUPERVISADO SUPERVISIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS CON SEGURO DE RESPONSABILIDAD CIVIL		
Fecha: 04/11/10	Folio: 0060	Núm: SV-0060-02
Colegiado: JOSÉ M ^a LEÓN ZUDAIRE "ET AL"		
Anejos		El Secretario:
Inscrito con el n ^o : 919		

Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

Parámetros de clasificación

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	< 1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		100-90%	90-75%	75-50%	50-25%	< 25%		
	Calidad		Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	2-0.6 m	0.6-0.2 m	0.2-0.06 m	< 0.06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
Alteración	Inalterada	Ligerament e alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta				
	Puntuación	6	5	3	1	0			
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Estado general	Seco	Ligerament e húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Corrección por la orientación de las discontinuidades

Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Clasificación

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20

Características geotécnicas

Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 15 m de vano	6 meses con 8 m de vano	1 semana con 5 m de vano	10 horas con 2.5 m de vano	30 minutos con 1 m de vano
Cohesión	> 4 Kp/cm ²	3-4 Kp/cm ²	2-3 Kp/cm ²	1-2 Kp/cm ²	< 1 Kp/cm ²
Ángulo de rozamiento	> 45°	45°-35°	35°-25°	25°-15°	< 15°

Orientación de las discontinuidades

Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 20°-0°. Cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento		Buz. 90°-45°	Buz. 45°-20°	
Buz. 90°-45°	Buz. 45°-20°	Buz. 90°-45°	Buz. 45°-20°	Buz. 90°-45°	Buz. 45°-20°	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable

Calidad de los macizos rocosos en relación al índice RMR

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100-81	> 4 kg/cm ²	> 45°
II	Buena	80-61	3-4 kg/cm ²	45°-35°
III	Media	60-41	2-3 kg/cm ²	35°-25°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/cm ²	25°-15°
V	Muy mala	< 20	< 1 kg/cm ²	< 15°



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
SUPERVISADO
SUPERVISIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
CON SEGURO DE RESPONSABILIDAD CIVIL

Fecha: 04/11/10 Folio: 0060 Núm: SV-0060-02

Colegiado: JOSÉ M^o LEÓN ZUDAIRE "ET AL"

Anejos

El Secretario:

[Firma]

Inscrito con el n.º: 919

Valores de los parámetros característicos del índice Q (Barton, 2000)

1. Calidad del testigo RQD		RQD (%)
A	Muy mala	0-25
B	Mala	25-50
C	Media	50-75
D	Buena	75-90
E	Excelente	90-100
Notas: i) Cuando se obtienen valores del RQD inferiores o iguales a 10, se toma un valor de 10 para calcular el índice Q ii) Los intervalos de 5 unidades para el RQD, es decir, 100, 95, 90, etc., tienen suficiente precisión		
2. Índice de diaclasado		Jn
A	Roca masiva, sin diaclasas o con figuración escasa	0.5-1
B	Una familia de diaclasas	2
C	Una familia y algunas diaclasas aleatorias	3
D	Dos familias de diaclasas	4
E	Dos familias y algunas diaclasas aleatorias	6
F	Tres familias de diaclasas	9
G	Tres familias y algunas diaclasas aleatorias	12
H	Cuatro o más familias, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones, etc.	15
J	Roca triturada, terrosa	20
Notas: i) En intersecciones de túneles se utiliza la expresión (3Jn) ii) En las bocas de los túneles se utiliza la expresión (2Jn)		
3. Índice de rugosidad de las discontinuidades		Jr
a) Contacto entre las dos caras de la discontinuidad		
b) Contacto entre las dos caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm		
A	Diaclasas discontinuas	4
B	Diaclasas onduladas, rugosas o irregulares	3
C	Diaclasas onduladas, lisas	2
D	Diaclasas onduladas, perfectamente lisas	1.5
E	Diaclasas planas, rugosas o irregulares	1.5
F	Diaclasas planas, lisas	1.0
G	Diaclasas planas, perfectamente lisas	0.5
Nota: i) Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña escala y escala intermedia, por este orden c) No existe contacto entre las caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante		
H	Zona que contiene minerales arcillosos con un espesor suficiente para impedir el contacto de las caras de la discontinuidad	1.0
J	Zona arenosa, de gravas o triturada con un espesor suficiente para impedir el contacto entre las dos caras de la discontinuidad	1.0
Notas: i) Si el espaciado de la principal familia de discontinuidades es superior a 3 m, se debe aumentar el índice Jr en una unidad ii) En el caso de diaclasas planas perfectamente lisas que presenten lineaciones, y que dichas lineaciones estén orientadas según la dirección de mínima resistencia, se puede utilizar el valor Jr = 0.5		



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
SUPERVISADO
SUPERVISIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
CON SEGURO DE RESPONSABILIDAD CIVIL

Fecha: 04/11/10 Folio: 0060 Núm: SV-0060-02

Colegiado: JOSÉ M^o LEÓN ZUDAIRE "ET AL"

Anejos

El Secretario:

Inscrito con el n.º: 919

Valores de los parámetros característicos del índice Q (Barton, 2000) continuación

4. Índice de alteración de las discontinuidades		Φr	J_a
a) Contacto entre los planos de la discontinuidad (sin minerales de relleno intermedios)			
A	Discontinuidad cerrada, dura, sin reblandecimientos, impermeable, cuarzo	-	0.75
B	Planos de discontinuidad inalterados, superficies ligeramente manchadas	25°-35°	1.0
C	Planos de discontinuidades ligeramente alterados. Presentan minerales no reblandecibles, partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcillas, etc.	25°-30°	2.0
D	Recubrimientos de arcillas limosas o arenosas. Fracción pequeña de arcilla (no blanda)	20°-25°	3.0
E	Recubrimientos de arcillas blandas o de baja fricción, es decir, caolinita o mica. También clorita, talco, yeso, grafito, etc., y pequeñas cantidades de arcillas expansivas	8°-16°	4.0
b) Contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm (minerales de relleno en pequeños espesores)			
F	Partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcilla, etc.	25°-30°	4.0
G	Fuertemente sobreconsolidados, con rellenos de minerales arcillosos no blandos (continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm)	16°-24°	6.0
H	Sobreconsolidación media a baja, con reblandecimiento, rellenos de minerales arcillosos (continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm)	12°-16°	8.0
J	Rellenos de arcillas expansivas, es decir, montmorillonita (continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm). El valor de J_a depende del porcentaje de partículas con tamaños similares a los de las arcillas expansivas	6°-12°	8-12
c) No se produce contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante (rellenos de mineral de gran espesor)			
K L M	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas)	6°-24°	6.8 ó 8-12
N	Zonas o bandas de arcillas limosas o arenosas, con pequeñas fracciones de arcillas no reblandecibles	-	5.0
O P R	Zonas o bandas continuas de arcilla, de espesor grueso (ver clases G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas)	6°-24°	10, 13 ó 13-20
Nota: los valores expresados para los parámetros J_r y J_a se aplican a las familias de diaclasas o discontinuidades que son menos favorables con relación a la estabilidad, tanto por la orientación de las mismas como por su resistencia al corte (esta resistencia puede evaluarse mediante la expresión: $T \approx \sigma_n \operatorname{tg}^{-1}(J_r/J_a)$)			
5. Factor de reducción por la presencia de agua		Presión de agua (kg/cm²)	J_w
A	Excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5 l/min, de forma localizada	< 1	1.0
B	Afluencia a presión media, con lavado ocasional de los rellenos de las discontinuidades	1-2.5	0.66
C	Afluencia importante o presión alta en rocas competentes con discontinuidades sin relleno	2.5-10	0.5
D	Afluencia importante o presión alta, produciéndose un lavado considerable de los rellenos de las diaclasas	2.5-10	0.33
E	Afluencia excepcionalmente alta o presión elevada en el momento de realizar las voladuras, decreciendo con el tiempo	> 10	0.2-0.1
F	Afluencia excepcionalmente alta, o presión elevada de carácter persistente, sin disminución apreciable	> 10	0.1-0.05
Notas: i) Los valores de las clases C, D, E y F son meramente estimativos. Si se acometen medidas de drenaje, puede incrementarse el valor J_w . ii) No se han considerado los problemas especiales derivados de la formación de hielo.			



Valores de los parámetros característicos del índice Q (Barton, 2000) continuación

6. Condiciones tensionales de la roca			SRF	
a) Las zonas débiles intersectan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de roca a medida que la excavación del nivel va avanzando				
A	Múltiples zonas débiles, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca de contorno muy suelta (a cualquier profundidad)		10	
B	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación ≤ 50 m)		5	
C	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación > 50 m)		2.5	
D	Múltiples zonas de fracturas en roca competente (libres de arcillas), roca de contorno suelta (a cualquier profundidad)		7.5	
E	Zonas de fractura aisladas en roca competente (libre de arcillas) (profundidad de excavación ≤ 50 m)		5.0	
F	Zonas de fractura aisladas en roca competente (libre de arcillas) (profundidad de excavación > 50 m)		2.5	
G	Terreno suelto, diaclasas abiertas, fuertemente fracturado, en terrones, etc. (a cualquier profundidad)		5.0	
Nota: i) Se reducen los valores expresados del SRF entre un 20-50% si las zonas de fracturas sólo ejercen cierta influencia pero no intersectan a la excavación.				
b) Rocas competentes, problemas tensionales en las rocas			σ_c / σ_1 σ_3 / σ_c SRF	
H	Tensiones pequeñas cerca de la superficie, diaclasas abiertas	> 200	< 0.01	2.5
J	Tensiones medias, condiciones tensionales favorables	200-10	0.01-0.3	1
K	Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales.	10-5	0.3-0.4	0.5-2
L	Lajamiento moderado de la roca después de 1 hora en rocas masivas	5-3	0.5-0.65	5-50
M	Lajamiento y estallido de la roca después de algunos minutos en rocas masivas	3-2	0.65-1	50-200
N	Estallidos violentos de la roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas	<2	> 1	200-400
Notas: i) Si se comprueba la existencia de campos tensionales fuertemente anisotrópicos: cuando $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$, se disminuye el parámetro σ_c hasta $0.75\sigma_c$; si $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$, se tomará el valor $0.5\sigma_c$. σ_c es resistencia a compresión simple, σ_1 y σ_3 son las tensiones principales mayor y menor y σ_e Es la tensión tangencial máxima, estimada a partir de la teoría de la elasticidad. ii) En los casos en que la profundidad de la clave del túnel es menor que la anchura de la excavación, se sugiere aumentar el valor del factor SRF entre 2.5 y 5 unidades (véase clase H).				
c) Rocas deformables: flujo plástico de roca incompetente sometida a altas presiones litostáticas			σ_3 / σ_c SRF	
O	Presión de deformación baja		1-5	5-10
P	Presión de deformación alta		> 5	10-20
Notas: i) Los fenómenos de deformación o fluencia de rocas suelen ocurrir a profundidades: $H > 350 Q^{1/3}$ (Singh et al., 1992). La resistencia a compresión de macizo rocoso puede estimarse mediante la expresión: $q(\text{MPa}) \approx 7\gamma Q^{1/3}$, donde γ es la densidad de la roca en g/cm^3 (Singh, 1993).				
d) Rocas expansivas: actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua			SRF	
R	Presión de expansión baja			5-10
S	Presión de expansión alta			10-15
$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$				

Valor de Q	Calidad
0.001 - 0.01	Roca excepcionalmente mala
0.01 - 0.1	Roca extremadamente mala
0.1 - 1	Roca muy mala
1 - 4	Roca mala
4 - 10	Roca media
10- 40	Roca buena
40 - 100	Roca muy buena
100 - 400	Roca extremadamente buena
400 - 1000	Roca excepcionalmente buena

ANEJO 3

REPRESENTACIONES ESTEREOGRÁFICAS Y TABLAS DE ESTABILIDADES DE LAS DISCONTINUIDADES

		
ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS		
SUPERVISADO		
SUPERVISIÓN DE TRABAJOS Y PROYECTOS		
CON SEGURO DE RESPONSABILIDAD CIVIL		
Fecha: 04/11/10	Folio: 0060	Núm: SV-0060-02
Colegiado: JOSÉ M ^º LEÓN ZUDAIRE "ET AL"		
Anejos		El Secretario:
		
Inscrito con el n ^º : 919		

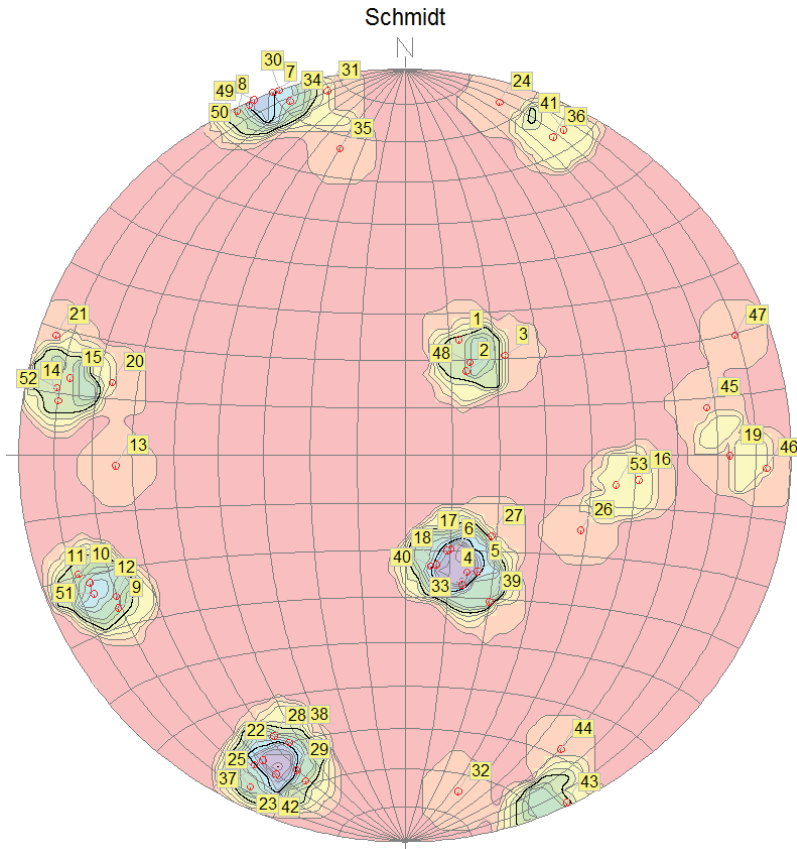
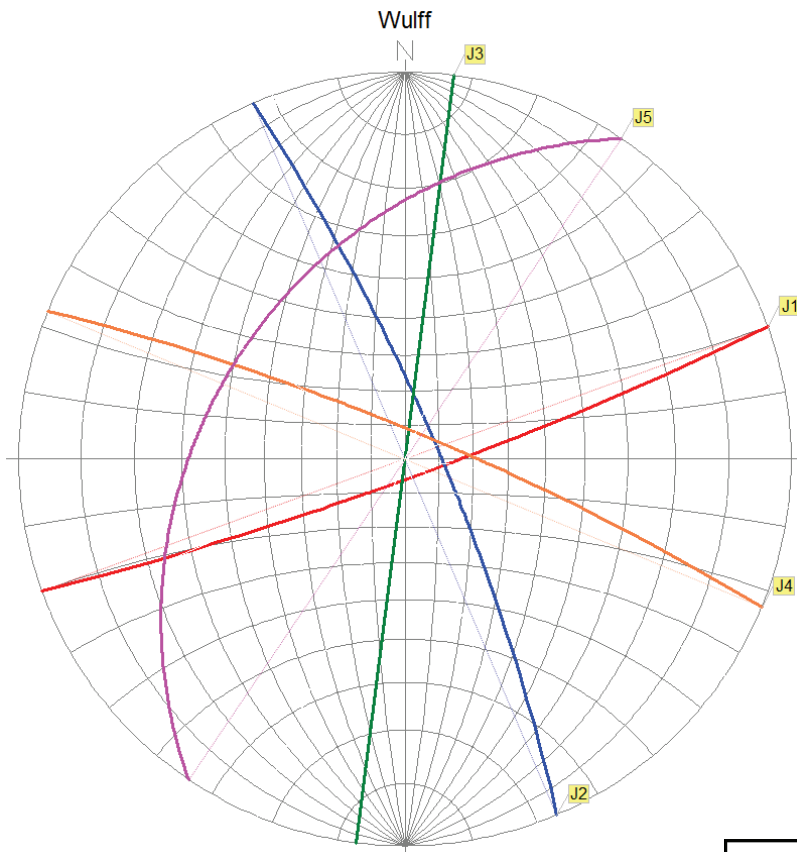
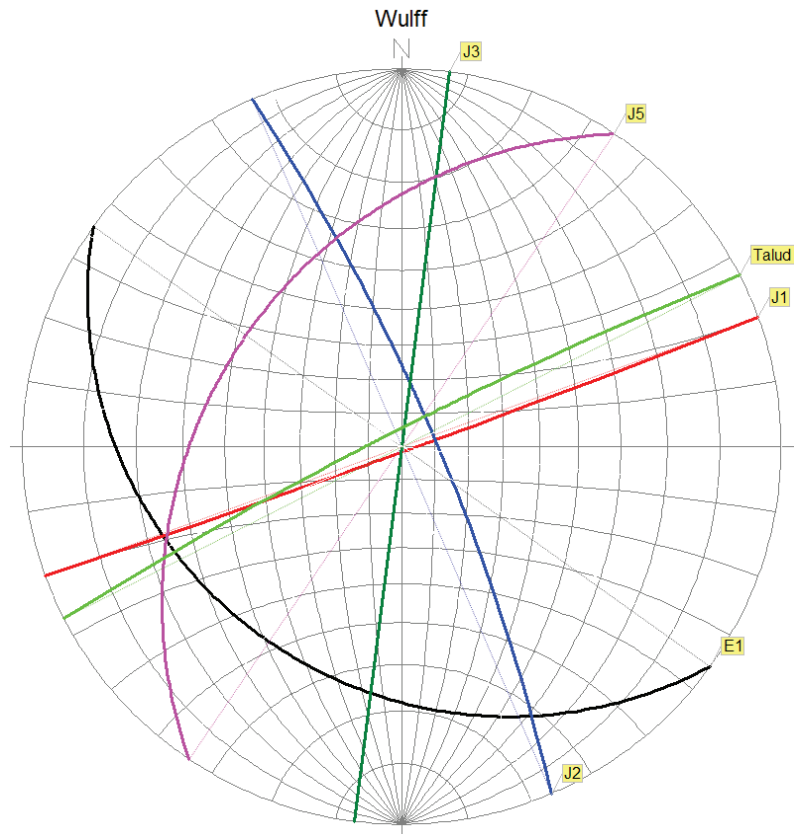


Diagrama de densidad de polos de los planos de discontinuidad existentes en las estaciones. Schmidt (equiareal).



Representación estereográfica de los planos de diaclasa que han sido identificados en las estaciones estructurales. Wulff (equiangular).

ESTACIÓN nº 1



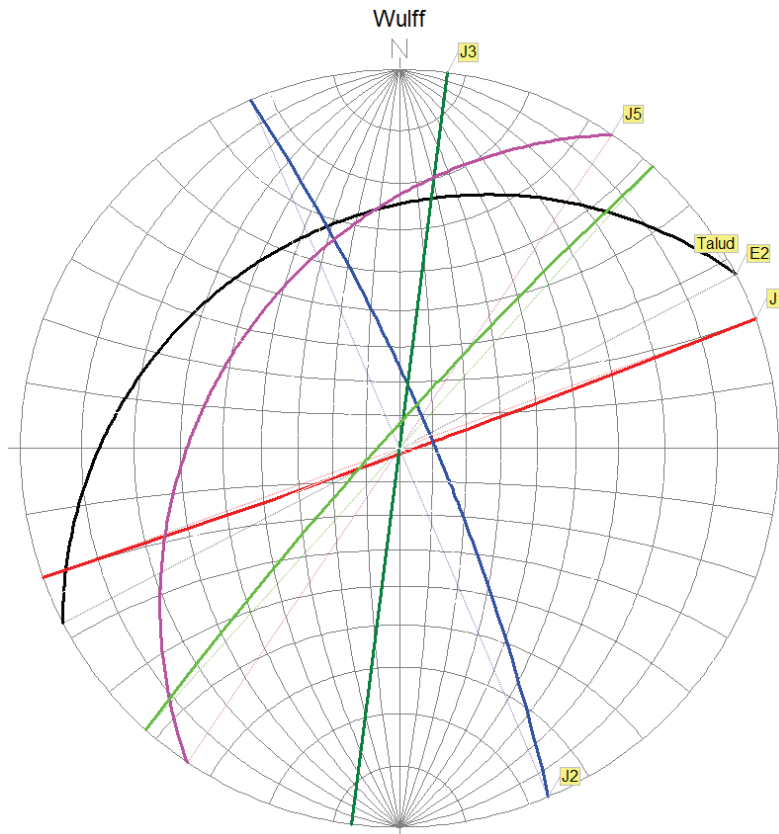
ROTURA PLANAR

Caso	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento del plano (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (ϕ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
E ₁	85° NO	26.1° SO	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
J ₁	85° NO	88.4° S	34°	En contra	$\psi < \alpha > \phi$
J ₂	85° NO	79.9° N	34°	En contra	$\psi > \alpha > \phi$
J ₃	85° NO	89.2° E	34°	En contra	$\psi < \alpha > \phi$
J₅	85° NO	36.4° NO	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$

ROTURA EN CUÑA

Caso	Lineación	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento de la lineación (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (ϕ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
L ₁	E ₁ -J ₁	85° NO	22,2° O	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
L ₂	E ₁ -J ₂	85° NO	13,3° S	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
L ₃	E ₁ -J ₃	85° NO	23,2° S	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
L ₄	E ₁ -J ₅	85° NO	22,4° O	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
L ₅	J ₁ -J ₂	85° NO	79,7° O	34°	En contra	$\psi > \alpha > \phi$
L ₆	J ₁ -J ₃	85° NO	88,4° SE	34°	En contra	$\psi < \alpha > \phi$
L ₇	J ₁ -J ₅	85° NO	23,0° O	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
L₈	J₂-J₃	85° NO	71,8° N	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$
L ₉	J ₂ -J ₅	85° NO	30,0 N	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L ₁₀	J ₃ -J ₅	85° NO	18,3° S	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$

ESTACIÓN nº 2



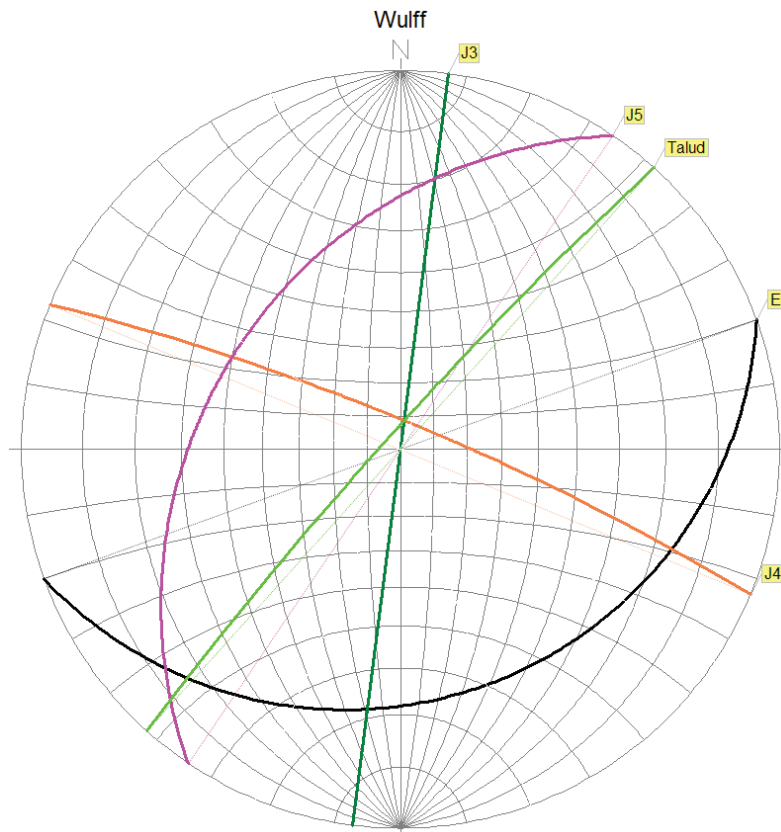
ROTURA PLANAR

Caso	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento del plano (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (ϕ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
E ₂	85° NO	27° N	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
J ₁	85° NO	88.4° S	34°	En contra	$\psi < \alpha > \phi$
J ₂	85° NO	79.9° N	34°	En contra	$\psi > \alpha > \phi$
J ₃	85° NO	89.2° E	34°	En contra	$\psi < \alpha > \phi$
J₅	85° NO	36.4° NO	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$

ROTURA EN CUÑA

Caso	Lineación	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento de la lineación (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (ϕ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
L ₁	E ₂ -J ₁	85° NO	3,7° O	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L ₂	E ₂ -J ₂	85° NO	26,7° N	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L ₃	E ₂ -J ₃	85° NO	22,7° N	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L ₄	E ₂ -J ₅	85° NO	25,4° N	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L ₅	J ₁ -J ₂	85° NO	79,7° O	34°	En contra	$\psi > \alpha > \phi$
L ₆	J ₁ -J ₃	85° NO	88,4° SE	34°	En contra	$\psi < \alpha > \phi$
L ₇	J ₁ -J ₅	85° NO	23,0° O	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L₈	J₂-J₃	85° NO	71,8° N	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$
L ₉	J ₂ -J ₅	85° NO	30,0 N	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L ₁₀	J ₃ -J ₅	85° NO	18,3° S	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$

ESTACIÓN nº 3



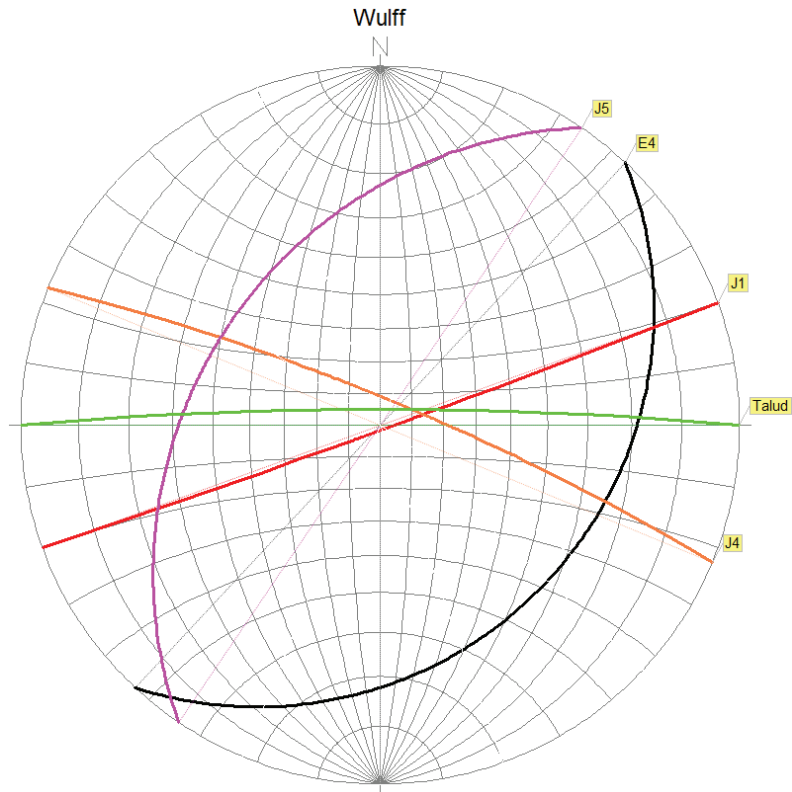
ROTURA PLANAR

Caso	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento del plano (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (φ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
E ₃	85° NO	23° SO	34°	En contra	$\psi > \alpha < \varphi$
J ₃	85° NO	89.2° E	34°	En contra	$\psi < \alpha > \varphi$
J ₄	85° NO	81.5° N	34°	En contra	$\psi < \alpha > \varphi$
J₅	85° NO	36.4° NO	34°	A favor	$\psi > \alpha > \varphi$

ROTURA EN CUÑA

Caso	Lineación	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento de la lineación (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (φ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
L ₁	E ₃ -J ₃	85° NO	20,7° N	34°	En contra	$\psi > \alpha < \varphi$
L ₂	E ₃ -J ₄	85° NO	15,3° O	34°	En contra	$\psi > \alpha < \varphi$
L ₃	E ₃ -J ₅	85° NO	9,4° N	34°	A favor	$\psi > \alpha < \varphi$
L ₄	J ₃ -J ₄	85° NO	81,4° N	34°	En contra	$\psi > \alpha > \varphi$
L ₅	J ₃ -J ₅	85° NO	18,3° N	34°	A favor	$\psi > \alpha < \varphi$
L₆	J₄-J₅	85° NO	36,3° O	34°	A favor	$\psi > \alpha > \varphi$

ESTACIÓN nº 4



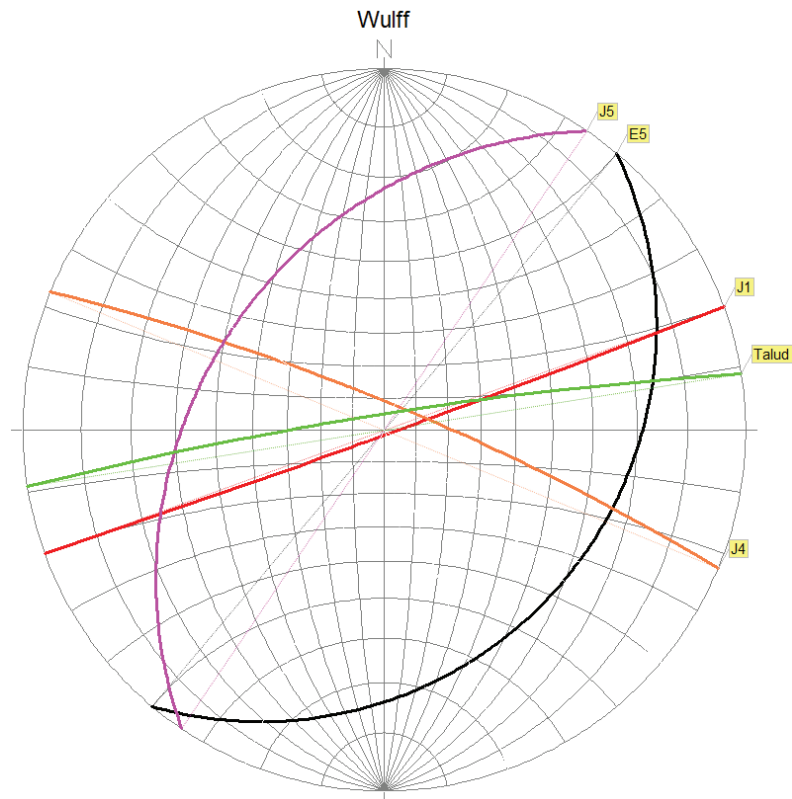
ROTURA PLANAR

Caso	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento del plano (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (φ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
E ₄	85° N	25° SO	34°	En contra	$\psi > \alpha < \varphi$
J ₁	85° N	88.4° S	34°	En contra	$\psi < \alpha > \varphi$
J ₄	85° N	81.5° N	34°	A favor	$\psi > \alpha > \varphi$
J ₅	85° N	36.4° NO	34°	A favor	$\psi > \alpha > \varphi$

ROTURA EN CUÑA

Caso	Lineación	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento de la lineación (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (φ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
L ₁	E ₄ -J ₁	85° N	12,1° O	34°	A favor	$\psi > \alpha < \varphi$
L ₂	E ₄ -J ₄	85° N	23,1° O	34°	En contra	$\psi > \alpha < \varphi$
L ₃	E ₄ -J ₅	85° N	2,5° N	34°	En contra	$\psi > \alpha < \varphi$
L ₄	J ₁ -J ₄	85° N	73,1° O	34°	En contra	$\psi > \alpha > \varphi$
L ₅	J ₁ -J ₅	85° N	23,0° O	34°	En contra	$\psi > \alpha < \varphi$
L ₆	J ₄ -J ₅	85° N	36,3° O	34°	A favor	$\psi > \alpha > \varphi$

ESTACIÓN nº 5



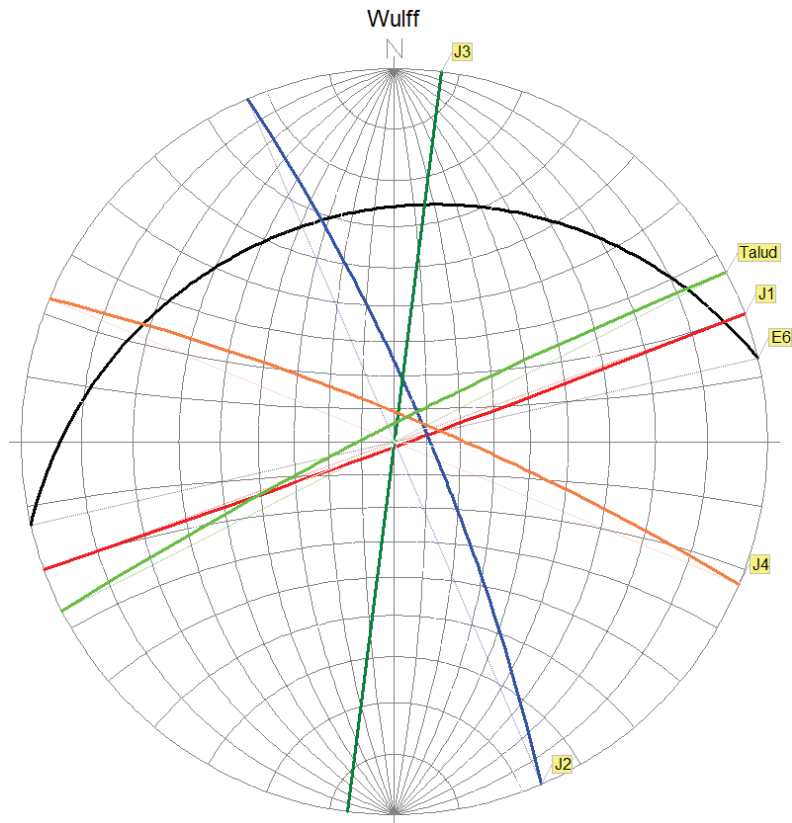
ROTURA PLANAR

Caso	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento del plano (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (ϕ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
E ₅	85° N	24° SO	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
J ₁	85° N	88.4° S	34°	En contra	$\psi < \alpha > \phi$
J ₄	85° N	81.5° N	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$
J ₅	85° N	36.4° NO	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$

ROTURA EN CUÑA

Caso	Lineación	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento de la lineación (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (ϕ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
L ₁	E ₅ -J ₁	85° N	12,7° O	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L ₂	E ₅ -J ₄	85° N	22,6° O	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
L ₃	E ₅ -J ₅	85° N	1,6° N	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
L ₄	J ₁ -J ₄	85° N	73,1° O	34°	En contra	$\psi > \alpha > \phi$
L ₅	J ₁ -J ₅	85° N	23,0° O	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
L₆	J₄-J₅	85° N	36,3° O	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$

ESTACIÓN nº 6



ROTURA PLANAR

Caso	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento del plano (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (ϕ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
E ₆	85° NO	24° SO	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
J ₁	85° NO	88.4° S	34°	En contra	$\psi < \alpha > \phi$
J ₂	85° NO	79.9° N	34°	En contra	$\psi > \alpha > \phi$
J ₃	85° NO	89.2° E	34°	En contra	$\psi < \alpha > \phi$
J₄	85° NO	81.5° N	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$

ROTURA EN CUÑA

Caso	Lineación	Ángulo del talud (ψ)	Buzamiento de la lineación (α)	Ángulo rozam. interno de la roca (ϕ)	Relación buzamiento con el talud	Condiciones
L ₁	E ₆ -J ₁	85° NO	3,1° E	34°	En contra	$\psi > \alpha < \phi$
L ₂	E ₆ -J ₂	85° NO	23,9° S	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L ₃	E ₆ -J ₃	85° NO	22,6° E	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L ₄	E ₆ -J ₄	85° NO	15,3° N	34°	A favor	$\psi > \alpha < \phi$
L ₅	J ₁ -J ₂	85° NO	73,1° O	34°	En contra	$\psi > \alpha > \phi$
L ₆	J ₁ -J ₃	85° NO	88,4° SE	34°	En contra	$\psi < \alpha > \phi$
L ₇	J ₁ -J ₄	85° NO	75,8° E	34°	En contra	$\psi > \alpha > \phi$
L₈	J₂-J₃	85° NO	71,8° N	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$
L ₉	J ₂ -J ₄	85° NO	79,8° NE	34°	En contra	$\psi > \alpha > \phi$
L₁₀	J₃-J₄	85° NO	80,6° S	34°	A favor	$\psi > \alpha > \phi$

ANEJO 4

ENSAYOS DE LABORATORIO



Instituto Científico
y Tecnológico de
Navarra, S.A.

Laboratorio de Edificación

Informe N°: 1115.5
Página 1 de 1

PETICIONARIO: CANTERAS DE ECHAURI Y TIEBAS, S.A. C/ San Fermín, 10-1º. 31004-PAMPLONA

MUESTRAS A ENSAYAR: Muestra de piedra caliza con orbitolinas procedente de Liédena.

ENSAYOS SOLICITADOS: - Resistencia a compresión, s/UNE 22185.

FECHA RECEPCIÓN: 21/09/95 Toma de muestras realizada por el personal del Laboratorio en la cantera.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN.

Se realizó el ensayo según la norma UNE 22185, sobre seis probetas talladas a partir de la muestra.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

PROBETA N°	RESISTENCIA (kp/cm ²)
1	658,0
2	895,0
3	678,6
4	791,9
5	911,1
6	781,4

Fecha de terminación del ensayo: 21.09.95

Pamplona, 21 de septiembre de 1995



  
INSTITUTO CIENTIFICO
Y TECNOLOGICO DE
NAVARRA S.A.
LABORATORIO DE EDIFICACION

Vº Bº: Javier Bada Ruisánchez
Director del Laboratorio

Fdo.: Antonio Aretxabala Díez
Técnico responsable

Escuela T.S. de Arquitectura y Arquitectura Técnica • Ctra. del Sadar, s/n. • 31009 Pamplona (Navarra)
Tel. 948 - 26 89 96 y 10 56 00 • Fax 948 - 10 56 29 y 26 89 96

ANEJO 5

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS SUPERVISADO SUPERVISIÓN DE TRABAJOS Y PROYECTOS CON SEGURO DE RESPONSABILIDAD CIVIL		
	Fecha: 04/11/10	Folio: 0060	Núm: SV-0060-02
Colegiado: JOSÉ M ^a LEÓN ZUDAIRE "ET AL"			
Anejos		El Secretario:	
Inscrito con el n ^o : 919			



Fotografía 1.- Vista de las estaciones estructurales de la zona sur de la cantera.



Fotografía 2.- Aspecto de la estación estructural nº 1. La proximidad a la superficie ha determinado la alteración del macizo. En la zona central de la fotografía se aprecia un plano de fractura coincidente con la falimia J_1 .



Fotografía 3.- Vista de la estación estructural nº 2, que se encuentra en el mismo banco que la primera. Se observa el buzamiento con componente norte y alteración superficial de las calizas.



Fotografía 4.- Aspecto de la estación estructural nº 6. La roca se encuentra bastante sana aunque afectada por diaclasado y fracturación. La estratificación es patente. Al fondo se encuentran los bancos donde se han realizado las estaciones estructurales nº 1, 3, 4 y 5.



Fotografía 5.- Vista de los bancos superiores de la parte sur de la cantera. El delgado espesor de roca alterada ha desaparecido en el avance de las extracciones.



Fotografía 6.- Vista de la explotación en el norte de la cantera. Solo queda la roca alterada en los bancos que recientemente se ha comenzado a explotación.