



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España



*MODELIZACION MINERO-AMBIENTAL DE
EXPLORACIONES DE PIZARRA EN LA
CABRERA (LEON)*

MEMORIA

NOVIEMBRE 1993

**MODELIZACIÓN
MINERO-AMBIENTAL DE
EXPLOTACIONES DE PIZARRA
EN LA CABRERA (LEÓN)**

11353

Este proyecto ha sido realizado por el siguiente equipo técnico:

ITGE

D. DANIEL BARETTINO FRAILE

Ingeniero de Minas. Area de Ingeniería
Geoambiental.
Director del Proyecto por el ITGE.

D. BRUNO MARTÍNEZ PLÉDEL

Ingeniero de Minas. Area de Ingeniería
Geoambiental.

D. JULIO CÉSAR ARRANZ GONZÁLEZ

Ingeniero Agrónomo. Area de Ingeniería
Geoambiental.

GEOCONTROL, S.A.

D. JOSÉ MIGUEL GALERA FERNÁNDEZ

Dr. Ingeniero de Minas.
Director del Proyecto por GEOCONTROL, S.A

D. ANGEL RODRÍGUEZ SOTO

Ingeniero de Minas.

D. EDUARDO VELASCO TRIVIÑO

Ingeniero de Minas.

D. PEDRO VELASCO POSADA

Ingeniero de Minas.

D. RICARDO DIÉGUEZ DE LA BARRERA

Ingeniero de Minas.

D. J. CARLOS BARROS LORENZO (*)

Ldo. en Ciencias Geológicas.
INGEONOR, S.L.

Se agradece la colaboración de todas las empresas del sector pizarrero de las zonas del Barco de Valdeorras y de La Cabrera por la ayuda prestada en la elaboración de este proyecto.

Este trabajo ha sido cofinanciado por el INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA y por la EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE LEÓN, y efectuado en régimen de contratación por la empresa GEOCONTROL, S.A., con la colaboración de la persona indicada (*) de la empresa INGEONOR, S.L.

MODELIZACIÓN MINERO-AMBIENTAL DE EXPLOTACIONES DE PIZARRA EN LA CABRERA (LEÓN)

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN

2.- CARACTERIZACIÓN TÉCNICA Y AMBIENTAL DE LAS EXPLOTACIONES DE PIZARRA EXISTENTES EN LA CABRERA.

2.1.- Introducción

2.2.- Descripción de las fichas de caracterización

2.3.- Caracterización técnica

2.3.1.- Concentración de las explotaciones y estado actual

2.3.2.- Altitud de las explotaciones

2.3.3.- Tipo de pizarra explotada

2.3.4.- Canteras

2.3.4.1.- Geometría de las explotaciones

2.3.4.2.- Métodos y tecnologías de arranque, carga y transporte

2.3.4.3.- Potencia y buzamiento de los niveles explotados

2.3.4.4.- Escombreras

2.3.4.5.- Drenajes y desagües

2.3.4.6.- Pistas

2.3.5.- Naves de elaboración de pizarra

2.3.6.- Rendimientos en el proceso productivo

2.4.- Caracterización ambiental

2.4.1.- Identificación de impactos ambientales

2.4.2.- Valoración de impactos ambientales

3.- CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

3.1.- Geología del yacimiento

3.1.1.- Litoestratigrafía

- 3.1.1.1.- Porfiroide del "Olló de Sapo" (Anteordovícico)
- 3.1.1.2.- Pizarras de los Montes (Ordovícico inferior)
- 3.1.1.3.- Cuarcita Armoricana (Ordovícico inferior)
- 3.1.1.4.- Formación Pizarras de Luarca
- 3.1.1.5.- Formación Casaio (Ordovícico superior)
- 3.1.1.6.- Formación Rozadais (Ordovícico superior)
- 3.1.1.7.- Formación Losadilla (Ordovícico superior)
- 3.1.1.8.- Materiales silúricos (Silúrico)
- 3.1.1.9.- Terciario
- 3.1.1.10.- Cuaternario
- 3.1.1.11.- Rocas filonianas

3.1.2.- Tectónica y metamorfismo

- 3.1.2.1.- Fases de deformación
- 3.1.2.2.- Estructuras principales
- 3.1.2.3.- Metamorfismo Regional

3.2.- Litotipos presentes

- 3.2.1.- Ensayos de carga puntual
- 3.2.2.- Propiedades mecánicas de la roca matriz

3.3.- Estudio de la fracturación

- 3.3.1.- Ensayos "Tilt-test"
- 3.3.2.- Ensayos de corte directo sobre discontinuidades
- 3.3.3.- Propiedades mecánicas de las discontinuidades

4.- DEFINICIÓN SITUACIONES CARACTERÍSTICAS EN EL YACIMIENTO

- 4.1.- Definición de niveles explotables
- 4.2.- Situaciones geológicas tipo en el yacimiento
- 4.3.- Situaciones geotécnicas tipo

5.- ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD

- 5.1.- Estudio de la estabilidad de pizarras con dirección de buzamiento paralela a la de la cara del talud
 - 5.1.1.- Metodología y modelo de cálculo

5.1.2.- Resultados de cálculo

5.2.- Estudio de la estabilidad de las escombreras

5.2.1.- Metodología

5.2.2.- Resultados de cálculo

6.- MODELIZACIÓN DE CANTERAS TIPO

6.1.- Geometría de canteras tipo

6.1.1.- Normas generales de aplicación

6.1.2.- Situación característica en La Cabrera

6.2.- Arranque, carga y transporte

6.2.1.- Arranque

6.2.2.- Despegue

6.2.3.- Carga

6.2.3.1.- Carga con maquinaria móvil

6.2.3.2.- Carga con maquinaria fija

6.2.4.- Transporte

6.3.- Escombreras

6.3.1.- Selección y preparación del emplazamiento

6.3.2.- Proyecto de la escombrera

6.3.3.- Naturaleza y propiedades geotécnicas de los escombros

6.3.4.- Condiciones de inestabilidad

6.3.4.1.- Coeficientes de seguridad

6.3.4.2.- Formas de inestabilidad

6.3.5.- Hidrología y drenajes

6.3.6.- Aspectos constructivos

6.4.- Pistas, accesos y plataformas de trabajo

6.4.1.- Criterios de trazado

6.4.2.- Trazado en planta

6.4.3.- Trazado en alzado

6.4.4.- Sección transversal

6.4.5.- Arcenes

6.4.6.- Zonas especiales

6.4.7.- Plataformas de trabajo

6.4.8.- Conservación

6.5.- Drenajes y tratamiento del agua de las explotaciones

6.5.1.- Reducción de la recarga

6.5.2.- Métodos de drenaje

6.5.3.- Tratamiento de aguas

6.6.- Nave de elaboración

6.6.1.- Descripción funcional del proceso de elaboración de pizarras para cubiertas

6.6.1.1.- Descarga de bloques en la nave

6.6.1.2.- Exfoliación primaria e izado de bloques

6.6.1.3.- Serrado

6.6.1.4.- Labrado

6.6.1.5.- Cortado

6.6.1.6.- Selección, clasificación, embalaje y almacenamiento de jaulas

6.6.1.7.- Expedición

6.6.1.8.- Plantilla

6.6.2.- Nave y descripción de instalaciones

6.6.3.- Instalaciones auxiliares

6.6.4.- Escombrera de residuos

7.- RESTAURACIÓN

7.1.- Medidas correctoras de los impactos temporales.

7.1.1.- Ruido

7.1.2.- Polvo

7.1.3.- Barro

7.1.4.- Efluentes líquidos

7.2.- Criterios generales para la integración paisajística

7.2.1.- Edificios y naves

7.2.2.- Nuevos viales

7.2.3.- Creación de huecos

7.2.4.- Escombreras

- 7.3.- Restauración de los terrenos afectados
 - 7.3.1.- Orientaciones para el uso futuro de los terrenos afectados por la explotación minera.
 - 7.3.2.- Remodelación de los terrenos
 - 7.3.2.1.- Huecos de explotación
 - 7.3.2.2.- Escombreras
 - 7.3.3.- El substrato y el microclima en las áreas alteradas
 - 7.3.3.1.- Características del medio en las explotaciones actuales
 - 7.3.3.2.- Características del medio en las futuras explotaciones
 - 7.3.4.- Revegetación
 - 7.3.4.1.- Consideraciones previas
 - 7.3.4.2.- Análisis de la vegetación potencial
 - 7.3.4.3.- Preselección de especies de interés
 - 7.3.4.4.- Tratamientos de vegetación
 - 7.3.4.5.- Recomendación sobre la realización de los trabajos de revegetación

GLOSARIO DE TÉRMINOS GEOLÓGICOS

APÉNDICES Y ANEJOS

- APÉNDICE I.- MAPA DE SITUACIÓN DE EXPLOTACIONES Y NAVES DE LA CABRERA
- ANEJO 0.- REPORTAJE FOTOGRÁFICO
- ANEJO I.- FICHAS DE CARACTERIZACIÓN DE LAS EXPLOTACIONES
 - SUBANEJO Ia.- MODELOS DE FICHAS
 - SUBANEJO Ib.- FICHAS DE CARACTERIZACIÓN
- ANEJO II.- ENSAYOS GEOTÉCNICOS
 - SUBANEJO IIa.- LISTADO DE ENSAYOS FRANKLIN
 - SUBANEJO IIb.- SERIES DE ENSAYOS "TILT-TEST"
 - SUBANEJO IIc.- PROTOCOLOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE

ANEJO III.-

ANÁLISIS DE CANTERAS TIPO

SUBANEJO IIIa.- CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-
MINERAS DE LAS EXPLOTACIONES

SUBANEJO IIIb.- CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE
LAS EXPLOTACIONES

ANEJO IV.-

RESULTADOS GRÁFICOS DEL CÁLCULO PARA LAS
DISTINTAS HIPÓTESIS MEDIANTE EL PROGRAMA FLAC

MODELIZACIÓN MINERO-AMBIENTAL DE EXPLOTACIONES DE PIZARRA EN LA CABRERA (LEÓN)

1.- INTRODUCCIÓN

El ITGE ha realizado la "Investigación de pizarras en la reserva estatal Sinclinal de Truchas (León)", que se enmarca en la comarca natural de La Cabrera de alto valor paisajístico y natural.

En este trabajo se puso de manifiesto la existencia de una importante cantidad de recursos de pizarra explotables para cubiertas. Dado el interés socioeconómico que tiene poner en marcha una actividad económica en un área tradicionalmente deprimida como es La Cabrera, se plantea la necesidad de realizar un "estudio de **ordenación minero-ambiental** del yacimiento de pizarras ornamentales de La Cabrera", en el que se combinen la explotación racional de los recursos existentes y la protección al medio ambiente.

Por ello el ITGE, a través de un convenio de colaboración con la Diputación Provincial de León, ha puesto en marcha un trabajo que aborda los problemas anteriormente citados.

Dentro de este Estudio, el ITGE desea disponer de un trabajo en el que se analice la modelización de las futuras explotaciones de pizarra en La Cabrera (León), obteniendo modelos de explotación óptimos de los recursos mineros y de mínimo impacto ambiental.

En este documento se presentan los resultados de los trabajos realizados para la "Modelización minero-ambiental de explotaciones de pizarra en La Cabrera (León)".

2.- CARACTERIZACIÓN TÉCNICA Y AMBIENTAL DE LAS EXPLOTACIONES DE PIZARRA EXISTENTES EN EL AREA DE ESTUDIO

2.1.- Introducción

Para llevar a cabo la caracterización de las explotaciones existentes en la actualidad en la zona, se ha hecho un trabajo de campo consistente en visitar dichas explotaciones y cumplimentar una serie de fichas, diseñadas a tal efecto. Se ha pretendido caracterizar, por una parte, los aspectos técnicos de la explotación minera, y por otra parte, los impactos ambientales generados por dicha actividad. En el Anejo I se incluyen las fichas correspondientes a la totalidad de las explotaciones en el área en estudio.

En una primera ficha se incluyen los datos generales y situación administrativa de la explotación, así como la fuente de donde procede la información.

La segunda ficha recoge los datos correspondientes a la cantera en sí. En ella se incluyen aspectos geométricos tales como área ocupada, número de frentes, número de bancos, etc. así como los esquemas correspondientes. También se reflejan los métodos de arranque, maquinaria empleada y estado de las escombreras (emplazamiento, tipología, datos geométricos, etc.).

La tercera hace referencia a las naves de labrado, incluyendo datos sobre superficie ocupada, existencia o ausencia de tratamiento de aguas, escombreras, esquemas, etc.

En la cuarta ficha se mencionan los aspectos concernientes a la estructura geológica del yacimiento, tales como esquemas en planta y cortes geológicos.

La quinta contempla los temas referentes al impacto ambiental y a su valoración.

2.2.- Descripción de las fichas de caracterización

En el Anejo I, se pueden consultar los modelos de fichas de caracterización.

A la hora de elegir una clave para identificar las diferentes explotaciones, se ha optado por coger la del Archivo Nacional de Rocas y Minerales Industriales. Dicha clave está constituida por el número de la hoja 1.50000 del mapa del S.G.E, seguido el número identificador del octante en el cual se ubica la explotación y a continuación un número de tres dígitos.

a) Ficha N° 1

Como ya se indicó anteriormente, en ella se recogen los **datos generales y situación administrativa**. Entre los primeros se encuentran:

- La provincia, que en el presente estudio es siempre la de León.
- El municipio, que es el del término municipal en donde se encuentra la explotación.
- El paraje, el cual se elige buscando un lugar cercano a la explotación y que sea fácilmente identificable en el plano.
- Número de la hoja 1:50000 del Servicio Geográfico del Ejército y de la 1:25000 del Instituto Geográfico Nacional donde se sitúa la explotación.
- Coordenadas U.T.M. X e Y, así como la altitud.
- Esquema a escala 1:50000 de situación.
- Observaciones sobre el tipo y el estado de los accesos.
- Los actuales usos del suelo del entorno (pastoreo, plantaciones, etc.).

En cuanto a los segundos:

- Denominación de la explotación.
- Empresa propietaria.

- La regulación del recurso, ya sea perteneciente a la sección C o a la A.
- El estado actual, según sea activa o inactiva.
- Las fichas que han sido cumplimentadas, ya que puede tratarse de una explotación con nave a pie de cantera, en cuyo caso se rellenan todas las fichas; si se trata de una cantera sin nave en las proximidades no se rellena la ficha III; si es una nave aislada no se rellenan ni la ficha II ni la IV.

Finalmente se recoge, en la parte posterior de la ficha, la procedencia de la información que se ha utilizado para cumplimentar los datos que no han sido tomados en campo.

b) Ficha N° 2

Está constituida por los **datos correspondientes a la cantera:**

- La geometría de la explotación. En este apartado se incluye el área ocupada por el hueco, su volumen, el número de frentes existentes, la longitud total de los frentes, el talud general del hueco, la altura máxima total de la cantera. En un cuadro se recogen los datos de los bancos existentes en estéril y en mineral, tales como su número, talud parcial, altura y anchura de las bermas. También se indica la potencia y buzamiento de los niveles explotados, si se retira y acopia la cobertera y unos esquemas simplificados de los frentes.
- El método de arranque utilizado. En la minería de la pizarra se emplean tres métodos de extracción: la voladura o método tradicional, el corte mecanizado (bien sea mediante hilo adiamantado o con cortadora en banco) y el tercero nace de la compaginación de los dos anteriores (método mixto).
- La maquinaria empleada en las labores de extracción (palas, dumpers, perforadoras, cortadoras, etc).
- La existencia o ausencia de restauración en los huecos y escombreras creados.

- Observaciones generales sobre la cantera.
- Datos sobre las escombreras. Con lo que a ello respecta, se especifica el tipo de emplazamiento, la tipología del vertido, el tipo de estériles que conforman la escombrera, la superficie ocupada, granulometría de los estériles, compactación, drenajes, si existe revegetación y cuál es el tipo (natural o antrópica). También se indican otros datos geométricos de la escombrera como son el volumen, talud general, altura máxima, taludes parciales y alturas de banco, anchura de las bermas. Finalmente se anotan las observaciones sobre el estado de la escombrera y unos esquemas de las mismas.

c) Ficha N° 3

En esta ficha se especifican los aspectos concernientes a las **naves de elaboración de pizarra**. Por una parte se contemplan los datos de la nave en sí tales como superficie ocupada, superficie del parque de pizarras, existencia o ausencia de tratamiento de los efluentes procedentes del labrado, tipo de tratamiento empleado para la depuración de dichos efluentes, geometría de las balsas de decantación (número de ellas, superficie total ocupada, longitud y anchura, problemas detectados), esquemas y observaciones. Por otra parte se incluyen, en la parte posterior de la ficha, los aspectos relativos a las escombreras de las naves (la estructura de esta parte de la ficha es similar a la de las escombreras de las canteras).

d) Ficha N° 4

Incluye los datos referentes a la estructura geológica del yacimiento. En ella se dibuja un esquema en planta y un corte geológico. También se incluye la descripción del yacimiento y las observaciones pertinentes.

e) Ficha N° 5

Está dedicada al estudio de los impactos ambientales generados por la minería de la pizarra. En la ficha pueden diferenciarse claramente tres partes, la primera se ocupa de la identificación de impactos ambientales producidos por las labores mineras, la segunda a los análisis de agua realizados, y la tercera que trata de la valoración de

los impactos generados. A continuación se describen cada una de ellas:

1.- Identificación

A la hora de identificar los impactos, se ha optado por la utilización de una matriz de doble entrada, considerando por una parte la causa productora de los impactos y por la otra los elementos del medio que pueden ser afectados. En cuanto a la alteración, se ha considerado por una parte su magnitud y por otra su permanencia en el tiempo. Teniendo en cuenta la primera, se puede hablar de alteraciones genéricamente importantes cuando la magnitud de las afecciones sea de gran entidad, y de alteraciones genéricamente poco importantes cuando no representen afecciones importantes sobre el medio. En cuanto a la temporalidad, se habla de transitoria cuando la afección al medio no es continua sino que se realiza a intervalos de tiempo mientras dura la actividad que lo causa, y de permanente cuando la alteración se mantiene de una manera continua aunque haya cesado la actividad que la genera. Teniendo en cuenta lo anterior, se ha procedido a la confección de una clave para poder plasmarla en la matriz de identificación, tal como se observa en el Cuadro I.

	Transitoria	Permanente
Alteración genéricamente importante	T ₁	P ₁
Alteración genéricamente poco importante	T ₀	P ₀

Cuadro I.- Matriz de identificación de impactos ambientales

Entre las causas productoras de impacto, las que se han tenido en cuenta son las que a continuación se citan:

- Las labores realizadas durante la fase de exploración e investigación del yacimiento.
- La infraestructura implantada en la zona (edificios y plantas, y los nuevos viales construidos).
- Las operaciones mineras tales como perforación, voladura, arranque y carga, transporte y tráfico, y el tratamiento de la pizarra.

- Las modificaciones fisiográficas resultantes de la creación de huecos, escombreras y balsas.

En lo concerniente a los elementos del medio afectados, los que se han considerado con una mayor relevancia son:

- La atmósfera, debido a la producción de polvo y ruidos.
- Afecciones a las aguas, tanto a las superficiales como a las subterráneas.
- Afecciones a los suelos.
- Afecciones a la vegetación.
- Afecciones a la fauna.
- Producción de ciertos procesos geofísicos tales como riesgos de inundación, procesos de erosión y sedimentación, inestabilidades en laderas.
- Afecciones sobre la morfología y paisaje. Aquí se tiene en cuenta tanto la visibilidad de la explotación desde núcleos urbanos y carreteras como la calidad del paisaje del entorno.
- El ámbito socio-económico y cultural de la zona. Se consideran los posibles valores singulares de interés existentes en las proximidades y los viales que puedan estar afectados por la explotación.
- Los posibles usos del suelo que ha sido afectado.

2.- Análisis de agua

En esta parte de la ficha se muestra un esquema de situación del punto muestreado y los resultados de algunos de los parámetros analizados tales como la conductividad, residuo seco y los sólidos en suspensión. También se anotan las observaciones que hayan sido pertinentes.

3.- Valoración

Una vez que los distintos impactos han sido identificados, se procede a su valoración mediante una tabla de doble entrada. En la primera columna se considera la valoración del impacto, la cual se hace según sea su intensidad mediante una escala de uno a cuatro, siendo el valor uno cuando la intensidad es mínima y cuatro cuando es máxima. La segunda columna se rellena cuando la alteración es permanente y la tercera cuando es de carácter temporal. En la siguiente se especifica si existen o no medidas correctoras de la alteración en cuestión. En la última columna se indica cuál es la causa productora del impacto (operaciones, obras e infraestructuras).

En cuanto a las diferentes alteraciones producidas, las que han sido tenidas en cuenta son las siguientes:

- Atmósfera. En lo referente a ella, las más importantes son la emisión de polvo y los niveles sonoros.
- Agua. Las alteraciones que se han considerado son la modificación de la red de drenaje y calidad de las aguas superficiales.
- Procesos geofísicos tales como vibraciones y proyecciones, efectos en procesos de avenidas, inestabilidad de laderas, procesos de erosión-sedimentación.
- Pérdida de suelo vegetal.
- Vegetación. Se considera tanto la pérdida de vegetación natural como la posible afección a elementos endémicos.
- Afección a especies animales.
- Usos del suelo tales como pérdida de terrenos productivos y deterioro de los viales.
- Deterioro de espacios naturales de valor.

- Paisaje. Se tiene en cuenta por una parte el cambio de la estructura del paisaje y por otra el cambio de la estructura cromática del mismo.
- Impacto visual.
- Afección a bienes culturales.

El último apartado se dedica a las observaciones y valoraciones generales.

2.3.- Caracterización técnica

En los apartados siguientes se detalla la caracterización técnica de las explotaciones.

2.3.1.- Concentración de las explotaciones y estado actual

Durante el trabajo de campo se han visitado un total de 37 canteras y 35 naves de elaboración (ver mapa de explotaciones y naves de labrado 1:50000). De las 37 canteras, 25 tienen naves de labrado situadas a pie de cantera o en las inmediaciones de la explotación. El resto envían el "rachón" a naves situadas en puntos donde la comunicación es mejor, al estar situadas en lugares próximos a carreteras.

En cuanto a la concentración, hay varias zonas en las cuales hay una cierta aglomeración de explotaciones. En primer lugar, destaca la zona de San Pedro de Trones, donde se sitúan parte de las mayores canteras, tal es el caso de Solana de Forcadas o de Las Arcas. En La Baña existe también una clara concentración, siendo las proximidades del pueblo de La Baña donde se ubican la mayoría de las naves de elaboración de la pizarra explotada en los alrededores del lago de La Baña, lugar donde se concentran la mayor parte de las canteras de la zona. Una tercera zona es la del Valle del río Sotillo, aunque en este caso la concentración es de mucha menor entidad que las dos anteriormente mencionadas. El resto de las explotaciones se encuentran más o menos dispersas en diferentes puntos de La Cabrera.

En los Cuadros II, III, IV y V puede verse cual es el estado actual de naves y canteras en La Cabrera. De la observación de dichas tablas destaca el hecho de que en La Cabrera Alta no se encuentra en estos momentos ninguna explotación en

actividad, debido entre otras causas a la crisis coyuntural del sector pizarrero y a la escasa rentabilidad de los niveles explotados en dichas canteras.

MUNICIPIO	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
Truchas	0	6	6

Cuadro II.- Estado actual de las canteras en La Cabrera Alta

MUNICIPIO	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
Truchas	0	3	3

Cuadro III.- Estado actual de las naves en La Cabrera Alta

MUNICIPIO	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
Benuza	3	9	12
Castrillo de Cabrera	1	1	2
Encinedo	6	4	10
Puente de Domingo F.	4	3	7

Cuadro IV.- Estado de las canteras en La Cabrera Baja

MUNICIPIO	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
Benuza	4	6	10
Castrillo de Cabrera	1	1	2
Encinedo	8	4	12
Puente de Domingo F.	5	3	8

Cuadro V.- Estado de las naves en La Cabrera Baja

2.3.2.- Altitud de las explotaciones

La altitud media de las canteras es de 1146 metros y de 1039 en el caso de las naves. En el Cuadro siguiente puede observarse la distribución de las canteras según su altitud.

INTERVALOS	CANTERAS	NAVES
≤ 600	2	4
601-900	6	7
901-1200	12	15
1201-1500	14	8
> 1500	3	1
Altitud media	1146	1031

Cuadro VI.- Altitud en metros de canteras y naves

En el Cuadro VII se muestra cuál es la distribución de canteras y naves según altitud en las dos Cabrerías.

En el Cuadro VII puede verse que, aunque en La Cabrera Baja se ubican las explotaciones situadas a mayor altitud, es en La Cabrera Alta donde la altitud media es mayor (esto es lógico al ser la altitud media de La Cabrera Alta superior a la de La Baja). La tabla 6 muestra que la mayoría de canteras y naves se sitúan en altitudes comprendidas entre 900 y 1500 metros; esto hace que en muchas ocasiones los accesos a las explotaciones tengan que hacerse mediante pistas que han de salvar fuertes desniveles. La relativa alta cota de las explotaciones condiciona, así mismo, las labores de extracción y transporte de pizarra, debido a que en la temporada invernal es frecuente la aparición de hielo y nieve en estas alturas.

Intervalos	CABRERA ALTA		CABRERA BAJA	
	Canteras	Naves	Canteras	Naves
≤ 600	0	0	2	4
601-900	0	0	6	7
901-1200	1	2	11	13
1201-1500	5	1	9	7
> 1500	0	0	3	1
Altitud media	1287	1226	1118	1013

Cuadro VII.- Altitudes en metros de las naves y canteras en La Cabrera Alta y Baja

2.3.3.- Tipo de pizarra explotada

En el Cuadro VIII puede observarse el número de canteras que se explotan en las distintas formaciones de pizarra existentes en la zona:

FORMACIÓN	Nº DE CANTERAS
Luarca	7
Casaio	1
Rozadais	27
Losadilla	2

Cuadro VIII.- Nº de canteras explotadas en las distintas formaciones

Separando las canteras ubicadas en La Cabrera Alta de las de La Cabrera Baja, los datos que se obtienen se muestran en el Cuadro IX.

FORMACIÓN	CABRERA ALTA	CABRERA BAJA
Luarca	4	3
Casaio	0	1
Rozadais	2	25
Losadilla	0	2

Cuadro IX.- Formaciones explotadas en La Cabrera Alta y Baja

Si a continuación se considera el estado actual de las explotaciones, el Cuadro X indica cuál es la situación actual en lo que concierne a las distintas formaciones, pudiéndose observar que prácticamente todas las canteras en activo se sitúan en la formación Rozadais, lo cual puede ayudar a ver la gran calidad y continuidad que presentan sus niveles.

En el Cuadro X se observa que la formación más ampliamente representada en las diferentes explotaciones es la Rozadais; también es de tener en cuenta que sólo existe una cantera ubicada en la formación Casaio (aunque esta formación da niveles explotables en la zona de Valdeorras, en La Cabrera no se ha constatado su presencia más que en una cantera situada en las cercanías de Castroquilame). En el Cuadro IX puede verse que, a diferencia de lo que ocurre con La Cabrera Baja, en La Cabrera

Alta la formación más explotada es la Luarca.

Formación	Activas	Inactivas
Luarca	0	7
Casaio	0	1
Rozadais	13	14
Losadilla	1	1

Cuadro X.- Número de canteras explotadas en cada formación y su estado actual

2.3.4.- Canteras

A continuación se detallan las principales características de las canteras situadas en el área de estudio.

2.3.4.1.- Geometría de las explotaciones

Está íntimamente relacionada con la geometría del yacimiento, el cual es consecuencia de la disposición de las capas y niveles litológicos y otras estructuras tectónicas de menor orden. El otro factor de importancia es la topografía que adopta el terreno.

Actualmente, la totalidad de las canteras existentes en la zona de La Cabrera, son explotaciones *a cielo abierto*, tipo *ladera*.

Básicamente dentro de las canteras pueden distinguirse dos o más zonas claramente diferenciadas:

a) Zona de explotación

Aquella en la cual se extraen los bloques de roca para la posterior elaboración de *pizarras para cubiertas*.

En función del método de explotación empleado, los taludes de la cantera serán más o menos regulares. Presentan caras bastante lisas y homogéneas si se sierra con hilo diamantado o cortadoras de banco, y son mucho más irregulares si se utiliza

explosivo y palas excavadoras.

El número y dimensiones de los bancos de explotación está claramente relacionado con la maquinaria empleada o disponible. Por lo general son verticales y su altura no suele sobrepasar los 4-5 m.

b) Zona de desmonte y/o estériles.

Comprende aquellas zonas no explotables, por tratarse de litologías no aptas para la elaboración de placas de *pizarras para cubiertas*, por ser áreas afectadas por estructuras menores tectónicas desfavorables o encontrarse la roca meteorizada.

Normalmente, en éstas se realizan grandes voladuras, dejando un macizo de protección para no dañar la pizarra útil, y retirando posteriormente los escombros mediante medios convencionales (palas cargadoras, excavadoras, camiones y dúmperes).

La relación entre los volúmenes de escombros, obtenido de la zona de estériles y desmonte, y de pizarra aprovechable, puede definir, junto a otros factores, la viabilidad económica de una explotación. De ahí el importante número de explotaciones iniciadas y posteriormente abandonadas existentes en todo el territorio.

Por lo general el desarrollo de la explotación es descendente y, dado que no suelen dejarse bermas de seguridad suficientes, los frentes suelen presentar taludes fuertemente inclinados (subverticales) y de grandes alturas, al límite o incumpliendo las *ITCs de cielo abierto*.

De igual modo las explotaciones, en planta, varían desde pequeño a muy gran tamaño, tomado desde el punto de vista como canteras de *rocas ornamentales*. Las dimensiones oscilan entre la escala decamétrica hasta varios centenares de metros.

A continuación se analiza la información referente a estos aspectos recabada en las 37 canteras visitadas:

Área ocupada

Se considera aquí la superficie total afectada por los diferentes frentes de la explotación, sin incluir el área ocupada por las escombreras. Las medidas que han sido tomadas en campo no son más que meras estimaciones que únicamente sirven para establecer un orden de magnitud, por lo cual no deben tomarse como una medida absoluta de las dimensiones de la cantera. Teniendo en cuenta esto, en el Cuadro XI se da una clasificación de las canteras en función de su superficie ocupada:

SUPERFICIE OCUPADA (m ²)	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
< 10000	2	13	15
10000-100000	11	7	18
> 100000	1	0	1

Cuadro XI.- Área ocupada por las canteras

Volumen de hueco

De la misma forma que en el epígrafe anterior, el volumen del hueco de la cantera ha sido estimado de una manera aproximada. En el Cuadro XII se hace una clasificación de las canteras atendiendo al volumen de hueco creado:

VOLUMEN DE HUECO	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
< 100	0	12	12
100-1000	8	7	15
> 1000	6	1	7

Cuadro XII.- Clasificación de las canteras atendiendo al volumen de hueco creado
(Valores expresados en miles de m³)

Número de frentes

En lo que concierne al número de frentes existentes en cada cantera, se han considerado tanto frentes activos como parados o abandonados a la hora de hacer el

inventario (ver Cuadro XIII).

Nº DE FRENTE	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
1	10	10	20
2	2	10	12
3	2	3	5

Cuadro XIII.- Nº de frentes de explotación existentes en las distintas canteras

Longitud de los frentes

La longitud total de los frentes se ha obtenido como suma de las parciales de cada uno de los frentes que constituyen la cantera en cuestión (Cuadro XIV).

LONG. FRENTE	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
< 100	0	7	7
100-200	8	11	19
> 200	6	4	10

Cuadro XIV.- Longitud total de los frentes de explotación de cada cantera

Talud general de la explotación

Como es lógico, el talud general de la cantera es menor que los taludes parciales de los diferentes bancos y sólo es igual en el caso de una explotación con un único banco. En el Cuadro XV se hace un extracto de los diferentes ángulos de talud que presentan las canteras de La Cabrera.

Como se observa en el Cuadro XV, los ángulos de talud de las explotaciones de La Cabrera son generalmente muy elevados, pudiendo ser en algún caso verticales. Estos fuertes ángulos hacen que los taludes de estas explotaciones presenten una estabilidad precaria.

TALUD GRAL	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
< 70	3	6	9
70-75	6	7	13
76-80	5	8	13
> 80	0	1	1

Cuadro XV.- Taludes generales existentes en las canteras

Altura máxima de la explotación

Este parámetro es uno de los más importantes en lo que se refiere a los aspectos geométricos de la explotación debido a la trascendencia que presenta de cara a la estabilidad de los frentes. Como ya se indicó anteriormente, las explotaciones de la zona presentan unos ángulos de talud muy elevados; esto combinado con las enormes alturas que poseen los mismos hace que muchos de ellos sean geotécnicamente inestables, produciéndose continuos desprendimientos y deslizamientos en los frentes de trabajo. En el Cuadro XVI puede verse cuál es la altura máxima de los frentes de las explotaciones de La Cabrera.

ALTURA MÁXIMA	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
≤ 20	0	8	8
21-40	2	11	13
41-60	5	1	6
61-80	2	1	3
81-100	2	2	4
> 100	3	0	3

Cuadro XVI.- Altura máxima en metros de los frentes de explotación de las canteras de La Cabrera

2.3.4.2.- Métodos y tecnologías de arranque, carga y transporte

Son el conjunto de operaciones y el modo en que éstas se realizan para la extracción de bloques de roca aprovechable, en un yacimiento de pizarras.

Desmonte

Las labores se inician, normalmente, retirando los estériles (roca no aprovechable) en un espacio determinado de terreno que garantice la extracción de pizarra útil.

En esta operación se suelen utilizar explosivos de alto poder rompedor, **voladuras**, para facilitar las labores de arranque y carga de estériles mediante maquinaria apropiada.

Anteriormente las labores de arranque, carga y transporte de estériles se realizaban con la misma maquinaria que la utilizada en la extracción de bloques de pizarra útiles. Sin embargo en la actualidad se tiende por los explotadores hacia una cierta especialización de la misma, con la introducción de máquinas de elevado rendimiento, diferenciando ambas labores.

Arranque: Se realiza por medio de palas de ruedas o de cadenas, excavadoras o empuje mediante bulldozer, previa la utilización de explosivos dejando un macizo de protección.

Carga: Suele utilizarse la misma maquinaria que para el arranque.

Transporte: Mediante dúmperes de alta capacidad o camiones volquete.

Explotación

En las canteras, e incluso dentro de las mismas, se utilizan dos métodos para el arranque de bloques de pizarra aprovechables.

- **Arranque directo mediante pala excavadora combinado con la utilización de explosivo de baja potencia** (pólvora negra o cordón detonante). Es un método relativamente económico, pero produce bloques de caras irregulares y crea muchos desperdicios.
- **Corte o serrado en banco.** Este sistema se va imponiendo lentamente, por el mayor grado de aprovechamiento de la roca y crear caras ya

serradas. Además contribuye a aumentar la estabilidad de los taludes de la explotación. Sin embargo es más caro que el anterior y más lento, por lo que se necesita una preparación previa.

Los elementos de corte, en ambos casos, son refrigerados por circulación continua de agua.

Actualmente se emplean dos técnicas para el serrado de los bloques, aunque para obtener un rendimiento aceptable se requiere que el macizo rocoso no esté muy fracturado:

- **Tronzador o sierra de banco.** Se trata de una máquina con un brazo articulado, en cuyo extremo se encuentra un disco diamantado, que por rotación provoca el corte de la roca. Es lento y la profundidad de corte se limita a un tercio del diámetro del disco, por lo que se requieren varias unidades.
- **Hilo diamantado.** Es la técnica con mayores perspectivas de implantación dentro del sector, por ser más rápido y permitir serrar bloques de gran tamaño.
Primeramente se necesita realizar dos perforaciones, una horizontal y otra vertical. Una vez caladas se introduce el hilo, cuyo movimiento produce el serrado de la roca.

Para el **despegue** de la roca se utilizan los dientes de una pala excavadora o un martillo rompedor de pico plano, actuando sobre los planos de foliación de la roca.

Carga y transporte

Los bloques obtenidos se depositan en una zona de la cantera a la espera de ser cargados. Esta operación se realiza mediante palas de ruedas, sobre camiones o dúmpers adecuados para recibir el bloque, al menos, con una cara plana.

Estos vehículos se encargan de transportar el bloque hasta las naves de elaboración.

Los bloques serrados, con caras regulares, presentan más ventajas para su carga y transporte. Además los cortes producidos en el banco de explotación no precisan ser serrados, con lo que decrece el porcentaje de desechos producidos y por consiguiente se abarata el transporte del mismo.

Del análisis del Cuadro XVII, se saca como conclusión que el método convencional o voladura es el que está más ampliamente difundido en las explotaciones de La Cabrera:

MÉTODO	CABRERA ALTA	CABRERA BAJA	TOTAL
Voladura	6	24	30
Corte mecanizado	0	1	1
Mixto	0	6	6

Cuadro XVII.- Diferentes métodos de arranque utilizados en las canteras de La Cabrera

Considerando ahora únicamente las explotaciones que se encuentran activas (Cuadro XVIII):

MÉTODO	CABRERA ALTA	CABRERA BAJA
Voladura	0	7
Corte mec.	0	1
Mixto	0	6

Cuadro XVIII.- Métodos de arranque utilizados en las explotaciones activas de La Cabrera

Se observa en este caso que las cosas varían sensiblemente con lo que respecta a lo visto en el Cuadro XVII, pudiéndose sacar la conclusión de que, en las canteras en activo, la tendencia es ir a la implantación de métodos mecanizados combinados con el convencional de voladura, si bien es cierto que el método tradicional aún representa el 50% de los utilizados en las canteras en actividad.

2.3.4.3.- Potencia y buzamiento de los niveles explotados

Como se puede observar en el Cuadro XIX, los datos de potencias de los niveles explotables oscilan desde los 20 hasta los 80 metros. Esto es debido, entre

otros factores, a la geometría del yacimiento, ya que la potencia de los niveles varía, por poner un ejemplo, de explotar un flanco normal a hacerlo en la charnela del pliegue (donde la potencia suele aumentar considerablemente por el engrosamiento de la misma).

Potencia	Activas	Inactivas	Total
≤ 20	4	2	6
21-40	5	3	8
41-60	0	0	0
61-80	2	0	2
> 80	0	0	0

Cuadro XIX.- Potencia de los niveles explotados en las canteras de La Cabrera

Los buzamientos varían desde zonas donde son prácticamente horizontales hasta otras donde la esquistosidad es prácticamente subvertical (ver Cuadro XX).

BUZAMIENTO	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
≤ 15	3	2	5
16-30	3	8	11
31-45	4	3	7
46-60	0	3	3
61-75	0	2	2
76-90	0	1	1

Tabla XX. Buzamiento de los niveles explotados en las canteras de La Cabrera

2.3.4.4.- Escombreras

Proviene de los estériles generados en las operaciones de desmonta y extracción. En la actualidad, estas construcciones mineras constituyen uno de los principales problemas de la zona, aún sin resolver de un modo satisfactorio.

Los lugares de vertido en esta zona están condicionados por varios aspectos, aunque no todos ellos pueden concurrir en la misma explotación.

- Ratio de aprovechamiento bajo o muy bajo, con lo que se genera un volumen muy importante de estériles.
- En general, la topografía del terreno es muy abrupta, lo que dificulta la elección del emplazamiento y la estabilidad de las escombreras. Por tratarse de mantos de poco espesor, y dado el volumen de escombros, suelen ocupar una extensión bastante considerable.
- Derechos mineros con poca extensión y perímetros de formas irregulares, lo que en algunos casos impide la elección más idónea de la zona de vertido, provoca una proliferación y dispersión de escombreras o crea intrusismo entre explotadores.

Prácticamente no existe una planificación en la construcción del vertedero, tratándose en el mayor parte de los casos de *vertido libre*. En alguna cantera de la zona de La Baña y de San Pedro de Trones se observa una cierta ordenación constructiva, acompañadas de algunas labores de restauración.

Las citadas circunstancias conducen, en muchos casos, a la ubicación de escombreras en:

- Zonas de alto valor paisajístico o alta visibilidad, ocupando cauces de ríos o arroyos, o afectando a zonas de interés botánico.
- El desconocimiento previo de la geología de los yacimientos y la disponibilidad de maquinaria da lugar a que, en algunos casos, el escombros sea trasladado varias veces de lugar, con el consiguiente coste.
- En prácticamente ninguna de las escombreras inactivas o abandonadas existentes se observan labores de restauración impulsadas por los antiguos explotadores, realizándose ésta de un modo espontáneo y natural en algunos casos.

A continuación se ofrecen los datos sobre las escombreras de cantera obtenidos del análisis de las fichas:

Tipo de emplazamiento

Generalmente en las canteras de pizarra, el tipo de emplazamiento suele ser en ladera, aunque en otros muchos casos son escombreras de vaguada o emplazamientos mixtos, ladera y vaguada (ver Cuadro XXI).

Emplazamiento		Activas	Inactivas	Total
Ladera		9	13	22
Vaguada		0	2	2
Mixto	Lad.y vag.	4	8	12
	Llano y lad.	1	0	1

Cuadro XXI.- Diferentes tipos de emplazamientos de las escombreras de pizarra en las canteras de La Cabrera.

Tipología

En cuanto a la tipología del vertido, lo único que merece la pena resaltar es que, en la totalidad de las escombreras, el vertido es siempre libre y sin ningún tipo de compactación de los materiales.

Tipo de estériles

Como puede parecer lógico, el tipo de estériles que conforman las escombreras de las canteras son mayoritariamente pizarras, con inclusión en algún caso de cuarcitas y recubrimiento (ver Cuadro XXII).

TIPO DE ESTÉRILES	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
Pizarra	5	13	18
Piz y cuarc.	4	2	6
Piz y recub.	4	8	12
Piz, recub. y cuarc.	1	0	1

Cuadro XXII. Tipos de estériles que conforman las escombreras de las canteras de La Cabrera

Superficie ocupada

Haciendo una clasificación de las escombreras atendiendo a su superficie ocupada, se obtienen los resultados del Cuadro XXIII.

SUPERFICIE	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
≤ 1000	0	0	0
1001-10000	0	10	10
10001-100000	7	13	20
> 100000	7	0	7

Cuadro XXIII.- Clasificación de las escombreras de las canteras de La Cabrera atendiendo a la superficie ocupada en m²

Talud general de las escombreras

Los taludes que presentan las escombreras de las canteras de la zona tienen una media de 37 grados. Debido a que el vertido se realiza de forma libre, el talud que poseen las escombreras es el de reposo los estériles (ver Cuadro XXIV).

TALUD GENERAL	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
≤ 32	4	1	5
33-34	1	1	2
35-36	3	3	6
37-38	2	7	9
39-40	6	9	15

Cuadro XXIV. Ángulo de talud de las escombreras de cantera de La Cabrera

Altura máxima de las escombreras

Las fuertes pendientes existentes en gran parte de los lugares donde se ubican las escombreras, hace que éstas presenten en muchos de los casos unas alturas considerables (ver Cuadro XXV). Es frecuente ver en esta zona escombreras con una altura considerable pero con una potencia de escombros muy reducida.

ALTURA MÁXIMA	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
≤ 20	0	5	5
21-40	4	10	14
41-60	2	3	5
61-80	0	1	1
81-100	2	2	4
> 100	6	2	8

Cuadro XXV.- Altura máxima en metros de las escombreras de cantera en La Cabrera

Volumen de escombros

En el Cuadro XXVI se da una clasificación de las escombreras atendiendo al volumen que ocupan.

VOL. OCUPADO	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
≤ 10	0	2	2
11-100	0	13	13
101-1000	5	6	11
> 1000	9	1	10

Cuadro XXVI.- Volumen ocupado por las escombreras de cantera en La Cabrera (Valores en miles de m³)

Granulometría de los estériles

En la totalidad de las escombreras de cantera situadas en La Cabrera la granulometría es extendida, encontrándose en las mismas tamaños desde orden métrico hasta finos.

Revegetación de las escombreras

En algunas escombreras existe cierta revegetación, aunque siempre es parcial y de origen natural. En el Cuadro XXVII puede observarse que únicamente están parcialmente revegetadas alrededor del 25% de las escombreras. La revegetación,

como es lógico, sólo se produce en escombreras abandonadas o en las partes de las activas en las cuales no se efectúan vertidos.

REVEGETACIÓN	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
Si	4	7	11
No	10	16	26

Cuadro XXVII.- Estado de las escombreras de cantera en cuanto a su revegetación

2.3.4.5.- Drenajes y desagües

Prácticamente no existe ningún tipo de drenaje ni desagüe en las explotaciones y/o escombreras, lo que puede producir una merma importante en los factores de seguridad de las citadas construcciones mineras.

No se han construido canales perimetrales que desvíen el curso de las aguas de escorrentía, ni tampoco de desvío de cursos de agua permanentes. Las únicas actuaciones, por cierto muy deficientes, se observan en el cauce del Río Benuza, en el entorno de la cantera *Armadilla*.

En la mayor parte de los casos, la deposición de escombros se realiza por vertido libre, no construyéndose núcleos drenantes en las escombreras que propicien el drenaje de las mismas.

La ausencia de cunetas y otros desagües en buena parte de las pistas y otras vías de comunicación y servicio provoca que las aguas circulen por el interior de éstas, o las corten, causando la destrucción parcial de las mismas y dificultando el tránsito por ellas.

2.3.4.6.- Pistas

Constituyen las vías de acceso y transporte interno de las explotaciones y están conectadas a la exigua red de carreteras de ámbito comarcal. Normalmente son muy deficientes, adoleciendo de una serie de problemas comunes a casi todas ellas.

Suelen aprovechar los antiguos trazados de caminos carreteros o senderos para evitar problemas con las propietarios de los terrenos, con lo que presentan un discurrir sinuoso y pendientes muy irregulares. Por las anteriores circunstancias, suelen tener poca anchura lo que dificulta el transporte y cruce de la maquinaria móvil, acentuado en los casos en los que la topografía es abrupta. En algún caso la pista parte o pasa por núcleos de población con los consiguientes problemas (ruidos, estrechez de los viales, etc).

Ausencia de firme adecuado, lo que provoca abundantes irregularidades en la superficie de la pista, polvo y barro. Las únicas excepciones son los accesos a las canteras inactivas N° 101140216 (tratamiento bituminoso) y N° 111110223 (plataforma de hormigón).

No suelen existir cunetas de desagüe de las pistas, o en caso de haberlas el mantenimiento es muy pequeño. Por esta causa, en las épocas lluviosas, las aguas de escorrentía provocan la destrucción parcial de los viales y la acumulación de sedimentos en los bordes de los mismos.

Esta problemática se acentúa en las pistas o rampas de acceso que comunican los distintos frentes o bancos de explotación, dentro de las propias canteras, haciendo que la circulación en las mismas resulte peligrosa.

Como norma general puede considerarse que las pistas de acceso compartidas por distintas explotaciones presentan un mantenimiento más deficiente que las utilizadas por una sola de ellas.

2.3.5.- Naves de elaboración de pizarra

Son instalaciones específicas donde, mediante un proceso industrial, se transforman los bloques de roca, obtenidos de los yacimientos naturales, en placas delgadas aptas como elemento de cubrición y ornamentación de edificios, viviendas, etc.

El proceso de elaboración se compone de distintas fases, siendo las mas importantes las siguientes:

Descarga de los bloques (*rachones*), procedentes de la explotación.

Exfoliado primario. Mediante cuñas o martillos rompedores, se dividen los bloques según los planos de foliación en tamaños adecuados a la sierras a utilizar.

Serrado. Consiste en el serrado de bloques hasta conseguir otros paralelepíedicos, de menor tamaño y de dimensiones ligeramente superiores a los modelos que se quiere producir. A continuación se realiza una selección de los mismos, desechando los que presentan defectos o imperfecciones.

Exfoliado o labrado. Los bloques seleccionados se dividen, según los planos de foliación, en placas de poco espesor (3-6 mm, en función del mercado al cual van destinadas).

Corte. Mediante cizallas y troqueles se consiguen los formatos estandarizados y con los bordes de las placas de pizarra biselados.

Algunos países demandan que éstas vayan **perforadas** en unas zonas determinadas de la placa para facilitar su clavado en el tejado.

Selección y embalado. En esta fase se clasifican por tamaños y/o formas, se seleccionan por calidades (desechándose las defectuosas) y se embalan en unas jaulas de madera (*pallets*) para su comercialización.

En ciertas ocasiones los bloques de pequeño tamaño, utilizables pero que no compensa transportar a grandes distancias, se aprovechan en naves situadas *a pie de cantera*, con un proceso de fabricación similar al relatado anteriormente. También se destinan a la elaboración artesanal de unos formatos específicos como son: *pizarra a granel*, *pico-pala*, *rombos*, etc, por personal que suele trabajar *a destajo*.

En la zona de La Cabrera, las naves de elaboración presentan las mismas o análogas características a las observadas en las zonas próximas de Valdeorras (Orense) y Quiroga (Lugo).

El grado de tecnificación de las mismas es muy variable, existiendo desde instalaciones dotadas de prácticamente todos los elementos, a otras en condiciones muy

precarias.

Común a casi todas ellas, es la alta incidencia de dos factores negativos, el polvo en suspensión y el ruido ambiental, sobre los operarios que trabajan en el interior de estas instalaciones y a los que afecta en distinto grado, en función de la proximidad a la que se encuentran del foco emisor.

Pocas son las instalaciones en las que se aísla convenientemente las zonas de serrado y labrado. En algunos casos existen naves específicas de serrado, *a pie de cantera* o no, transportándose los bloques cortados a otras naves destinadas exclusivamente al labrado, corte, etc. Estas últimas suelen situarse próximas a las vías de comunicación o cerca de poblaciones.

Para amortiguar la incidencia del polvo en suspensión, suelen utilizarse electroventiladores aspirantes o soplantes, normalmente en las proximidades de la zona de serrado. No todas las naves poseen este tipo de mecanismos.

En el serrado del bloque, para la refrigeración del disco diamantado, se utiliza gran cantidad de agua. En este proceso se incorporan a la misma sólidos en suspensión, sobre todo tamaños finos, que es preciso tratar convenientemente. Lo más común es la construcción de balsas de decantación escalonadas; sin embargo debido a imposiciones administrativas y por el menor coste que supone la reutilización del agua, últimamente se están imponiendo las decantadoras artificiales, combinadas con el uso de floculantes químicos.

En las escombreras de las naves es donde se depositan los desechos causados en el proceso de elaboración de la pizarra. Estas suelen situarse en las inmediaciones de las instalaciones, salvo que no se disponga de terreno suficiente, para evitar el transporte de los escombros. Este tipo de construcciones suele presentar el mismo tipo de características estructurales a las observadas en las zonas de vertido de las explotaciones. El avance de las escombreras es aprovechado para la ampliación de las instalaciones o como zona de almacenamiento.

Las otras instalaciones auxiliares (talleres, almacén, oficinas, comedores, etc), como ya se citó anteriormente, está en relación con la dotación general de la nave. En casos muy concretos muy completas, mientras que en otros estos servicios son mucho

más exiguos.

2.3.5.1.- Superficie ocupada

En cuanto a las naves de elaboración, se puede analizar en primer lugar el tamaño de las mismas, clasificándolas en naves de pequeño, mediano y gran tamaño según que su superficie ocupada sea menor de 800 m², esté entre 800 y 1600 m², o sea mayor de 1600 m², respectivamente. Atendiendo a esto, en el Cuadro 28 se reflejan los datos obtenidos.

Se observa en el Cuadro XXVIII que la mayoría de las naves son de pequeño y mediano tamaño.

TAMAÑO	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
Pequeño	6	9	15
Mediano	9	5	14
Grande	3	3	6

Cuadro XXVIII.- Tamaño de las naves de elaboración

2.3.5.2.- Superficie del parque de pizarras

Aplicando el mismo criterio anterior a la superficie ocupada por los parques de pizarra, se obtiene que la mayor parte de dichos parques son de escasa entidad (Cuadro XXIX), no existiendo en los mismos importantes acumulaciones de palets por ser la pizarra transportada a zonas donde el almacenamiento y la distribución sea más favorable.

TAMAÑO	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
Pequeño	10	7	17
Mediano	4	1	5
Grande	2	4	6

Cuadro XXIX.- Tamaño de los parques de pizarra

2.3.5.3.- Tipo de tratamiento

El tipo de tratamiento existente para los efluentes procedentes de las naves de elaboración queda reflejado en el Cuadro XXX.

Se observa en el Cuadro XXX que aún existe cierta cantidad de naves que no posee ningún tipo de tratamiento de los efluentes procedentes de las naves. Esto lleva consigo que los vertidos de los lodos se realice ladera abajo, llegando a los cauces de ríos y arroyos, provocando la contaminación por sólidos en suspensión de los mismos. Puede verse también que el tratamiento más típico consiste en la construcción de pequeñas balsas de decantación y que en algunas naves existen decantadores de pequeño tamaño para el tratamiento de los lodos.

TIPO DE TRATAMIENTO	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
Ninguno	4	8	12
Balsas	8	9	17
Decantador	6	0	6

Cuadro XXX.- Diferentes tratamientos utilizados para la depuración de los efluentes procedentes de las naves de labrado

2.3.5.4.- Tamaño de las balsas

En cuanto a los tamaños de las balsas, únicamente decir que en la mayoría de los casos se trata de balsas de reducidas dimensiones, utilizándose generalmente varias balsas en serie.

2.3.5.5.- Escombreras

Con la información recabada sobre las escombreras de las naves de labrado, se puede hacer un análisis similar al efectuado con las de las canteras, obteniéndose unos resultados similares aunque con una serie de matizaciones.

Las primeras diferencias aparecen a la hora de estudiar su geometría. Las escombreras de las naves poseen un tamaño mucho menor que las otras, ya que a las naves de labrado llega un "rachón" al que se le ha hecho una cierta preselección en

cantera y el volumen de estériles generado es mucho menor en este caso.

Otra diferencia es en lo referente a los ángulos de talud de las escombreras, ya que mientras las escombreras de las canteras presentan unos taludes medios de 37 grados, los de las naves se acercan a los 40 grados. Esto se debe a que los estériles son en cada caso de diferente forma y tamaño, pues en las escombreras de canteras los estériles poseen una granulometría extendida y formas más redondeadas, y en las de las naves, la granulometría es más homogénea y de formas paralelepípedicas o planas (la mayor parte de los estériles de las escombreras de las naves están formados por bloques y placas de pizarra).

De los Cuadros XXXI a XXXVI pueden observarse los datos que se han obtenido en las escombreras de naves de elaboración, para lo cual se ha seguido un proceso similar al realizado en las de las canteras.

Hay que hacer notar que en algunos casos las escombreras de las naves se encuentran integradas en las de las canteras, y en esos casos, se ha optado por considerar que ambas conformaban una única escombrera.

EMPLAZAMIENTO		ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
Ladera		12	11	23
Vaguada		1	0	1
Mixto	Lad y vag	0	2	2
	Llano y lad	0	0	0

Cuadro XXXI.- Diferentes tipos de emplazamiento de las escombreras de pizarra en las naves de elaboración

SUPERFICIE	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
≤ 1000	1	2	3
1001-10000	5	6	11
10001-100000	6	5	11
> 100000	0	0	0

Cuadro XXXII.- Clasificación de las escombreras de nave de La Cabrera atendiendo a la superficie ocupada en m²

TALUD GENERAL	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
≤ 32	0	0	0
33-34	0	0	0
35-36	0	1	1
37-38	2	1	3
39-40	11	11	22

Cuadro XXXIII.- Ángulo de talud de las escombreras de nave en La Cabrera

ALTURA MÁXIMA	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
≤ 20	6	9	15
21-40	3	3	6
41-60	2	1	3
61-80	0	0	0
81-100	1	0	1
> 100	1	0	1

Cuadro XXXIV. Altura máxima en metros de las escombreras de nave en La Cabrera

VOL. OCUPADO	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
≤ 10	3	5	8
11-100	5	6	11
101-1000	4	1	5
> 1000	0	0	0

Cuadro XXXV.- Volumen ocupado por las escombreras de nave en La Cabrera (Valores en miles de m³)

REVEGETACIÓN	ACTIVAS	INACTIVAS	TOTAL
Si	1	1	2
No	12	12	24

Tabla XXXVI.- Estado de las escombreras de nave en cuanto a su revegetación

2.3.6.- Rendimientos en el proceso productivo

El proceso de explotación y elaboración de "pizarras para cubiertas", como el de cualquier recurso minero, deberá realizarse aplicando los recursos técnicos y humanos de modo que se obtenga la máxima productividad y rentabilidad del mismo.

En el sector de la pizarra se manejan, comúnmente, una sucesión de ratios de aprovechamiento a lo largo del proceso productivo, y que son los que se presentan en la Figura N° 1.

Ratio de aprovechamiento: Todo uno / producto final = MUY VARIABLE (*), ya que depende de la proporción de estériles en el desmonte (1-3 %).

Ratio de aprovechamiento: capa de pizarra / producto final = VARIABLE, depende del tipo de pizarra, estructuras menores, etc (6-12,5 %, valor medio 9-10 %).

Como se ve estos valores oscilan entre unos ciertos intervalos según los casos. Los factores que hacen variar dichos valores a lo largo del proceso productivo son múltiples, entre otros: potencia y disposición espacial de las capas beneficiables dentro del yacimiento, presencia o no de estructuras desfavorables, tipo de pizarra, topografía del terreno, proceso de elaboración de pizarra elegido, etc.

El empleo de otros métodos de arranque (corte y serrado en banco) distintos a los empleados habitualmente (explosivos combinados con palas excavadoras) modifica al alza los ratios de aprovechamiento en banco (capa de pizarra / bloque útil) hasta un 60 %. De igual forma se incrementan los ratios bloque aprovechable / producto final hasta alcanzar el 30 %, siempre que no existan estructuras menores y otros condicionantes desfavorables. El ratio de aprovechamiento de banco / producto elaborado podría alcanzar en este caso el 18 %.

2.4.- Caracterización ambiental

Esta se lleva a cabo a partir del análisis de las fichas ambientales (ficha N° 5), cumplimentadas en las visitas de campo efectuadas a las explotaciones de pizarra del área en estudio.

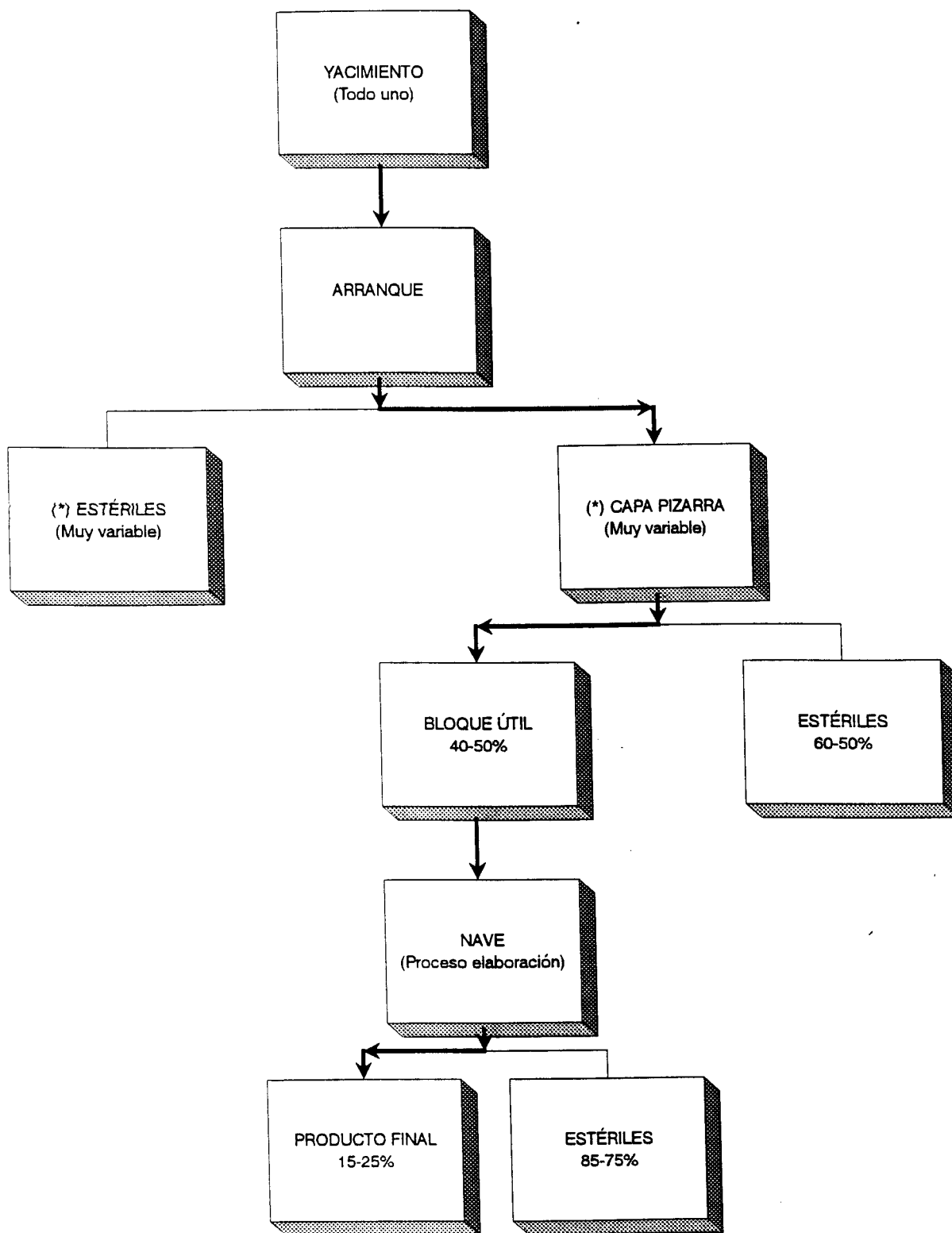


Figura N° 1: Ratios de aprovechamiento a lo largo del proceso productivo

2.4.1.- Identificación de impactos ambientales

En este apartado se pretende identificar las relaciones causa-efecto de los diferentes impactos ambientales que se generan en la explotación de pizarra en la comarca de La Cabrera. Es decir, se analizan las diferentes obras, acciones y operaciones que constituyen la explotación minera en cuanto a su incidencia en los diferentes elementos que constituyen el Medio Ambiente.

En el Cuadro XXXVII puede verse un cuadro resumen de las principales alteraciones causadas por la minería de la pizarra en la comarca de La Cabrera.

2.4.1.1.- Infraestructura

A continuación se especifica el estado de la infraestructura de las explotaciones en estudio.

a) Edificios y plantas

De la observación de las fichas de campo, se puede concluir que los elementos que resultan más afectados debido a la implantación de edificios y plantas son la visibilidad y la calidad del paisaje, y en menor grado, los suelos, vegetación y los usos del suelo. Lógicamente estos impactos están creados por las naves de labrado, puesto que en la mayoría de los casos son las únicas construcciones que existen en las explotaciones de pizarra.

b) Nuevos viales

La construcción de pistas y accesos lleva consigo como problemas más importantes la aparición de procesos de erosión, la alteración de la calidad de las aguas superficiales por arrastre de finos, impacto visual, sedimentación, y generación de polvo.

La causa de todos estos problemas estriba en la deficiente construcción de estos viales, ya que en la mayoría de las ocasiones no se realizan los drenes y cunetas adecuados, ni se cumplen las ITC en cuanto a las pendientes de las pistas. También es de tener en cuenta la excesiva cantidad de pistas existentes en la zona, dando lugar

TABLA 37

Identificación de posibles alteraciones ambientales producidas por la minería de pizarras en la Comarca de La Cabrera

		Atmosf.		Agua		Suelos	Vegetación	Fauna	Procesos geofísicos				Morfología y paisaje		Ambito socio-económico y cultural		Uso del suelo
		Polvo	Ruidos	Superficial	Subterránea				Inundación	Erosión	Sedimentación	Inestabilidad	Visibilidad	Calidad del paisaje	Valores singulares	Viales afectados	
Exploración e Investigación													<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
Infraestructura	Edificios y plantas			<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>						<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Nuevos viales	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>				<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>			<input type="radio"/>
Operación	Perforación	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				<input type="radio"/>									
	Voladura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				<input type="radio"/>									
	Arranque y carga	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				<input type="radio"/>									
	Tranporte y tráfico	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>												<input type="radio"/>	
	Tratamiento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>							<input type="radio"/>						
Modificaciones fisiográficas	Creación de huecos			<input checked="" type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Escombreras y balsas			<input checked="" type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

a que, en las áreas donde existe una cierta concentración de explotaciones, aparezcan las laderas de las montañas sembradas de pistas, llevando consigo un alto impacto visual y paisajístico. Una racionalización a la hora de diseñar las pistas y accesos podría ayudar a mitigar este tipo de afecciones.

2.4.1.2.- Operación

En los puntos siguientes se detallan las operaciones realizadas para extraer la pizarra de estas explotaciones.

a) Perforación

Las labores de perforación no son causantes de graves alteraciones, siendo únicamente resaltables la creación de polvo y ruidos a la hora de efectuar dichas labores.

b) Voladura

Tampoco en las voladuras se encuentran causas importantes de alteración, puesto que normalmente se trata de pequeñas pegas y más esporádicamente mayores a la hora de hacer labores de desmonte. Son los ruidos y el polvo las afecciones reseñables y su afección se circunscribe prácticamente a la vegetación y fauna del entorno inmediato.

c) Arranque y carga

Estas operaciones llevan consigo la aparición de polvo y ruido como alteraciones a destacar, pero teniendo siempre en cuenta que se trata de alteraciones genéricamente poco importantes y de escasa incidencia en el entorno.

d) Transporte y tráfico

Aquí también son únicamente destacables los problemas de polvo y ruido, resultando como elementos más afectados los miembros de las comunidades vegetales y animales de la zona.

e) Tratamiento

Los problemas de polvo y ruido están restringidos al interior de las naves de elaboración. Los lodos procedentes del proceso de elaboración de la pizarra acarrear, en ciertos casos, problemas en las aguas superficiales al producir contaminación por sólidos en suspensión.

2.4.1.3.- Modificaciones fisiográficas

a) Creación de huecos

La apertura de huecos lleva consigo la existencia de alteraciones genéricamente importantes tales como las citadas a continuación:

Visibilidad. El considerable tamaño de los frentes de explotación y la escasa predisposición a la hora de buscar zonas resguardadas de lugares de paso o a la implantación de pantallas visuales, hace que los huecos creados sean visibles desde poblaciones y carreteras.

Vegetación. Las labores de desmonte y apertura de nuevos frentes lleva asociada la eliminación de la vegetación existente en el emplazamiento, lo que acarrea un empobrecimiento de la ya de por sí escasa vegetación autóctona de La Cabrera (el pastoreo ha sido el causante de la destrucción de grandes masas arbóreas en la zona).

Agua superficial. En algunas explotaciones tal como en la cantera de Armadilla, situada en Benuza, la apertura de huecos provoca la interceptación de cauces de ríos y arroyos. Esto hace que las aguas sean desviadas de sus cauces naturales y discurran en muchos casos a través de la explotación, llegando a veces a inundar la plaza de la cantera.

Inestabilidad. La excesiva altura y ángulo de talud que presentan muchas de las explotaciones, conjugado con condiciones geotécnicamente desfavorables, hace que se manifiesten problemas importantes de estabilidad en ciertas explotaciones, pudiendo incluso ocasionar inestabilidades en el entorno de la cantera.

Paisaje. El considerable volumen de hueco creado en las explotaciones provoca importantes modificaciones fisiográficas y alteraciones en la calidad intrínseca del paisaje, tanto en su componente estructural, como por contraste cromático.

En cuanto a las alteraciones consideradas como genéricamente poco importantes se pueden destacar las siguientes:

Suelos. Al estar la mayoría de los frentes situados en laderas no existen graves afecciones a los mismos debido a la escasa entidad que estos poseen en estas zonas.

Erosión. Salvo algún caso concreto, los procesos de erosión no son demasiado importantes, debido a que el escaso espesor de la cobertera hace que en la mayoría de los casos no existan suelos que puedan ser erosionados.

Usos del suelo. Tampoco presentan una gran incidencia las alteraciones de los usos del suelo al estar normalmente las explotaciones situadas en lugares poco adecuados a su utilización para otros fines, o ser el uso generado compatible con otros.

b) Escombreras y balsas

Junto con la apertura de huecos, las escombreras son las causantes de las alteraciones más graves del entorno en las explotaciones de pizarra. Las alteraciones genéricamente importantes más reseñables son:

Visibilidad. En la práctica totalidad de las explotaciones visitadas, se ha observado que las escombreras tienen un considerable desarrollo, ocupando grandes superficies de terreno aunque en muchas ocasiones con poco espesor de los estériles (las fuertes pendientes de la zona hacen que los estériles rueden ladera abajo formando una capa de poco espesor). El alto contraste cromático entre el color grisáceo de la pizarra y la vegetación del entorno, hace que estas escombreras sean observables desde numerosos puntos.

Paisaje. La calidad del paisaje en muchos lugares de La Cabrera es alta. La presencia de enormes montañas de estériles hace que su calidad se vea afectada

tanto por el contraste cromático como por las formas de estas escombreras (en la mayoría de los casos sus formas prominentes contrastan con el paisaje circundante).

Águas superficiales. Las escombreras en muchas ocasiones ocupan los cauces de ríos y arroyos alterando su curso natural, siendo también causantes de importantes problemas de contaminación por sólidos en suspensión.

Sedimentación. Aunque con una menor gravedad que los casos anteriores, la implantación de escombreras da lugar a la formación de procesos de sedimentación aguas abajo, sobre todo en aquellos casos en que los estériles ocupan parcial o totalmente los cauces.

Vegetación. Muchas de las escombreras llegan a ocupar los fondos de valles y barrancos lo que provoca la destrucción de la vegetación de ribera existente. En otras ocasiones llega a afectar poblaciones de vegetación de interés en laderas, como es el caso de afección a robledales y encinedos.

Inundación. En algunas de las explotaciones se han observado riesgos de inundación potencialmente elevados, debidos a la ocupación parcial o total de los cauces por los estériles procedentes de las canteras, como en el caso de la cantera Santa Lucía.

Existe otra serie de alteraciones genéricamente poco importantes tales como:

Suelos. La enorme superficie ocupada por las escombreras de pizarra lleva consigo la eliminación de importantes cantidades de suelo, pero debido a la baja calidad de los mismos en la zona, hace que este tipo de alteraciones pueda considerarse como poco importantes, salvo en los fondos de valles donde la calidad es considerablemente mayor.

Usos del suelo. Prácticamente las únicas zonas afectadas se limitan a los fondos de valles, donde se ven afectados los prados y vegetación de ribera, y algunas laderas en las que existen plantaciones de castaño y de vid, o prados para pastoreo.

Erosión. Los procesos de erosión son menos importantes que los de sedimentación, pero en algunos casos sí son manifiestos, como en el caso de la explotación existente en las cercanías de Marrubio, donde la escombrera está situada a lo largo de un meandro en la zona de ataque del río Cabrera.

Inestabilidades. No son problemas genéricamente importantes, pero es frecuente observar en las escombreras de la zona grietas de tracción en la coronación de las escombreras.

Existen algunos casos en que se ha implantado una escombrera en una ladera ya de por sí inestable, por lo que se aumenta el riesgo de generación de movimientos.

2.4.2.- Valoración de impactos ambientales

Una vez que han sido identificados los diferentes impactos ambientales, se pasa a la valoración de los mismos utilizando para ello la tabla que figura en la parte posterior de la ficha ambiental (ficha nº 5).

Del análisis de estas fichas se han obtenido las siguientes conclusiones en cuanto a la valoración de impactos, teniendo en cuenta que son de carácter general para el área en estudio, pudiendo en algunos casos particulares ser mayor o menor la importancia de estos impactos.

2.4.2.1.- Atmósfera

a) Generación de polvo

Debido a que la mayoría de las visitas de campo realizadas a las explotaciones coincidieron en épocas en las que llovió, no se detectaron grandes problemas debidos a la presencia de polvo en el ambiente, aunque sí es cierto que la gran cantidad de barro acumulado en las pistas hizo pensar que el polvo puede representar problemas en épocas secas. En visitas posteriores se comprobó que la extensa red de pistas existente en la zona estaba cubierta por una capa de polvo de varios centímetros de espesor, lo que provoca que con el tráfico de camiones y otros vehículos el polvo permanezca en la atmósfera en suspensión durante bastante tiempo, dificultando el transporte y provocando la sedimentación de polvo en la vegetación próxima a los

viales. Las operaciones mineras que más inciden en la generación de polvo son el transporte y las labores de explotación. Es de destacar que no existen medidas correctoras que ayuden a mitigar su influencia, y también el carácter temporal que presenta dicha generación.

Entre las posibles medidas correctoras que podrían ser aplicadas destacan:

- El empleo de gravas para mejorar la calidad de las superficies de rodadura.
- La construcción de drenajes adecuados que permitan la correcta evacuación del agua procedente de la escorrentía superficial.
- La utilización de camiones de riego que procuren una menor permanencia del polvo en suspensión durante las épocas secas.
- La adaptación de las pistas a lo establecido en la ITC 07.1.03 sobre el desarrollo de las labores en trabajos a cielo abierto.

b) Niveles sonoros

Los ruidos producidos en las explotaciones de pizarra de la zona no representan afecciones graves al entorno. Entre las causas productoras de ruidos destaca el transporte, sobre todo en los casos en que las máquinas atraviesan núcleos de población. Otro factor causante de ruido es la operación de elaboración de la pizarra, aunque en este caso su influencia se ve limitada prácticamente al interior de la nave y pudiendo mitigarse mediante el empleo por el personal de protecciones acústicas adecuadas. Finalmente, otros causantes de ruidos son las operaciones de perforación, voladura, arranque y carga.

2.4.2.2.- Agua

a) Modificación de la red de drenaje

Las modificaciones en la red de drenaje están producidas casi exclusivamente por las canteras y sus escombreras, ya que las escombreras de las naves no suelen

estar implantadas sobre cauces, y aún en el caso de estarlo en sus proximidades, no presentan generalmente una entidad suficiente para invadirlos.

Estas alteraciones están siempre provocadas por la apertura de los huecos de las canteras y por las escombreras de los estériles. Como norma general, puede decirse que en las explotaciones de la zona existe una modificación de la red de drenaje bastante importante, encontrándose casos de una singular relevancia, tales como en las explotaciones de Armadilla, El Real, Marrubio y Santa Lucía.

Las escombreras presentan una mayor incidencia relativa que la apertura de los huecos. Las causas de ello se deben a factores tales como las fuertes pendientes en las que se ubican, el método constructivo de las mismas y la forma del vertido, entre otros. Este tipo de factores hacen que, en muchos casos, los estériles vertidos lleguen a los cauces de ríos y arroyos, produciendo la invasión u ocupación de los mismos. Destaca por su espectacularidad el caso de la escombrera de la cantera Santa Lucía (situada en las proximidades del pueblo de Odollo), en la cual la escombrera ha ocupado parcialmente el cauce del río Cabrera en unos 1300 metros de su recorrido. Existen otros casos que, aunque presentando una menor espectacularidad, no por ello dejan de tener tanta o más importancia que el anterior, puesto que la ocupación del río ha llegado a ser total, dando lugar a que el río circule infiltrándose a través de los intersticios dejados por los escombros.

Las modificaciones producidas por la creación de huecos presentan una menor importancia que las escombreras, quedando únicamente reducidos a capturas en pequeños arroyos de carácter intermitente. Sin embargo, es destacar el caso de la cantera de Armadilla, la cual ha interceptado el río Benuza, discurriendo el mismo a través de la zona media de la plaza de la cantera.

En cuanto a medidas correctoras puestas en marcha en las canteras inventariadas, éstas son prácticamente inexistentes, limitándose en el mejor caso a la colocación de una pequeña barrera protectora, conformada con estériles, al pie de la escombrera. Únicamente en una explotación situada en Corporales se ha observado la presencia de una entubación a lo largo del cauce del río en las zonas donde se vierte estéril. Se han visto otros casos donde se ha construido un canal para desviar el río de su cauce actual, pero la deficiente construcción de los mismos sólo ha conseguido que se realice parcialmente; tal es el caso de la explotación de Armadilla.

De cara a mitigar los efectos sobre los cauces de los ríos, sería recomendable el realizar una planificación de las escombreras, de manera que se implanten en aquellas zonas donde no se invadan u ocupen cauces de cierta importancia. En aquellos casos que se ocupen cauces de barrancos de menor importancia, se deben diseñar y dimensionar adecuadamente drenajes capaces de evacuar los caudales, sin permitir la invasión del agua en la escombrera.

b) Calidad de las aguas

Se han detectado en la zona ciertos problemas con la calidad de las aguas derivados de los vertidos de estériles y lodos procedentes de las naves de elaboración, consistiendo en todos los casos detectados, en la contaminación física por sólidos en suspensión. Así mismo, la gran cantidad de pistas existentes y el estado en que se encuentran algunas contribuyen a la turbidez de las aguas. Estos problemas se refieren únicamente a sólidos en suspensión, puesto que los análisis de agua llevados a cabo no revelan ningún tipo de contaminación química.

Las escombreras situadas invadiendo u ocupando el cauce de los ríos y arroyos introducen un arrastre de sólidos a la red de drenaje en los momentos de precipitación.

En algunas naves de la zona existen pequeños decantadores para depurar los efluentes procedentes de los procesos de serrado y corte, pero en la mayoría de las explotaciones que realizan tratamientos de los lodos se emplean únicamente balsas de decantación. Existe también cierta cantidad de naves que no efectúa ningún tipo de tratamiento, vertiendo los lodos directamente sobre las escombreras (tal es el caso de la nave de la cantera Santa Lucia donde los lodos van discurriendo sobre la escombrera llegando al arroyo de la Sierra).

Las medidas correctoras deberían estar encaminadas a la construcción de decantadores o de sistemas de balsas de decantación en serie, trabajando en circuito cerrado, evitando de esta manera los vertidos incontrolados sobre los ríos y arroyos de la zona.

2.4.2.3.- Procesos geofísicos

A continuación se especifican los distintos procesos geofísicos a que se ve

sometida la explotación objeto de estudio.

a) Efectos en procesos de avenida

La mayoría de las veces, estos efectos están producidos por las escombreras de las canteras. En líneas generales, los posibles riesgos no son demasiado elevados, salvo algunos casos concretos donde las escombreras han ocupado parcial o totalmente el cauce del río, modificándose las áreas inundables naturales del río. Además, en los momentos de crecida pueden ocasionar un fuerte incremento del caudal sólido, así como problemas de estabilidad en las escombreras por socavación de sus bases. Destacan en lo relativo a este punto las canteras de Santa Lucía y Marrubio.

b) Procesos de erosión-sedimentación

Este tipo de procesos se producen fundamentalmente en los huecos de las canteras y en las escombreras. La erosión predomina sobre todo en los huecos y la sedimentación en las escombreras. También en pistas y accesos se produce este tipo de procesos, lo que acarrea el consecuente deterioro de los viales.

La inexistencia de medidas correctoras es casi general en las explotaciones de la zona. Las únicas actuaciones se refieren en ciertos tramos de las pistas mediante la construcción de cunetas en algunos tramos.

Para mitigar en lo posible tales afecciones, sería necesario que las pistas estuviesen bien drenadas mediante la construcción de cunetas y desagües; en las escombreras sería también aconsejable la construcción de los drenes adecuados, así como la revegetación de su superficie, con el fin de evitar el arrastre de sólidos.

c) Inestabilidad de laderas

Aunque los problemas más importantes se han detectado en las explotaciones situadas en la zona de San Pedro de Trones, el caso más espectacular es el de la cantera Santa Lucía situada en las proximidades de Odollo. En esta última, el fuerte buzamiento a favor de pendiente de la esquistosidad en las capas de pizarra, hace que la ladera sea geotécnicamente inestable. Esto condujo en 1992 a un deslizamiento de toda la ladera donde se ubica la explotación, provocando la destrucción parcial de la

carretera que discurre por encima de la cantera, así como la oclusión de una buena parte del frente de trabajo de la cantera.

En la zona de San Pedro de Trones los efectos se reducen a la presencia de grietas en las laderas. Esto puede representar un riesgo potencialmente importante para las canteras situadas en las proximidades. Las grietas observadas tienen una continuidad bastante considerable, en ocasiones de orden hectométrico, con un desplazamiento de orden centimétrico a métrico en alguna ocasión.

La ausencia de medidas correctoras es absoluta en lo concerniente a estos aspectos.

La introducción de estudios geotécnicos en las explotaciones, con el objetivo de diseñar una geometría de la explotación adecuada, sería una medida a tomar a la hora de prevenir los posibles riesgos.

2.4.2.4.- Suelos

a) Pérdida de suelo vegetal

Generalmente los suelos vegetales de la comarca son de escaso valor edáfico debido a que se trata de suelos poco desarrollados y pobres, siendo las zonas de fondo de valle donde se pueden encontrar los suelos de una mejor calidad.

Al estar las explotaciones situadas en laderas hace que estas pérdidas no revistan una gran importancia. Los problemas más importantes se encuentran en aquellas canteras que vierten sus estériles en fondos de valle.

En todos los casos, las medidas correctoras deben ir encaminadas a la retirada de la tierra vegetal existente en las zonas donde se piensa abrir el hueco, proceder a su acopio y conservación, y finalmente utilizarla para recubrir las escombreras.

2.4.2.5.- Vegetación

a) Pérdida de vegetación natural

El impacto ambiental que supone la pérdida de vegetación al abrir huecos e implantar escombreras es considerable cuando se afecta a masas de bosque en buen estado de conservación, y a comunidades vegetales con presencia de especies endémicas. Otro efecto que puede llegar a ser importante es la afección por polvo a las comunidades vegetales, problema que se presenta en las proximidades de canteras y pistas, si bien el regadío de las mismas puede mitigarlo.

Una de las zonas más frecuentemente afectadas son los fondos de valle, debido a que los vertidos se realizan en laderas de fuerte pendiente, llegando los estériles a invadir espacios donde se instala una vegetación de ribera de gran valor.

Como medida correctora, la revegetación con especies vegetales adecuadas e idóneas en la restauración, puede contrarrestar el efecto de la pérdida de vegetación.

2.4.2.6.- Usos del suelo

a) Deterioro de viales

Por lo que respecta a carreteras, los problemas más importantes se han observado en la cantera Santa Lucía, puesto que un tramo de carretera se vio afectado por un corrimiento de tierras. En el resto de los casos es el transporte, tanto del material extraído como de maquinaria pesada, el que presenta las afecciones mayores, debido a que, por una parte los pavimentos no están preparados para la circulación de vehículos de gran tonelaje y por la otra que los camiones a su paso van dejando un rastro de tierra a su paso, lo que contribuye al deterioro de las vías de comunicación. Los casos más notables se dan junto a la nave de la cantera Santa Lucía y en la zona de unión de la carretera y la pista que va a las canteras de La Baña.

En las pistas y accesos el deterioro es grande al no realizarse prácticamente ninguna labor de mantenimiento.

b) Pérdida de terrenos productivos

Al no existir suelos de buena calidad, lógicamente los terrenos productivos no son muy numerosos, salvo los consabidos fondos de valle donde se pierde el conjunto vegetación de ribera-praderías de fondo de valle.

2.4.2.7.- Espacios naturales

a) Deterioro de espacios naturales de valor

Las únicas alteraciones relevantes se encuentran en las canteras situadas en las proximidades del espacio natural del lago de La Baña. Si bien ninguna de estas explotaciones está situada en el interior del perímetro del Monumento Natural, se hallan en localizaciones muy próximas, y son visibles desde el mismo, así como desde su pista de acceso, que de hecho atraviesa hoy dos explotaciones, por lo que se está deteriorando la componente natural de este paraje.

2.4.2.8.- Paisaje

a) Cambio de la estructura del paisaje

Escombreras y huecos son los causantes de la mayor parte de estas alteraciones que se pueden catalogar como importantes. Tanto unos como otros introducen formas no naturales en el paisaje, que rompen con la estructura natural del mismo.

b) Cambio de la estructura cromática del paisaje

Es una de las alteraciones que más destacan debido al alto contraste entre el color grisáceo que presentan las escombreras y el de la vegetación.

Los causantes de estas alteraciones son principalmente las escombreras de las explotaciones al poseer una gran superficie. Las pistas, huecos y naves son otras de las causas.

Las medidas correctoras son inexistentes en la situación actual, pudiéndose solventar muchos de los problemas con una restauración adecuada de las escombreras.

2.4.2.9.- Visibilidad

a) Impacto visual

Puede decirse que el impacto visual es generalmente muy elevado. Los causantes de esto pueden encontrarse en las escombreras, huecos, naves y pistas. Las primeras son las que presentan unas mayores afecciones debido al espectacular tamaño o superficie que poseen algunas de ellas.

Las medidas correctoras deberían estar encaminadas en el caso de los huecos a la construcción de pantallas visuales, y en el caso de las escombreras a la utilización de métodos constructivos que permitan una mejor integración en el paisaje así como una posterior revegetación.

2.4.2.10.- Patrimonio socio-cultural

a) Afección a bienes culturales

Las únicas afecciones directas se refieren a la ermita de Santa Elena situada en las proximidades de la cantera de igual nombre y un canal romano en las proximidades de Pombriego, posiblemente afectado por la cantera inactiva N° 101020111.

3.- CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

En este apartado se presentan los resultados de la caracterización geotécnica efectuada.

Esta caracterización ha tenido como punto de partida el conocimiento de la geología del yacimiento y se ha realizado, tanto para la roca matriz, como para las discontinuidades estructurales más relevantes.

La caracterización de la roca matriz se ha basado en la realización de ensayos de carga puntual, validados por la ISRM para estimar la resistencia a compresión simple de una roca.

Dadas las características geotécnicas del macizo rocoso que en este caso posee una acusada anisotropía impuesta por la pizarrosidad, y ante la existencia de algunas familias de fracturación que pueden considerarse regionales, se ha hecho mucho hincapié en la caracterización de la pizarrosidad y de las discontinuidades existentes.

A continuación se presentan los resultados de la caracterización geotécnica efectuada.

3.1.- Geología del yacimiento

La zona estudiada, se sitúa dentro del Macizo Hespérico, denominación con la que se conoce la rama de la Cadena Hercínica europea aflorante en la Península Ibérica.

Paleogeográficamente pertenece al Dominio del "Ollo de Sapo" de la Zona Centro-Ibérica. El límite entre las zonas Asturoccidental-Leonesa y Centro-Ibérica sería por medio de un accidente tectónico importante, situado al Norte del Anticlinorio del Teleno.

3.1.1.- Litoestratigrafía

El Dominio del Anticlinorio del "Ollo de Sapo" se caracteriza por el carácter transgresivo y discordante del Ordovícico inferior sobre materiales inferiores al

Cámbrico datado. El Dominio del Caurel-Truchas incluido por MARTÍNEZ CATALÁN en la Zona Centro-Ibérica se ha agrupado dentro del Dominio del Anticlinorio del "Olló de Sapo" por la similitud que presentan sus litofacies.

De muro a techo se pueden distinguir las siguientes unidades litoestratigráficas.

3.1.1.1.- Porfiroide del "Olló de Sapo" (Anteordovícico)

Esta formación porfiroide aflora en una estructura anticlinorial que se continúa desde la costa lucense hasta la región de Sanabria (Zamora), donde desaparece bajo los depósitos terciarios de la Meseta, aflorando de nuevo en el extremo oriental del Sistema Central, al NE de Madrid.

Es un gneis cuarzo feldespático glandular. Atendiendo al tamaño de grano pueden distinguirse dos facies de grano fino y grueso.

Aflora al sur de la Sierra de la Cabrera, en la provincia de Zamora.

3.1.1.2.- Pizarras de los Montes (Ordovícico inferior)

Definida por RIEMER, (1.963) como "Montes Schichten" esta unidad está compuesta por pizarras negras y grises, algunos niveles ampelíticos de poco espesor y por intercalaciones arenosas. En la base con frecuencia se encuentra un nivel cuarcítico o microconglomerático. Su espesor es bastante constante estimándose en unos 300 m.

La mayoría de los autores sostienen el carácter discordante, mas o menos acentuado, de esta unidad sobre el porfiroide del "Olló de Sapo". Suele asignársele una edad Tremadociense.

Aflora en el borde meridional de la Sierra de la Cabrera, dentro de la provincia de Zamora.

3.1.1.3.- Cuarcita Armoricana (Ordovícico inferior)

Esta unidad litoestratigráfica, correlacionada por MATTE, (1.968), con las

cuarcitas del mismo nombre del Macizo Armoricano francés, está formada por cuarcitas blancas masivas y algunos niveles pizarrosos de poco espesor. Su potencia oscila entre los 40-250 m. Produce los mayores relieves de la zona como son las sierras de la Cabrera, Eixe y Teleno.

Por encima de la Cuarcita Armoricana suele reconocerse una alternancia de bancos de cuarcitas, pizarras y areniscas, con algunos niveles ferruginosos hacia techo, a la cual se denomina "Capas de Transición" (RIEMER, 1.963, NOLLAU, 1.966).

3.1.1.4.- Formación Pizarras de Luarca (Ordovícico medio)

Fue descrita por primera vez por BARROIS (1.982) en la costa asturiana, y precisada por BARROS (1.989) en la rama Sur del Sinclinorio de Truchas.

Esta formación está constituida por una monótona sucesión de pizarras grises y negras, con esporádicas intercalaciones arenosas de espesor centi a decimétrico. Hacia techo, y sobre todo en la parte media-alta de la zona de Truchas, presenta abundantes intercalaciones vulcano-sedimentarias. El espesor de esta unidad se calcula en unos 200 m. Según GUTIÉRREZ MARCO et al (1.989) su edad sería básicamente Llanvirniense.

Diferentes niveles de esta formación han sido objeto de tentativa minera (Truchillas, Cunas, Ambasaguas, etc), hasta el momento con escaso éxito.

3.1.1.5.- Formación Casaio (Ordovícico superior)

Esta formación se caracteriza por sus litologías detríticas gruesas en relación a las formaciones infra y suprayacentes (BARROS, 1.989). Equivale al Miembro inferior de la Formación Agüeira de PÉREZ ESTAUN et al. (1.980) y BARROS et al. (1.985).

Está formada por una serie arenoso-cuarcítica con niveles pizarrosos intercalados. Ocasionalmente presenta algún lentejón calcáreo de poco espesor. Su potencia está en torno a los 100 m.

Los niveles explotables de mayor interés, se encuentra hacia la base de la formación y están formados por una capa de pizarra gris, de unos 20-30 m de potencia. Los yacimientos mas importantes se encuentran en el T. M. de Carballeda en la provincia de Orense. En la zona de La Cabrera no existen o tiene un menor interés.

3.1.1.6.- Formación Rozadais (Ordovícico superior)

Se trata de una unidad esencialmente pizarrosa, compuesta por pizarras y limolitas con algunas cuarcitas y areniscas (BARROS, 1.989). La característica mas reseñable es la presencia, hacia la parte alta de la formación, de "diamectitas con cantos". Equivale al Miembro Medio + parte baja del Miembro Superior de la Formación Agüeira de PÉREZ ESTAUN et al. (1.980) y BARROS et al. (1.985). Su potencia se estima unos 200 m.

Se explotan distintos niveles como "pizarras para cubiertas" en los términos municipales de San Pedro de Trones, Benuza, Castrillo de Cabrera y Encinedo.

Esta unidad es la mas interesante, de cara a la explotación de pizarras, de las aflorantes dentro del Sinclinorio de Truchas.

3.1.1.7.- Formación Losadilla (Ordovícico Superior)

Equivale a la parte media y alta del Miembro Superior de la Formación Agüeira de PÉREZ ESTAUN et al. (1.980) y BARROS et al. (1.985). Está compuesta por pizarras con laminaciones arenosas areniscas y cuarcitas (BARROS, 1.989). Las litologías detríticas gruesas son mucho mas abundantes en la parte occidental de la rama Sur del Sinclinorio de Truchas. Su potencia oscila en torno a los 150-200 m.

Existen algunas explotaciones activas de "pizarras para cubiertas" en capas, de unos 15-20 m de potencia, en la base de la formación en el T. M. de Encinedo.

3.1.1.8.- Materiales silúricos (Silúrico)

La descripción mas completa es la realizada por ZEITZ y NOLLAU (1.984) en la parte oriental del Sinclinal del Sil, definiendo una serie de unidades

litoestratigráficas (Pizarras con graptolitos y las formaciones Yeres y Salas). El Silúrico aflorante en el núcleo del Sinclinorio de Truchas es de edad Llandoveryense inferior.

Las litologías dominantes son pizarras ampelíticas y con cloritoide, pizarras con delgadas laminaciones arenosas y areniscas. Hacia el techo, se encuentran también algunos niveles delgados de cuarcitas (Cuarcita de Yeres).

3.1.1.9.- Terciario

Los materiales terciarios están compuestos por arcillas, arenas, gravas y conglomerados dispuestos discordantemente sobre un zócalo formado por rocas metamórficas paleozoicas y depositados en cuencas, que habitualmente, están relacionadas genéticamente con la reactivación de la fracturación tardihercínica.

En el borde noroccidental se encuentran los depósitos paleocenos de "Las Médulas", intensamente explotados por los romanos para la extracción de oro. Existen algunos afloramientos aislados de sedimentos terciarios a ambos márgenes de la cuenca del Río Eria, en la parte mas oriental de la zona estudiada, pertenecientes a la facies de borde la Cuenca del Duero. También se localizan algún que otro retazo terciario en la margen izquierda del Río Cabrera, en las proximidades de Pombriego.

3.1.1.10.- Cuaternario

Son los depósitos más modernos, y adquieren su mayor extensión y espesor en las depresiones tectónicas, donde recubren total o parcialmente a los materiales preexistentes.

Tienen una génesis y composiciones variada, abarcando desde formaciones superficiales de origen fluvial (terrazas, abanicos y llanuras aluviales, fondos de valle, etc), glaciares y fluvio-glaciares, por acción de la gravedad (coluviones, aluviales, etc), lacustres, poligénicas (glacis, etc), hasta formaciones de origen antrópico.

3.1.1.11.- Rocas filonianas

Existen algunas manifestaciones filonianas, representadas por diques de cuarzo

y diabasas de escasa potencia y corrida.

3.1.2.- Tectónica

A continuación se resumen las características estructurales más relevantes que afectan a las formaciones paleozoicas dentro de la comarca de La Cabrera.

3.1.2.1.- Fases de deformación

Existen movimientos tectónicos anteriores a la Orogenia Hercínica, principal responsable de la mayoría de las estructuras observables y que se manifiestan por discontinuidades estratigráficas y discordancias de bajo ángulo. La discordancia la Sárdica entre el Ordovícico inferior y la Formación "Olo de Sapo" en el Dominio del "Olo de Sapo", y la Taciónica situada en la base del Silúrico, indican que se trata probablemente de movimientos epirogénicos, suaves abombamientos o basculamientos, en una tectónica de bloques.

Las principales estructuras, observables a todas las escalas, obedecen a la Orogenia Hercínica, posteriormente afectadas por etapas distensivas que producen su fracturación.

La deformación Hercínica es una etapa de deformación, acompañada de metamorfismo regional y granitizaciones, comprendiendo una secuencia de fases de deformación cuyas características más importantes son las siguientes:

- * **Primera Fase (D1).** Es la mayor desarrollo alcanza en la región, afectando a todos los materiales metamórficos. Produce pliegues a todas las escalas (desde amplitud métrica a kilométrica), con importantes engrosamientos en las charnelas y vergencia al NE, acompañados de una foliación paralela a los planos axiales de los pliegues (Sp), muy penetrativa en las series pelíticas (Slaty- cleavage) y más grosera en las arenoso-cuarcíticas (Rough-cleavage).
- * **Segunda Fase (D2) y la Etapa extensional** no han sido reconocidas en esta área.

- * **Tercera Fase (D3).** Origina el replegamiento longitudinal de las estructuras previas y el desarrollo de nuevos pliegues dando forma a las macroestructuras mas importantes. Asociadas a estos, se generan estructuras menores como son foliaciones espaciadas de crenulación, kink-bands, etc. Estas estructuras suelen ser retrovergentes, es decir inclinadas al Norte, en la mayor parte de los casos.

Además de las tres fases de deformación principales se describen pliegues transversales a la dirección general de las estructuras. Este replegamiento produciría domos y cubetas constituyendo las formas cartográficas actuales.

La deformación tardihercínica produce la fracturación de las estructuras preexistentes tratándose, en la mayor parte de los casos, de fallas con fuerte buzamiento y funcionamiento normal o con un componente horizontal importante. Destacan los sistemas de dirección NO-SE, NE-SO y ENE-OSO.

Suele manifestarse en toda la comarca, de una forma mas o menos intensa, un sistema de diaclasado subvertical de dirección ortogonal a las estructuras de D1.

Las fracturas pudieron haber rejugado durante la Orogenia Alpina, por lo que el salto actual podría no corresponder exclusivamente a los movimientos tardihercínicos. Esta orogenia produciría cubetas tectónicas, que posteriormente se rellenan por los depósitos terciarios.

Algunas de estas fracturas tardihercínicas aparecen cicatrizadas por filones de cuarzo y diabasa.

3.1.2.2.- Estructuras principales

Las estructuras mas importantes visibles en la actualidad, han sido producidas por las diferentes fases de la Orogenia Hercínica, descritas anteriormente. La macroestructura de mayor rango es el Sinclinorio de Truchas, continuación lateral hacia el Este, del Sinclinal del Sil. El Sinclinorio de Truchas está flanqueado por el Sur, por la Antiforma del "Ollo de Sapo", y por el Norte por el Anticlinorio del Teleno. Todos ellos están formados por la interferencia de pliegues de D1 + D3.

3.1.2.3.- Metamorfismo Regional

Los metasedimentos han sido afectados por un metamorfismo regional progrado, simultáneo con la deformación hercínica.

Prácticamente se encuentra dentro de la Zona de la clorita-cloritoide, aunque localmente pudiera alcanzar también la Zona de la Biotita.

3.2.- Litotipos presentes

Una vez reconocida la estratigrafía del Sinclinorio de Truchas, se han agrupado las litologías existentes en litotipos de propiedades mecánicas y litológicas similares.

A partir del análisis previo efectuado se pueden simplificar todas las litologías existentes a tres litotipos:

- Pizarras.
- Pizarras con laminaciones arenosas.
- Cuarcitas.

Se han tomado muestras representativas de los tres litotipos en diferentes lugares del sinclinorio, para efectuar los ensayos geotécnicos previstos, cuyos resultados han sido el punto de partida de la caracterización geotécnica efectuada.

A continuación se enumeran, en los Cuadros XXXVIIIa y XXXVIIIb, la relación de muestras recolectadas y su objeto.

3.2.1.- Ensayos de carga puntual

Durante los trabajos de campo se recolectaron 15 muestras representativas de los tres litotipos citados para realizar ensayos de carga puntual. Con estas 15 muestras se han efectuado un total de 75 ensayos de carga puntual.

MUESTRA	CANTERA	FORMACIÓN ESTRATIGRÁFICA	LITOLOGÍA	TIPO	OBJETO		
					FRANKLIN	TILT-TEST	CORTE DISC.
M-1	CAFERSA (A Fraguña)	CASAIO	Pizarra	Testigo	X	X	
M-2	CAFERSA (A Fraguña)	CASAIO	Cuarcita	Testigo	X	X	
M-3	CAFERSA (A Fraguña)	CASAIO	Piz. con laminaciones	Testigo	X	X	
M-4	CUPIRE (Las Arcas)	ROZADAIS	Pizarra	Testigo		X	X
M-5	CUPIRE (Las Arcas)	ROZADAIS	Pizarra	Testigo	X	X	
M-6	CUPIRE (Las Arcas)	ROZADAIS	Pizarra	Testigo	X	X	
M-7	CUPIRE (Las Arcas)	ROZADAIS	Pizarra	Testigo	X	X	
M-8	PIZARRAS ARMADILLA	ROZADAIS	Pizarra	Testigo		X	X
M-9	PIZARRAS ARMADILLA	ROZADAIS	Pizarra	Testigo		X	X
M-10	PIZARRAS ARMADILLA	ROZADAIS	Pizarra	Testigo	X	X	
M-11	PICAMSA	ROZADAIS	Pizarra	Bloque		X	
M-12	EXPIZSA (Odollo)	ROZADAIS	Pizarra	Bloque		X	X
M-13	EXPIZSA (Odollo)	ROZADAIS	Pizarra	Bloque	X	X	
M-14	EXPIZSA (Odollo)	ROZADAIS	Pizarra	Bloque		X	

Cuadro XXXVIIIa.- Relación de muestras empleadas

MUESTRA	CANTERA	FORMACIÓN ESTRATIGRÁFICA	LITOLOGÍA	TIPO	OBJETO		
					FRANKLIN	TILT-TEST	CORTE DISC.
M-15	EXPIZSA (Odollo)	ROZADAIS	Pizarra	Bloque		X	X
M-16	CANTERA 89 (Marrubio)	ROZADAIS	Pizarra alterada	Bloque	X	X	
M-16'	CANTERA 89 (Marrubio)	ROZADAIS	Pizarra alterada	Bloque	X	X	
M-17	PIZARRAS LA CABRERA (Robledo de La Losada)	ROZADAIS	Pizarra	Bloque		X	X
M-18	GONTA, S.A. (Pradín)	ROZADAIS	Pizarra	Testigo		X	X
M-19	GONTA, S.A. (Pradín)	ROZADAIS	Pizarra	Testigo		X	X
M-20	GONTA, S.A. (Pradín)	ROZADAIS	Pizarra	Testigo		X	
M-21	GONTA, S.A. (Pradín)	ROZADAIS	Pizarra	Testigo		X	
M-22	GONTA, S.A. (Pradín)	ROZADAIS	Pizarra	Bloque	X	X	
M-23	GONTA, S.A. (Pradín)	ROZADAIS	Pizarra	Bloque		X	
M-24	PIZARRAS FORNA	LOSADILLA	Pizarra arenosa	Bloque	X	X	
M-25	VILORIA, S.A. (Truchas)	LUARCA	Pizarra	Bloque	X	X	
M-26	CORPORALES	ROZADAIS	Pizarra	Bloque	X	X	
M-27	TRUCHILLAS (Abandonada)	LUARCA	Pizarra	Bloque	X	X	

Cuadro XXXVIIIb.- Relación de muestras empleadas

En el ensayo Franklin se somete a la muestra de roca a un proceso de carga progresiva entre dos piezas de acero de forma cónica, perfectamente alineados. La rotura debe producirse por tracción en un plano diametral que contenga a los dos punzones que cargan la muestra.

La ventaja fundamental de este ensayo es que permite realizar pruebas sobre cualquier tipo de muestra sin que necesariamente sea cilíndrica, y además, dado el tamaño de la prensa este ensayo puede realizarse "in situ".

La Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) ha normalizado este ensayo, aceptándolo como válido para determinar la resistencia a compresión de la roca intacta.

Si P es la fuerza ejercida sobre la muestra en el momento de la rotura y D es la distancia entre los dos punzones, se define como Índice de Carga Puntual o Índice Franklin, al valor resultante de la expresión:

$$I_F = \frac{P}{D^2} \quad (1)$$

Como se ha indicado con anterioridad este índice se relaciona con la resistencia a compresión simple de la roca intacta (σ_c), mediante una constante que varía entre 17,5 y 25, en función del diámetro de la muestra, tomándose 22,5 como el valor más habitual (50 mm) de forma que

$$\sigma_c \text{ (MPa)} = 22,5 I_F \quad (2)$$

Para evitar el empleo de muestras cilíndricas y de un diámetro dado y para realizar un mejor ajuste de la resistencia a compresión simple, BROOK (1.977) propuso la expresión:

$$\sigma_c \text{ (MPa)} = 12,5 \cdot T_{500} \quad (3)$$

donde T_{500} es el índice de carga obtenido en un ensayo Franklin realizado con una muestra de 500 mm² de sección transversal. Este índice T_{500} puede ser estimado

mediante la expresión:

$$T_{500} = 211,5 \cdot \left(\frac{P}{A^{0,75}} \right) \quad (4)$$

Siendo P la fuerza aplicada en el ensayo en el momento de la rotura (MN) y A la superficie de la muestra afectada en la rotura (mm).

En la realización de este trabajo se ha estimado la resistencia a compresión simple σ_c mediante la expresión de BROOK, si bien en los casos en los que la rotura de la muestra se produce en un plano diametral se ha aplicado la aproximación original de FRANKLIN. Los resultados son muy similares en ambos casos.

Todos los ensayos realizados se consideran válidos. De los 75 ensayos, 53 se han efectuado con la dirección de carga dispuesta perpendicular-mente a la estratificación (1), y los 22 restantes con la carga aplicada en el sentido de las capas.

En los Cuadros XXXIX y XL se muestran los resultados de los ensayos. En este análisis se ha diferenciado entre materiales de recubrimiento y niveles de pizarra explotables.

LITOLÓGÍA	DIRECCIÓN DE CARGA	Nº DE ENSAYOS	σ_c (MPa)	CV (%)	σ_{c1}/σ_{c0}
LUARCA	0	1(1)	2,56	----	----
	1	9	97,13	20,9	
CASAIO	0	4	56,9	27,9	2,03
	1	5	115,6	21,5	
ROZADAIS	0	11 (6)	30,5	27,2	3,6
	1	21 (6)	110,3	18,4	
LOSADILLA	0	1	16,1	----	5,8
	1	6 (4)	93,74	9,2	

() Valores desechados

Cuadro XXXIX.- Resultados de los ensayos Franklin realizados sobre pizarras explotables

LITOLOGÍA	DIRECCIÓN DE CARGA	Nº DE ENSAYOS	σ_c (MPa)	CV (%)	σ_{c1}/σ_{c0}
PIZARRAS ALTERADAS	0	----	----	----	----
	1	6 (2)	91,2	2,3	
PIZARRAS LAMINACIONES	0	2	37,5	16,4	----
	1	3	123,0	15,1	
CUARCITAS	0	3	141,3	24,3	----
	1	3	183,6	10,7	

() Valores desechados

Cuadro XL.- Resultados de los ensayos Franklin realizados sobre materiales de recubrimiento

Puede apreciarse la similitud de los valores de resistencia a compresión simple de los cuatro niveles de pizarra explotables, ya que los valores medios de estos oscilan entre los 93,74 MPa de la formación Losadilla y los 115,6 MPa de la formación Casaio. Los coeficientes de variación que se han obtenido pueden calificarse de muy buenos para este tipo de ensayo y litología. Las pizarras alteradas se puede concluir que penalizan en más de un 10% la resistencia de la roca original, si bien este valor es evidente que dependerá del grado de meteorización. Por último, las pizarras con laminaciones se sitúan en un término intermedio entre los valores de las pizarras y los valores obtenidos para las cuarcitas de 183,6 MPa.

Por lo que respecta a la anisotropía de los litotipos, puede afirmarse que tanto para las pizarras como en el caso de las pizarras arenosas la relación σ_{c1}/σ_{c0} tiene un valor medio próximo a 3, mientras que este ratio se reduce drásticamente hasta 1,3 en el caso de las cuarcitas.

En el Anejo IIa se muestra el listado de los 75 ensayos efectuados.

3.2.2.- Propiedades mecánicas de la roca matriz

Para caracterizar el macizo rocoso se ha empleado la clasificación de BIENIAWSKI, que, en esencia, permite asignar a cada tipo de terreno un índice de

calidad denominado ROCK MASS RATIO (R.M.R.) que depende de:

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

Para tener en cuenta la incidencia de estos factores se definen una serie de parámetros, asignándoles unas determinadas valoraciones, la suma en cada caso nos dará el índice de calidad RMR; cuyo rango de variación está comprendido entre 0 y 100.

La influencia de la disposición de las discontinuidades, se valora de distinta forma, según se trate de túneles, taludes o cimentaciones.

En el Cuadro XLI se muestran los criterios de valoración para aplicar la clasificación de Bieniawski.

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

- | | | |
|-----|--------------------------|--------------------|
| I | Roca muy buena | RMR entre 81 y 100 |
| II | Roca buena | RMR entre 61 y 80 |
| III | Roca media | RMR entre 41 y 60 |
| IV | Roca mala | RMR entre 21 y 40 |
| V | Roca muy mala | RMR menor que 20 |

En este caso se ha obtenido el RMR en seis canteras escogidas como las más representativas de todas las situaciones posibles.

En el Cuadro XLII se muestran los resultados de esta estimación.

CLASIFICACION DE BIENIAWSKI (1.979)

I) PARAMETROS DE CALIFICACION

RMR (1) RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE DE LA ROCA INTACTA							
VALOR (Kg/cm ²)	> 2500	1000-2500	500-1000	250-500	50-250	10-50	< 10
VALORACION	15	12	7	4	2	1	0

RMR (2+3) RQD Y SEPARACION ENTRE DIACLASAS																	
JUNTAS POR METRO		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
VALORACION		40	34	31	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
JUNTAS POR METRO		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
VALORACION		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	
VALORACION		9	8	8	8	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6

RMR (4)	RUGOSIDAD DE LAS DIACLASAS				
PERSISTENCIA	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	20 m
	6	4	2	1	0
ABERTURA	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 DE
	6	5	3	1	0
RELLENO	NO HAY	DURO CON ESPESOR < 5 mm	DURO CON ESPESOR > 5 mm	BLANDO CON ESPESOR < 5 mm	BLANDO CON ESPESOR > 5 mm
	6	4	2	2	0
GRADO DE METEORIZACION	NO AFECTADO	LIGERO	MODERADO	ALTO	DESCOMPUESTO
	6	5	3	1	0

RMR (5)	EFECTO DEL AGUA				
ESTADO	SECO	LIGERAM. HUMEDO	HUMEDO	GOTEANDO	CHORREANDO
VALORACION	15	10	7	4	0

II) CORRECCION SEGUN LA ORIENTACION DE LA OBRA

Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzam. 0°-20° cualquier dirección
Excavación hacia buzamiento	Excavación contra buzamiento					
Buzam. 45-90	Buzam. 20-45	Buzam. 45-90	Buzam. 20-45	Buzam. 45-90	Buzam. 20-45	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavor.	Media	Media
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

CANTERA	RMR (1)	RMR (2+3)	RMR (4)	RMR (5)	RMR	
					RANGO	MEDIO
CORPORALES	12 - 4	6	27 - 20	15	60 - 45	52
FORNA	12 - 4	17-14	15 - 11	7 - 4	51 - 33	42
LA BAÑA	12 - 4	6	17 - 16	7	42 - 33	37
LA BAÑA (cuarcitas)	12 - 7	22 - 17	18 - 16	7	81 - 64	72
JUANITA	12 - 4	14 - 9	17 - 12	7 - 4	50 - 32	41
PIFORSA	12 - 4	14 - 6	17 - 14	7	64 - 37	51
ODOLLO	12 - 4	14 - 9	19 - 18	10 - 7	69 - 47	58

Cuadro XLII.- RMR estimados para el macizo rocoso

Como puede apreciarse, los valores medios para los macizos rocosos constituidos por pizarras (y pizarras arenosas) oscilan entre 37 y 58, con un valor medio global de 46 puntos. Por contra, los macizos rocosos formados por cuarcita poseen un RMR medio de 72 puntos. Por tanto, pueden calificarse como de calidad geotécnica MEDIA y BUENA respectivamente.

El siguiente paso en la caracterización geotécnica supone asignar propiedades mecánicas al terreno; partiendo de los ensayos "in situ" y de la clasificación geotécnica realizada.

Las características geomecánicas del macizo rocoso vienen determinadas por el criterio de rotura de HOEK y BROWN. Dicho criterio relaciona las tensiones máxima y mínima correspondientes a un estado de rotura mediante expresión:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m \sigma_3 \sigma_c + S \sigma_c^2} \quad (5)$$

en donde σ_c es la resistencia a compresión simple de la roca intacta y m y s son

función de la litología de la roca y del estado del macizo caracterizado por el RMR. Dicha dependencia viene dada, para un macizo rocoso confinado por las expresiones de Priest y Brown:

$$m = m_i e^{[(RMR - 100)/28]}$$

$$s = e^{[(RMR - 100)/9]} \quad (6)$$

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

En el caso de taludes o macizos rocosos sin confinar las expresiones de Priest y Brown toman la forma

$$m = m_i e^{[(RMR - 100)/14]}$$

$$s = e^{[(RMR - 100)/6]} \quad (7)$$

Los programas de cálculo empleados tienen la posibilidad de utilizar el criterio de rotura de Hoek y Brown, sin embargo, gran parte de los programas de cálculo disponibles, así como la mayoría de las fórmulas analíticas utilizan el criterio de Mohr-Coulomb, definido por la cohesión y ángulo de fricción del macizo rocoso.

Una vez estimados m y s se pueden calcular los valores de la cohesión y fricción del macizo rocoso, ya que existe una relación para un determinado nivel de presión de confinamiento representado por la presión σ , 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:

$$C = (\operatorname{ctg} \varphi - \cos \varphi) \cdot \frac{m \sigma_c}{8} - \sigma \operatorname{tg} \varphi$$

$$\varphi = \text{artg} \left[4 h \cos^2 \left[30 + \frac{1}{3} \text{arc sen} (h^{-3/2}) \right] - 1 \right]^{-1/2} \quad (8)$$

en donde

$$h = 1 + 16 (m\sigma + s \sigma_c) / 3 m^2 \sigma_c$$

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

La resistencia a compresión simple del macizo rocoso, σ_{cs} , viene dada, a partir de la de la roca intacta σ_c^i y el parámetro s de Hoek y Brown, por la fórmula:

$$\sigma_{cs} = \sqrt{s} \sigma_c^i \quad (9)$$

El módulo de elasticidad se puede estimar, a falta de ensayos "in situ", a partir de la expresión de Serafín Pereira:

$$E = 10^{[(RMR-10)/40]} \text{ (GPa)} \quad (10)$$

El coeficiente de Poisson se estima en base a la experiencia en este tipo de materiales, tomándose habitualmente el mismo que el determinado en ensayos de laboratorio para la roca intacta.

En el Cuadro XLIII se presentan las propiedades asignadas a los diferentes tipos de terrenos siguiendo la metodología descrita. En todos los casos se ha considerado la presión de confinamiento que correspondería a una profundidad de unos 50 m, que se considera representativa para las condiciones medias de las canteras existentes.

3.3.- Estudio de la fracturación

En este apartado se presentan los resultados de los trabajos realizados para caracterizar tanto la pizarrosidad como las fracturas principales existentes.

	ROCA INTACTA		MACIZO ROCOSO						
	σ_c^i (MPa)	m,	RMR	E (MPa)	ν	m	s	C (MPa)	ϕ (°)
PIZARRAS	93,74	7,3	46	7943	0,25	0,154	0,000123	0,27	36
CUARCITAS	183,6	16,8	72	35481	0,15	2,273	0,009403	2,84	54

Cuadro XLIII.- Propiedades geomecánicas de los litotipos

Debido a la importancia que la pizarrosidad juega en el comportamiento mecánico de este tipo de terrenos, se ha hecho mucho hincapié en esta caracterización, y se han realizado 92 ensayos de tipo "tilt-test" y 6 ensayos de corte directo sobre discontinuidades.

A continuación se resumen los resultados obtenidos.

3.3.1.- Ensayos "tilt-test"

Los ensayos de tipo "tilt test" son muy sencillos de efectuar pero permiten estimar de una manera bastante fiable el ángulo de fricción del material ensayado.

Para la realización de este ensayo se requieren tres muestras de testigo. Dos de ellas en contacto tangencial se fijan a la superficie de una tabla, y la tercera se sitúa encima de los dos testigos con objeto de que pueda deslizar libremente sobre ellos.

Simpson (1981) demostró que el ángulo α en el que la muestra libre empieza a deslizar está relacionado con el ángulo básico de fricción mediante la expresión:

$$\phi_b = \text{atan}(1,155 \tan \alpha) \quad (11)$$

En total se han efectuado 92 series de 10 ensayos sobre muestras de pizarra y de materiales de recubrimiento.

En el Cuadro XLIV se muestran los resultados obtenidos.

Puede observarse la similitud del ángulo de fricción residual entre los cuatro niveles explotables de pizarra, ya que estos oscilan entre 31° para la formación Rozadais y 34° para las formaciones Casaio y Losadilla. Es interesante resaltar que, al igual que en el caso de los ensayos de carga puntual, las pizarras de las formaciones Casaio y Losadilla poseen unas propiedades mecánicas ligeramente mejores que las otras, sin que esta diferencia justifique desglosar la caracterización para niveles diferentes.

LITOLOGÍA	Nº DE ENSAYOS	ϕ_r (°)	CV (%)
Pizarras/ Pizarras Luarca	15	32	2,3
Pizarras/Casaio	3	34	1,4
Pizarras/Rozadais	57	31	2,2
Pizarras/Losadilla	11	34	4,1
Pizarras laminaciones	3	36	4,5
Cuarcitas	3	39	4,6

Cuadro XLIV.- Resultados de los ensayos "Tilt Test" efectuados

Como puede observarse los valores de los coeficientes de variación, sin rechazar ningún ensayo, son excepcionalmente bajos; lo cual garantiza la validez y fiabilidad de estos ensayos.

En el Anejo IIb se incluyen las 92 series de ensayos efectuados.

3.3.2.- Ensayos de corte directo sobre discontinuidades

Los ensayos de corte directo sobre discontinuidades se han realizado en la caja de Hoek.

Esta caja consta de dos marcos, uno superior y otro inferior. El marco inferior es fijo y el superior móvil, deslizando en sentido horizontal. Entre los dos marcos se coloca un medidor de desplazamientos verticales y horizontales. Primeramente se aplica una tensión normal que deberá permanecer constante durante la aplicación de las tensiones tangenciales. Estas tensiones se van aplicando gradualmente hasta alcanzar la resistencia de pico, continuándose el ensayo hasta que se observa que basta con una carga inferior para mantener el movimiento de corte; esta carga es la resistencia residual.

Se obtienen así los valores de la resistencia de pico y de la resistencia residual para una tensión normal aplicada. A continuación se representan gráficamente los valores de la resistencia de pico al corte para distintos ensayos de la misma muestra, con respecto a los correspondientes valores de las tensiones normales aplicadas, obteniéndose una serie de puntos que se ajustan a la ecuación de una recta de

expresión:

$$\tau = C + \sigma \operatorname{tg} \varphi_p \quad (12)$$

donde C es la cohesión de la discontinuidad y representa la resistencia al esfuerzo cortante del material que mantiene unida la junta, cuando la tensión normal es nula. σ es la tensión normal aplicada y φ_p es el ángulo de fricción del pico.

Si se representa la resistencia residual al corte en función de la tensión normal, se obtiene una relación lineal de la forma

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi_r \quad (13)$$

que muestra que se ha perdido totalmente la cohesión del material cementante que mantiene unidos los labios de la discontinuidad. En el caso de que la discontinuidad sea rugosa y sin relleno, se procederá a estimar la resistencia al corte, mediante la expresión propuesta por Barton:

$$\tau = \sigma_n \operatorname{tag} \left[JRC \log \frac{JCS}{\sigma_n} + \varphi_r \right] \quad (14)$$

donde:

τ = resistencia de pico al corte

σ_n = tensión normal aplicada

JRC = Coeficiente de rugosidad de la junta

JCS = Resistencia a compresión simple de los labios de la discontinuidad

φ_r = Ángulo residual de fricción

En el Anejo IIc se recogen las fichas con los resultados de los ensayos de corte realizados, a partir de los cuales se han ajustado las rectas de Mohr-Coulomb a cada tripleta de ensayos, obteniéndose los resultados que se incluyen en el Cuadro XLV.

MUESTRA	TIPO DE DISCONTINUIDAD	JRC	APERTURA (mm)	RELLENO	PARÁMETROS OBTENIDOS		
					COHESIÓN	FRICCIÓN (°)	
					(kg/cm ²)	PICO	RESIDUAL
M-4	PIZARROSIDAD	4-6	----	----	0,3	41	37
M-8/M-15'	PIZARROSIDAD	0-2	----	----	4,4	31	16
M-9	JUNTA	12-14	2	CUARZO	2,24	60	57
M-12/M-15"/M-17	JUNTA	4-6	0,5	CUARZO	7,5	57	54
M-18	PIZARROSIDAD	6-8	----	----	2,5	46	46
M-19	JUNTA ABIERTA	2-4	< 1	----	----	31	16

Cuadro XLV.- Resultados de los ensayos de corte directo sobre discontinuidades

La primera conclusión es que las juntas rellenas de cuarzo poseen unas propiedades mecánicas que incluso superan las de la roca matriz en el caso de las pizarras. De hecho, varios de los ensayos previstos para realizar el corte sobre una discontinuidad de este tipo rompieron por la propia pizarrosidad poniendo de manifiesto que esto es el punto más débil. Estas juntas pertenecen al diaclasamiento regional de dirección perpendicular a las estructuras de fase D_1 y subverticales.

Los valores obtenidos son bastante homogéneos, si bien en la pizarrosidad tiene mucha importancia la rugosidad que esta posea, y que fundamentalmente se debe a la existencia de "kinks-bands" y/o crenulaciones.

3.3.3.- Propiedades mecánicas de las discontinuidades

Una vez determinadas las características principales de las familias de juntas predominantes en el yacimiento, y realizados los ensayos de corte directo sobre muestras de las discontinuidades más representativas, se puede proceder a la caracterización de las discontinuidades estructurales y pizarrosidad.

En efecto, mediante los ensayos de corte directo se han determinado para algunas discontinuidades y con diferentes tensiones normales σ_n , los valores de la resistencia de pico al corte. Esto permite ajustar la ecuación definida en la expresión (12), y con ello determinar el valor de la cohesión, C , y el ángulo de fricción φ_p de la junta.

En los casos en los que se ha efectuado el ensayo sobre juntas abiertas, el valor de la cohesión es nulo.

El ensayo de corte también permite obtener el ángulo residual de fricción, ajustando la recta definida en la expresión (13).

Como resultado de los ensayos de corte y de los ensayos "tilt-test" realizados, en el Cuadro XLVI se muestran las propiedades mecánicas de las familias de discontinuidades diferenciadas en los trabajos de campo.

FAMILIA	FRICCIÓN		COHESIÓN C (kp/cm ²)	CONTINUIDAD	JRC	ESPACIADO	APERTURA (m)	RIGIDEZ NORMAL Kn (MPa/m)	RIGIDEZ TANGENCIAL Ks (MPa/m)	RELLENO
	ϕ_p	ϕ_r								
PIZARROSIDAD	36	33	1,0	> 20 m	0 - 4 (6 - 8)	mm	< mm	1042	783	---
DIACLASADO REGIONAL	57	54	4,8	> 10 mm	4 - 6 (12 - 14)	Variable	mm	6103	4588	Cuarzo

Cuadro XLVI.- Propiedades mecánicas de la pizarrosidad y de la fracturación regional

Para la correcta caracterización de las discontinuidades es necesario disponer además de los parámetros:

- Rigidez normal (K_n)
- Rigidez tangencial (K_s)

La rigidez tangencial, definida como el desplazamiento cortante necesario para alcanzar la resistencia de pico al corte, viene expresada por el cociente entre la resistencia de pico π , y el desplazamiento correspondiente δ_n , que es la pendiente de la zona elástica de la curva tensión-deformación.

La resistencia de pico al corte se alcanza para desplazamientos que en general no suelen exceder del 1% de la longitud de la discontinuidad que se está ensayando. En estas condiciones se puede definir la rigidez tangencial (K_s) mediante la expresión:

$$K_s = \frac{100}{L} \left[\sigma_n \operatorname{tg} (JRC \cdot \log \frac{JCS}{\sigma_n} + \varphi_r) \right] \quad (15)$$

siendo:

K_s = rigidez de pico ($\text{MN}/\text{m}^2/\text{m}$)

L = longitud de la junta (m)

El último parámetro, la rigidez normal K_n , es la deformación que se produce en dirección perpendicular a la junta cuando está sometida a una tensión de corte. Para el cálculo de la rigidez normal se han empleado las expresiones desarrolladas por Hawaii (1.977) para la obtención de parámetros de entrada a programas de discontinuidades.

Según este autor:

$$K_n = \frac{(1-\nu)E}{(1-2\nu)(1+\nu)(h_1+h_2)} \quad (16)$$

$$K_S = \frac{E}{(1+\nu)(h_1+h_2)} \quad (17)$$

siendo h_1 y h_2 la distancia entre el centro de un bloque y la superficie de contacto del mismo.

De estas expresiones se concluye, que la relación entre K_n y K_s es:

$$\frac{K_n}{K_s} = \frac{1-\nu}{1-2\nu} \quad (18)$$

por lo que la relación K_n/K_s es 1,125 para $\nu = 0,1$

Esto está en consonancia con Kiyama (1.983) que sugiere una relación:

$$K_s = S \cdot K_n \quad (19)$$

siendo S un coeficiente que oscila entre 0 y 1, si bien este mismo autor sugiere el valor de $S = 0,25$ como más habitual.

4.- DEFINICIÓN DE SITUACIONES CARACTERÍSTICAS EN EL YACIMIENTO

La pizarra, al igual que el resto de las rocas metamórficas, debe su origen a tres procesos geológicos que intervienen en su formación: sedimentación, deformación y metamorfismo. Estos se traducen en una serie de factores estratigráficos, estructurales y metamórficos que son, en definitiva, los que controlan la calidad y homogeneidad de la roca y su disposición espacial, y que se detallan a continuación.

Características de la roca

Divididas en dos grupos: **macroscópicas** (fisibilidad, minerales metálicos, homogeneidad de la superficie de foliación, inclusiones, laminaciones arenosas, etc) y **microscópicas** (textura, composición mineralógica, tamaño de grano, grado metamórfico, etc).

La roca debe reunir una serie de parámetros mínimos, entre los que destaca la fisibilidad, para que pueda ser explotada como pizarra para cubiertas, dependiendo la calidad del producto elaborado del grado de cumplimiento de dichos parámetros.

Características del yacimiento

Dependen, fundamentalmente, de la estructura geológica y del estado de fracturación del macizo rocoso (diaclasas, kink-bands y otras discontinuidades). Estas estructuras influyen sobre la explotabilidad y el rendimiento de la capa beneficiable, pudiendo determinar la rentabilidad o no del yacimiento.

Existen otros condicionantes no geológicos de gran importancia para la ubicación de áreas explotables, como son su posición geográfica, accesos, situación de vertederos, disponibilidad de terreno, agua, energía, etc.

La conjunción de factores favorables de tipo geológico, técnicos, económicos, etc, es necesaria para la viabilidad de cualquier explotación.

4.1.- Definición de niveles explotables

En el Sinclinorio de Truchas, por encima de las ortocuarcitas y pizarras de la Cuarcita Armoricana y Capas de Transición, afloran un grupo de formaciones geológicas consideradas como litotectos de pizarra para cubiertas, sobre las que se localizan la totalidad de explotaciones o indicios de interés de esta sustancia. De muro a techo, son las siguientes: Formación Pizarras de Luarca, Fm. Casaio (*), Fm. Rozadais y Fm. Losadilla.

En el esquema adjunto se relacionan las distintas formaciones con las principales áreas mineras.

ZONA GEOGRÁFICA	SITUACIÓN PALEOGEOGRÁFICA		FORMACIÓN GEOLÓGICA	AREAS MINERAS PRINCIPALES
LA CABRERA	ZONA CENTROIBERICA	DOMINIO DEL "OLLO DE SAPO"	PIZARRAS DE LUARCA	TRUCHAS-AMBASAGUAS
				POMBRIEGO
			CASAIO	CASTROQUILAME
			ROZADAIS	SAN PEDRO DE TRONES
				SOTILLO-BENUZA
				LA BAÑA
				ODOLLO-MARRUBIO
			QUINTANILLA DE LOSADA-CORPORALES	
LOSADILLA	FORNA			

A continuación se describen las características más importantes de las mismas, dentro de las zonas de explotación actuales, agrupadas por áreas geográficas o de caracterización tecnológica.

a) Pizarras de Luarca

La formación está constituida por una monótona sucesión de pizarras negras y grises con esporádicas laminaciones arenosas de espesor centimétrico o decimétrico. Presentan un tamaño de grano medio o fino y frecuentes metálicos (piritas y pirrotina) de formas y tamaños muy variados, menos acusados en ciertas áreas de la parte oriental del Sinclinorio.

En algunas zonas se encuentran hacia techo y sobre todo a muro capas ferruginosas características. En La Cabrera, también se reconocen niveles vulcano-sedimentarios intercalados entre las pizarras, siendo muy espectaculares los existentes en las proximidades de Cunas-Truchas.

La potencia total de las Pizarras de Luarca en este dominio se estima en unos 200 m.

La posición espacial de la foliación principal varía desde unos 25-30° al Sur, en la zona suroccidental de La Cabrera, para irse verticalizando progresivamente hacia el Norte y Este del Sinclinorio, donde alcanza fuertes buzamientos.

El grado de fisibilidad de la roca es muy variable, oscilando entre medio y bajo. Las superficies de la pizarra, generalmente, son algo rugosas y de aspecto tosco.

Los niveles explotables se localizan en distintos puntos de la sucesión estratigráfica (a muro, parte media y hacia techo de la formación), tal como se desprende de la cartografía geológica, intercalados entre otros no productivos. Las explotaciones más importantes se localizan fuera de la comarca de La Cabrera, en los términos municipales de Carballeda (Prov. de Orense) y Quiroga (prov. de Lugo). Sin embargo debido a su potencia y a la gran extensión de territorio que ocupa se considera a esta formación como un litotecto potencial de "pizarras para cubiertas".

Dentro de La Cabrera la agrupación de canteras más importante, situadas sobre esta formación, se localiza en los TT. MM. de Truchas y Encinedo. Existe otro punto en las proximidades de la localidad de Pombriego (T. M de Benuza).

b) Area de Truchas-Ambasaguas

Se encuentra al Norte de la Sierra de la Cabrera, comprendiendo una zona que abarca desde el Sur de Losadilla, hasta el Norte de la localidad de Cunas.

El interés económico de esta zona es menor que las áreas de explotación situadas en las provincias de Lugo y Orense. Agrupa a un total de ocho explotaciones (ver Cuadro XLVII), aunque ninguna de ellas se encuentra activa en la actualidad.

Nº DE ESTACION (A.N.R.M.I.)	HOJA E. 1/50.000	COORDENADAS		
		UTM (X)	UTM (Y)	UTM (Z)
218	229	701350	4681475	900
219	229	695000	4678920	1340
220	229	701700	4680100	1140
221	229	704300	4678600	1680
224	230	715700	4685120	1420
225	230	714560	4682670	1300
226	230	710100	4680900	1150
227	230	708860	4678660	1220

Cuadro XLVII.- Explotaciones del área Truchas-Ambasaguas

Los yacimientos explotados, en esta área se encuentran en distinta posición estratigráfica dentro de la formación. Así las estaciones 219, 220, 221 se sitúan a muro de la formación, la 218 y 225 hacia techo, el resto ocupa una posición intermedia.

La pizarra suele ser de color oscuro, grano medio a fino. El contenido en metálicos es muy variable, desde alto a bajo, llegando a observarse grandes cristales de pirita, de arista centimétrica. El grado de fisibilidad suele ser medio, con unas superficies algo irregulares y de aspecto tosco.

No existen ensayos de caracterización salvo de la explotación 218 y 219 (incompletos), tratándose el resto de petrografías antiguas poco representativas.

Estación:	(219)(#)	. . . . .	(219) (*)
Peso específico gr/cm ³: . . . . .	--	. . . . .	2,81
Absorción de agua (%):	2,1	. . . . .	0,24
Flexión (kg/cm ²)			
Desecadas: . . . . .	--	. . . . .	572
Embebidas: . . . . .	--	. . . . .	406
Contenido en carbonatos (%): . . . . .	--	. . . . .	0,0
Pérdida de peso por helacidad (%): . . . . .	--	. . . . .	0,2
Choque térmico: . . . . .	--	. . . . .	0,14
Resistencia a los ácidos:	-- (1)	. . . . .	0,41

Observaciones: (1) Decoloración

Fuentes: (*) ITGE, 1.991
 (#) Delegación Provincial de Minas de León, 1.990

La explotación 111, actualmente inactiva, se encuentra al Noroeste de Pombriego.

Nº DE ESTACION (A.N.R.M.I.)	HOJA E. 1/50.000	COORDENADAS		
		UTM (X)	UTM (Y)	UTM (Z)
111	191	687950	4700560	600

Cuadro XLVIII.- Explotación 111

El yacimiento se sitúa hacia muro de la formación. Litológicamente está compuesto por pizarras gris oscuras, algo estriadas y con abundantes metálicos. El grado de fisibilidad de la roca es medio.

c) Formación Casaio

Generalidades

Esta formación se caracteriza por sus litologías detríticas gruesas, mucho mas abundantes que las formaciones infra (Pizarras de Luarca) y suprayacente

(Rozadais), estando formada por una sucesión arenoso-cuarcítica con niveles pizarrosos intercalados.

En la parte suroccidental del Sinclinorio de Truchas, fuera de La Cabrera, se pueden distinguir tres unidades litológicas de menor rango, y que de muro a techo son las siguientes:

- Alternancia decimétrica de areniscas, cuarcitas y pizarras.
- Pizarras grises, de grano medio y grueso con algunas areniscas intercaladas. Tramo explotable.
- Alternancia de areniscas, cuarcitas y pizarras (mas abundantes hacia muro), en bancos de espesor métrico a decimétrico.

La potencia estimada para esta formación varía entre los 60 y 120 m.

Aunque esta formación aflora a lo largo de las ramas Sur y Norte del Sinclinorio de Truchas el tramo pizarroso, explotable en otras zonas próximas de la provincia de Orense, no se ha reconocido en la zona de La Cabrera, por lo que se la considera como una formación estéril en esta comarca.

Nº DE ESTACION (A.N.R.M.I.)	HOJA E. 1/50.000	COORDENADAS		
		UTM (X)	UTM (Y)	UTM (Z)
112	191	686175	4700150	560

CUADRO IL.- ESTACIÓN 112

La estación 112, corresponde a una explotación intermitente de pizarra situada al Norte de Castroquilame. Estratigráficamente se encuentra hacia la base de una serie arenoso-pelítica, situada por encima de la Formación Pizarras de Luarca perteneciente a la rama Norte del Sinclinorio. La capa de pizarras grises, de grano fino, de unos 20 m de potencia se intercala entre cuarcitas areniscas y pizarras con laminaciones. Presenta lentejones calcáreos decimétricos, con abundante fauna.

Los resultados de los ensayos de caracterización tecnológica de este punto son (ITGE, 1.991):

Peso específico gr/cm ³ :	2,74
Absorción de agua (%):	0,92
Flexión (kg/cm ²)	
Desecadas:	567
Embebidas:	261
Contenido en carbonatos (%):	0,0
Pérdida de peso por helacidad (%):	0,22
Choque térmico:	0,08
Resistencia a los ácidos:	0,28

d) Formación Rozadais

Generalidades. Esta formación es fundamentalmente pizarrosa, caracterizándose por presentar en su parte superior abundantes cantos calcáreos y de arenisca, englobados en una matriz pelítico-limolítica. Estos niveles que desaparecen rápidamente hacia la parte Noroeste del Sinclinorio, son correlacionables con las "pelítes à fragments", ampliamente representados en el Hercínico del occidente de Europa. También pueden existir capas de cuarcita de hasta 10-15 m. de potencia, pizarras con laminaciones, etc.

A nivel regional e incluso local se observan importantes cambios laterales de espesor e incluso desaparición por acuñamiento de capas de cuarcita, y es de suponer que existan también en las capas pizarrosas. Por todo ello, la cartografía de esta formación, es particularmente compleja.

GUTIÉRREZ MARCO et al., (1.988) indican Ashgillense superior como la edad mas probable de esta formación.

Los niveles explotados se encuentran en diferentes posiciones de la serie litoestratigráfica, aunque generalmente están por debajo de las "diamectitas con cantos". La ubicación de algunas explotaciones puede resultar problemática cuando no existe este "nivel guía", dada la gran similitud litológica existente en toda la zona. De cualquier forma es la formación de mayor interés minero de todas las aflorantes en el Sinclinorio de Truchas.

A continuación se describen las explotaciones, agrupadas por zonas geográficas,

similitud litológica y con parecida posición estratigráfica, aunque este último concepto no debe tomarse rígidamente. Dentro de La Cabrera, de Oeste a Este, pueden distinguirse las siguientes zonas mineras:

e) Zona de San Pedro de Trones

La denominación procede de la localidad del mismo nombre, al Sur de la cual se asientan un grupo de importantes explotaciones de "pizarras para cubiertas".

Todas las explotaciones ocupan una posición estratigráfica similar, situándose en la parte baja de la Formación Rozadais.

Nº DE ESTACION (A.N.R.M.I.)	HOJA E. 1/50.000	COORDENADAS		
		UTM (X)	UTM (Y)	UTM (Z)
118	191	680300	4694800	1100
119	191	680550	4695800	930
120	191	681350	4695800	850
121	191	681600	4695650	980
122	191	682200	4695280	1200
123	191	682900	4695200	1350
124	191	681650	4694900	1250
155	191	683750	4694400	1390

Cuadro L.- Explotaciones de la zona de San Pedro de Trones

En el nivel explotable, de unos 70 m de potencia, las canteras de pizarra se encuentran situadas tanto a techo (p.e. la 123) como hacia muro de la misma (p.e. la 124). En algunos casos (119 y 124) están limitadas por la existencia de fallas de dirección NO-SE. Estructuralmente las canteras se encuentran en ambos flancos del anticlinal norteado de San Pedro de Trones.

En este grupo de canteras se ha catalogado la variedad comercial La Cabrera (San Pedro de Trones), con las siguientes propiedades: pizarra gris, con una superficie lisa o estriada debido a la presencia de una lineación de intersección entre la estratificación y el plano de foliación ("hebra" de los canteros). Suele tener algunos minerales metálicos en formas cúbicas (<3 mm), dispersos o dispuestos según la lineación de intersección. El grado de fisibilidad de la roca es muy elevado.

Las características tecnológicas son (ITGE, 1.986):

Peso específico:	2,82 gr/cm ³
Absorción de agua:	2,5 %
Resistencia mecánica a la flexión:	350-500 kg/cm ²
Resistencia a las heladas:	No se observan alteraciones
Resistencia a los cambios térmicos:	No se observan alteraciones
Resistencia a los ácidos:	No se observan alteraciones
Contenido en carbonatos:	0,0 %
Utilización recomendada:	Pizarra para cubiertas, en ambientes con moderada contaminación atmosférica.

Otros análisis de caracterización de las explotaciones mas representativas de esta zona son los siguientes:

Estaciones	(118) (*)	(122) (**)	(123) (**)	(124) (#)
Peso específico gr/cm ³ :	2,81	2,80	2,78	2,80
Absorción de agua (%):	2,61	1,20	1,20	0,38
Flexión (kg/cm ²)				
Desecadas:	325	865	760	740
Embebidas:	--	490	490	465
Contenido en carbonatos (%):	---	2,68	0,54	0,3
Pérdida peso por helicidad (%):	0,07	<0,3	0,6-0,91	0,1
Choque térmico:	-0,08 (1)	0	+0,02	---
Resistencia a los ácidos:	-1,36	1,46 (2)	0,99 (3)	---

Observaciones: (1): Alteración de metálicos y aparición de manchas floreadas
(2): Principio de hinchamiento, manchas claras, cambio de color mas claro
(3): Hinchamiento, manchas claras y oscuras, cambio de color mas claro

Fuentes: (*) ITGE, 1.982

(**) LOEMCO, 1.990
(#) PEBOSA SA, 1.989 (NF P 32-301)

Los recursos de esta zona pueden considerarse como muy elevados, sobre todo en algunas concesiones mineras.

f) Zona de Sotillo-Benuza

Esta zona abarca desde la divisoria del río Sotillo por el Oeste, hasta el río Silván por el Este, comprendiendo las vertientes de los ríos Sotillo y Benuza. En su borde Norte se encuentran las localidades de Sotillo de Cabrera y Benuza, mientras que por el Este se sitúan Lomba y Silván.

Los niveles de pizarra se encuentran en la parte inferior y superior de la Formación Rozadais, situadas generalmente por debajo de las "diamectitas con cantos". En ocasiones estas capas están intercaladas entre bancos potentes de cuarcita y arenisca como es el caso de las explotaciones situadas al S y SE de Sotillo de Cabrera.

En esta zona ha sido catalogada la variedad de pizarra conocida como La Cabrera (Benuza), siendo sus características comunes las siguientes: son pizarras de color gris oscuro con una superficie lisa en la cual se aprecia una lineación de intersección provocada por la presencia de laminaciones arenosas muy finas. Presenta inclusiones de minerales metálicos, normalmente en formas pseudocúbicas, de arista menor a 3 mm.

Las características tecnológicas son (ITGE, 1.986):

Peso específico:	2,83 gr/cm ³
Absorción de agua:	1,2 %
Resistencia mecánica a la flexión:	400-500 kg/cm ²
Resistencia a las heladas:	No se observan alteraciones
Resistencia a los cambios térmicos:	No se observan alteraciones
Resistencia a los ácidos:	No se observan alteraciones
Contenido en carbonatos:	0,0 %
Utilización recomendada:	Pizarras para cubiertas en todas las condiciones atmosféricas

La variedad "Benuza" comprende a las explotaciones situadas al Sur de Sotillo de Cabrera y las existentes en las vertientes del río Benuza.

N° DE ESTACION (A.N.R.M.I.)	HOJA E. 1/50.000	COORDENADAS		
		UTM (X)	UTM (Y)	UTM (Z)
158	191	686260	4693920	1400
159	191	685750	4695260	980
160	191	686300	4695950	1000
161	191	686800	4695620	900
162	191	687920	4695240	950
163	191	689350	4692875	1200
164	191	690860	4691150	980
801	191	684450	4694630	1225
802	191	693050	4692550	1050

Cuadro LI.- Explotaciones de la zona Sotillo-Benuza

De todas ellas destaca la estación 163, con grandes frentes y una producción importante (11.660 t en 1.989).

El resto son canteras de tamaño medio, están inactivas o con funcionamiento intermitente. La estación 161, tiene unos taludes verticales importantes, resultando muy problemática su explotación.

Los recursos varían mucho de unas explotaciones a otras aunque para el conjunto de la zona pueden considerarse como elevados.

Los ensayos de caracterización de las explotaciones mas significativas son las siguientes:

Estaciones	(159) (#)	(153) (*)	(157) (##)
Peso específico gr/cm ³ :	2,78	2,80	2,80
Absorción de agua (%):	0,65	0,95	0,45
Flexión (kg/cm ²)			
Desecadas:	753	613	450

Embebidas:	400	437	338
Contenido en carbonatos (%):	<0,2	3,52	0,38
Pérdida de peso por helacidad (%):	0,15	>0,9	---
Choque térmico:	---	+0,01	0,11(2)
Resistencia a los ácidos:	---	1,62 (1)	-0,76 (3)

Observaciones: (1) Hinchamiento y manchas claras
(2) Tenues oxidaciones
(3) Hinchamiento, cambio de color mas claro y mas oscuro

Fuentes: (#) BEORGASA, 1.986 (NF P 32-301)
(*) LOEMCO, 1.990
(##) Mapa de Rocas y Minerales Industriales, E:1/200.000, n°18 "Ponferrada", 1991

g) Zona de La Baña

Se sitúa al Oeste de la población de La Baña, en un valle de morfología glaciaria y que sirve de nacimiento al Río Cabrera.

El nivel de pizarra en explotación, de unos 50-70 m de potencia, se encuentra en la parte baja de la Formación Rozadais, situándose las diferentes canteras tanto a techo como a muro de la citada capa, muy replegada.

En conjunto, los recursos de esta zona se consideran elevados.

Nº DE ESTACION (A.N.R.M.I.)	HOJA E. 1/50.000	COORDENADAS		
		UTM (X)	UTM (Y)	UTM (Z)
205	229	685750	4683740	1680
206	229	686000	4683600	1550
207	229	686740	4683180	1320
208	229	686900	4682800	1300
209	229	687000	4682600	1400
210	229	687350	4681575	1650
211	229	688260	4681120	1460

Cuadro LII.- Explotaciones de la zona de La Baña

La pizarra es de color oscuro, azulada, de grano fino o muy fino con una lineación de intersección producida por la presencia de finas laminaciones arenosas, de espesor milimétrico. Suele presentar algunos metálicos dispersos o bien orientados preferentemente según la antedicha lineación intersección, de formas cúbicas y pequeño tamaño (<3 mm). El grado de fisibilidad de la roca es muy elevado.

En esta zona está catalogada la variedad de pizarra La Cabrera (La Baña), con las siguientes características tecnológicas (ITGE, 1.986):

Peso específico:	2,82 gr/cm ³
Absorción de agua:	2,4 %
Resistencia mecánica a la flexión:	350-500 kg/cm ²
Resistencia a las heladas:	No se observan alteraciones
Resistencia a los cambios térmicos:	No se observan alteraciones
Resistencia a los ácidos:	Decoloración y alteración superficial
Contenido en carbonatos:	0,0 %
Utilización recomendada:	Pizarra para cubiertas, en ambientes con moderada contaminación atmosférica

h) Zona de Odollo-Marrubio

Se localiza principalmente en los márgenes del río Cabrera, fuertemente encajado, y en torno a las localidades de Odollo y Marrubio.

Nº DE ESTACION (A.N.R.M.I.)	HOJA E. 1/50.000	COORDENADAS		
		UTM (X)	UTM (Y)	UTM (Z)
165	191	693750	4692400	960
166	191	695720	4692300	800
167	191	696600	4692120	740
214	229	703425	4689350	750

Cuadro LIII.- Explotaciones de la zona Odollo-Marrubio

Las características principales de la pizarra de esta zona son las siguientes: color gris, tamaño de grano entre fino y medio, superficie algo rugosa con una lineación de intercalación poco marcada. Presenta metálicos en contenido variable, de formas y tamaños muy dispares, destacando los grandes cristales de pirita cúbica, hasta 1 cm de arista, de la estación 214.

En esta zona se ha catalogado la variedad La Cabrera (Odollo) cuyas características tecnológicas son las siguientes (ITGE, 1.986):

Peso específico:	2,83 gr/cm ³
Absorción de agua:	1,8 %
Resistencia mecánica a la flexión:	400-500 kg/cm ²
Resistencia a las heladas:	No se observan alteraciones
Resistencia a los cambios térmicos:	No se observan alteraciones
Resistencia a los ácidos:	Decoloración superficial
Contenido en carbonatos:	0,3 %
Utilización recomendada:	Pizarras para cubiertas en todas las condiciones atmosféricas

Otros ensayos de caracterización son los siguientes:

Estaciones	(166) (#)	(167) (*)
Peso específico gr/cm ³ :	2,80	2,82
Absorción de agua (%):	0,34	2,25
Flexión (kg/cm ²)		
Desecadas:	610	432
Embebidas:	435	---
Contenido en carbonatos (%):	0,2	---
Pérdida de peso por helicidad (%):	<0,1	-0,02
Choque térmico:	---	-0,06
Resistencia a los ácidos:	---	-1,90

Fuentes: (*) ITGE, 1.982

(#) ROCABOA SA, 1.986 (NF P 32-301)

i) Zona de Quintanilla de Losada-Corporales

Se encuentra en el centro de la Sierra de la Cabrera, entre las poblaciones de Quintanilla de Losada, Truchas-La Cuesta y Corporales. El límite oriental lo constituye el cauce del río Cabrera, cuyo nivel de base está unos 400 m por debajo del río Eria perteneciente, este último, a la cuenca del Duero.

Los estudios llevados a cabo recientemente por el ITGE (1.989) en esta zona, han permitido evidenciar una serie de recursos de pizarra de notable interés, poco conocidos. Por ello aunque en esta zona no existen actualmente explotaciones activas de interés, es posible que si los estudios e investigaciones de detalle a realizar son positivos, fructifiquen en una área de especial interés para este sector de las rocas de construcción. Los niveles explotables como "pizarras para cubiertas" se continúan al

Norte de las localidades de Saceda y Castrillo de Cabrera.

Estructuralmente, esta zona constituye el cierre periclinal de la Formación Rozadais en el Sinclinorio de Truchas. Está intensamente replegada en una sucesión de anticlinales y sinclinales apretados de plano axial subvertical y longitud de onda deca o hectométrica.

Nº DE ESTACION (A.N.R.M.I.)	HOJA E. 1/50.000	COORDENADAS		
		UTM (X)	UTM (Y)	UTM (Z)
215	229	703460	4684000	1000
216	229	703125	4683375	1140
217	229	702950	4682050	1170
223	230	711150	4686460	1350

Cuadro LIV.- Explotaciones de la zona de Quintanilla de Losada-Corporales

Los niveles de pizarra explotables, de unos 15 m de potencia, intercalan otro de *pizarra quemada*. Las pizarras son de color oscuro, azuladas, de grano fino, superficie normalmente lisa aunque estriada por la presencia de finas laminaciones arenosas milimétricas. Presenta metálicos dispersos en formas pseudocúbicas o en agregados policristalinos de arista inferior a 3 mm.

Los ensayos de caracterización disponibles son los siguientes:

Estaciones	(216) (#)	(217) (*)
Peso específico gr/cm ³ :	2,81	2,80
Absorción de agua (%):	0,40	0,60
Flexión (kg/cm ²)		
Desecadas:	576	555
Embebidas:	440	384
Contenido en carbonatos (%):	0,7	0,0
Pérdida de peso por helacidad (%):	0,1	0,2
Choque térmico:	---	0,07
Resistencia a los ácidos:	---	0,61

Fuentes: (*) ITGE, 1.991
 (#) CAPILAR SA, 1.985 (NF P 32-301)

j) Formación Losadilla

Constituye la unidad culminante en la mayor parte del Sinclinorio de Truchas, salvo en la zona del Monte Llagarinos, en la parte central de la Cabrera Baja, en donde está recubierta por ampelitas y pizarras de edad silúrica.

Esta unidad litoestratigráfica está formada en su parte oriental por una sucesión de 150 m de pizarras con delgadas intercalaciones arenosas de espesor centí o decimétrico, y algunas areniscas cuya potencia puede alcanzar varios metros. Sin embargo hacia la parte occidental del sinclinorio tiene un carácter detrítico mas grueso con abundantes areniscas y cuarcitas en bancos de potencia decimétrica a métrica.

Los niveles explotables son estrechos, menos de 15 m de potencia, situándose estos a muro y techo de la formación. Litológicamente está compuesta por pizarras grises, silíceas de grano fino o medio, con una superficie rugosa y estriada causada por la presencia de laminaciones arenosas o por el contraste del tamaño de grano de la pizarra. El grado de fisibilidad de la roca es, generalmente, medio o bajo.

Nº DE ESTACION (A.N.R.M.I.)	HOJA E. 1/50.000	COORDENADAS		
		UTM (X)	UTM (Y)	UTM (Z)
212	229	690100	4685475	1400
213	229	694500	4686520	1400

Cuadro LV.- Explotaciones de la formación Losadilla

La explotación 213, situada al norte de la localidad de Forna, es la única, dentro de la formación, cuya actividad es constante a lo largo del año.

Los análisis de caracterización son los siguientes:

Estaciones	(212) (*)	(213) (#)
Peso específico gr/cm ³ :	2,80	2,80
Absorción de agua (%):	0,47	0,39
Flexión (kg/cm ²)		
Desecadas:	480	690
Embebidas:	320	450
Contenido en carbonatos (%):	0,2-0,4	0,4

Pérdida de peso por helacidad (%):	<0,1	<0,1
Choque térmico:	---	---
Resistencia a los ácidos:	---	---

Fuentes: (*) 1.981 (NF P 32-301)
 (#) ARMAT, 1.988 (NF P 32-301)

4.2.- Situaciones geológicas tipo en el yacimiento

En este apartado se describen las situaciones geológicas tipo que pueden presentarse en los yacimientos de pizarras de La Cabrera (León), bajo la óptica de las implicaciones que tienen en la explotación minera.

En especial, se analizan los diferentes elementos estructurales en el yacimiento, definiendo situaciones estructurales tipo que sean representativas, así como, sus condicionantes a la hora de definir los diferentes métodos de explotación minera.

4.2.1.- Elementos estructurales y su relación con la explotación minera

Para el laboreo minero de yacimientos de pizarra deben tenerse en cuenta la disposición espacial de los siguientes elementos estructurales:

- **Estratificación (S_0)**. Relacionada íntimamente con la geometría del yacimiento por la colocación espacial de los niveles litológicos.
- **Foliación principal (S_p)**. Estructura planar muy continua y siempre presente en las litologías pizarrosas.
- **Lineación de intersección S_0/S_p** . (*Hebra* o *febra* de los canteros). Dirección de gran importancia para determinar la continuidad espacial del yacimiento.

Otros elementos estructurales de importancia son: **kink-band**, **foliaciones de crenulación**, **fallas** y **diaclasas**. Estas estructuras menores son las que controlan el estado de fracturación del macizo rocoso.

Para el adecuado planteamiento de una explotación de pizarras deben tenerse

en cuenta, además de todas las estructuras citadas con anterioridad, la topografía del terreno, la cual va a condicionar el sistema de laboreo minero.

Las premisas fundamentales, para un mayor aprovechamiento de la pizarra, son:

El arranque de los bloques debe efectuarse **ortogonalmente**:

- A la dirección de la foliación principal, a favor de la inclinación de la misma.

- A la lineación de intersección S_o/S_p .

El **avance de los frentes**, se hace paralelamente a la estratificación y a la lineación de intersección S_o/S_p , para mantener la continuidad espacial del yacimiento y la homogeneidad en las características de la roca.

En ocasiones estas operaciones no pueden realizarse al estar condicionada la explotación por la topografía del terreno o la existencia de estructuras menores (kink-bands, fallas, diaclasas, etc).

Normalmente, las operaciones de arranque y avance se realizan por el método de bancos descendentes.

Las estructuras observables en la pizarra son: estratificación (S_o), foliación principal (S_p), foliación de crenulación (S_c) y sus respectivas lineaciones de intersección entre S_o/S_p y entre S_p/S_c ; kink-bands (Kb) y fracturas (fallas y diaclasas).

La **estratificación** (S_o) se observa con claridad en los tramos en los que el contraste litológico es grande. En las cuarcitas y areniscas masivas o en ciertos niveles de pizarras esta apreciación resulta muy difícil, o no se ve; detectándose solo en las delgadas intercalaciones arenosas o por el contraste en el tamaño de grano.

La primera fase de deformación hercínica, produce la formación de pliegues a todas las escalas acompañados de una foliación de plano axial (S_p). La reconstrucción de la estructura debe basarse en un control micro y mesoestructural detallado de la estratificación (S_o) y en los criterios de flanco. Las medidas de

orientación realizadas sobre las superficies de estratificación varían bastante, según se trate de flanco normal o invertido.

La **foliación principal** (S_p) en los niveles pizarrosos se dispone inclinada al S-SO (30-80° dependiendo de la zona y rama del Sinclinorio), siendo normalmente la principal de campo.

El grado de fisibilidad de la roca es función tanto del tamaño de grano de la roca como de la homogeneidad textural de la misma; generalmente es elevado en las pizarras y bajo en las areniscas y cuarcitas.

Los **kink-bands** (K_b), son pequeños pliegues de charnela aguda y flancos rectos. El sistema principal es de dirección ONO-ESE, e inclinación hacia el Norte muy variable. El otro es de dirección NE-SO, ortogonal a las principales estructuras, e inclinación variable al NO.

El principal **sistema de diaclasado** es el de dirección NNO-SSE fuertemente inclinado al NE y SO. El espaciamiento es determinante para obtención de bloques de tamaño comercial.

Estas estructuras menores tardías (kink-bands, foliaciones espaciadas de crenulación, diaclasas, etc, crean zonas no recomendables al producir planos adicionales de rotura. La intensidad y espaciamiento de las mismas condiciona la explotabilidad o no de la capa de pizarra, en cualquier caso hacen descender el rendimiento de esta.

4.2.2.- Análisis estructural de canteras tipo

Como consecuencia de todos los factores citados anteriormente y de cara a una caracterización geológica y técnica, se han elegido una serie de canteras tipo representativas de los principales yacimientos existentes en La Cabrera.

Las canteras escogidas son:

- Juanita (Irosa)
- Fuí de Malo (Pizarras La Baña S.A.)

- Solana de Forcadas (Piforsa)
- Santa Lucía (Expiz S.A.)
- Corporales (Inactiva)
- Corralinos (Pizarras Forna S.A.)

Estas seis canteras se han escogido por ser representativas de todos los posibles casos que estructuralmente se pueden presentar, así como de la totalidad de la extensión geográfica del área en estudio.

Se ha elaborado una ficha de características geológico-mineras de cada una de estas explotaciones, que se incluyen en el anexo II. En estas fichas se consideran las características geológicas, especialmente las estructurales (estratificación, foliación, diaclasas, crenulaciones, etc), y las características de tipo minero, como son los datos de la geometría de la explotación y los métodos y técnicas de laboreo. Se incluyen también gráficos de las explotaciones.

En el Cuadro LVI se presenta una síntesis del análisis estructural y minero de estas canteras tipo. Respecto a este cuadro pueden realizarse los siguientes comentarios:

- Todas las explotaciones se encuentran dentro de la zona de La Cabrera, salvo la E-1 situada en el Término Municipal de Carballeda, en la provincia de Orense.
- La mayoría de las canteras tipo se sitúan sobre la Formación Rozadais, como ocurre con todas las explotaciones activas existentes en La Cabrera, salvo la E-1 (Formación Casaio) y la E-6 (Fm. Losadilla).
- En las explotaciones E-1, E-2, E-3 y E-5 se ataca lateralmente la capa de pizarra, siendo el tipo de explotación mas característico, aunque existen importantes diferencias en cuanto a la estructura del yacimiento y la disposición espacial de la foliación principal. La E-1 y E-3 además se toman como modelos a imitar por la tecnología de arranque empleada.
- En la explotación E-4, la capa de pizarra buza en el mismo sentido, aunque menos, que la topografía del terreno, siendo la mas favorable para el arranque del bloque, entre los tres modelos posibles.

Explotación	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6
Nº de clave		101120208	101050121	101070167	111110223	101130213
Denominación	Juanita	Fuí de Malo	Solana de Forcadas	Santa Lucía		Corralinos
Empresa	IROSA	Pizarras La Baña	PIFORSA	Pizarras Expiz, SA		Pizarras Forna, SA
Formación	Casaio	Rozadais	Rozadais	Rozadais	Rozadais	Losadilla
Litología	Pizarras, cuarcitas	Pizarras, cuarcitas	Pizarras, piz. lam.	Pizarras, piz. lam.	Pizarras, cuarcitas	Pizarras, piz. lam.
Estructura	Subvertical	F. normal replegado	Flanco normal a N	Flanco normal	Replegado	Flanco normal
Inclinación Sp	20° al S	40° al S	15° al S	30° al S	Subvertical	45° al S
Lineación So/Sp	12° al ESE	10-15° al ESE	5° al ESE	10° al ESE	10° al ONO	10° al ESE
Inclinación terreno	Bastante al Oeste	Fuerte al Oeste	Bastante al Oeste	Bastante al SO	al NE	al NE
Dirección frente	N-S	N-S	NE-SO	NO-SE	NO-SE	O-E
Direcc. de arranque	S-N y O-E	S-N y O-E	S-N y O-E	S-N y O-E	S-N y E-O	S-N y E-O
Avance frente	O-E	O-E	O-E	SE-NO	O-E	N-S

Cuadro LVI.- Resumen de todas las explotaciones

- Por contra la E-6, en donde el nivel de pizarra buza al contrario de la pendiente del terreno, representa el tipo de explotación mas desfavorable para el arranque de bloque.

Como síntesis, desde el punto de vista de la explotación minera, los elementos estructurales que van a condicionar el ataque, dirección y avance de los frentes, y direcciones de arranque de los bloques de pizarra son la **estratificación, la foliación principal y la topografía del terreno.**

Las estructuras menores, como las diaclasas, kink-bands, crenulaciones, etc, pueden en algunos casos condicionar la explotabilidad de la capa de pizarra, pues crean planos adicionales de rotura, impidiendo la extracción de bloques de tamaño adecuado. Dependiendo del espaciamiento y continuidad de estas estructuras menores disminuirá el rendimiento en la explotación de la capa de pizarra, pudiendo incluso dejar de ser explotable.

Las canteras de pizarra, con el fin de obtener un beneficio óptimo, se deben de planificar teniendo en cuenta las siguientes pautas:

- El avance de los frentes de explotación se debe llevar paralelamente a la dirección de estratificación y a la lineación de intersección S_o/S_p , con el fin de seguir la capa explotable y mantener la homogeneidad en las características de la roca.
- El arranque teórico de los bloques se debe de efectuar según un paralelepípedo con las siguientes caras:
 - * dos planos de foliación
 - * dos planos ortogonales a la foliación y paralelos a la línea de intersección S_o/S_p (hebra de los canteros)
 - * los dos planos restantes serán perpendiculares al plano de foliación y a la lineación de intersección S_o/S_p .

El arranque se realizará a favor de las superficies de foliación, de abajo a arriba, según el ángulo de máxima pendiente de estos planos, y nunca al contrario. Tampoco es muy aconsejable el ataque lateral según la dirección de la foliación,

puesto que en ambos casos se producen roturas adicionales no deseadas.

En función de los tres elementos estructurales principales (estratificación, foliación principal y topografía), existen tres posibles situaciones características en la explotación de la pizarra:

- a) Estratificación y foliación dispuestas paralela o subparalelamente a la ladera, con buzamiento en el mismo sentido de la misma.
Este caso es el más favorable para el arranque del bloque. El ataque a la capa de pizarra se hace frontalmente a la ladera (ver Anejo IIIa. Gráfico de la explotación E-4).
- b) Estratificación y foliación dispuestas paralela o subparalelamente a la ladera, con buzamiento contrario de la misma.
Cuando se presenta este caso se estará en la situación más desfavorable para el arranque del bloque. El ataque a la capa de pizarra debe realizarse con una primera trinchera perpendicular a la ladera, y una segunda trinchera paralela a ella, de manera que el arranque de bloques se lleve en dirección ortogonal a la ladera, en retroceso, desde la segunda trinchera hacia la superficie inicial de la ladera. (ver Anejo IIIa. Gráficos de la explotación E-6).
- c) Estratificación y foliación dispuestas ortogonal o subortogonalmente a la ladera.
Es el caso más numeroso en las explotaciones existentes en la actualidad en La Cabrera. La capa de pizarra se ataca lateralmente, mediante la construcción de una trinchera en dirección perpendicular a la ladera, avanzando la explotación en esa dirección. El arranque de bloque se efectúa desde esa trinchera en dirección paralela a la superficie inicial de la ladera. (Ver anexo IIIa. Gráficos de las explotaciones E-1, E-2, E-3, E-5).

4.3.- Situaciones geotécnicas tipo

En este apartado se describen las situaciones geotécnicas tipo, que pueden sintetizarse en las explotaciones a cielo abierto de pizarras.

Fundamentalmente la estabilidad de una explotación de este tipo va a estar ligada a la pizarrosidad o esquistosidad. No obstante, existen otros elementos que pueden condicionar de forma importante la estabilidad de los taludes de una cantera de pizarra, como son la propia estratificación, la fracturación o diaclasado, y la presencia de coluviones y/o zonas fuertemente alteradas.

4.3.1.- Tipos de rotura

Para llevar a cabo el análisis de la estabilidad local de los taludes, es necesario identificar los mecanismos de rotura posibles a favor de las discontinuidades existentes en el macizo rocoso.

La identificación de la forma de los bloques presentes en el macizo rocoso puede hacerse con ayuda de las técnicas de proyección estereográfica, analizando a partir de los diagramas de círculos máximos las características de los bloques generados. La primera herramienta a utilizar, una vez identificados los bloques, la constituye el análisis cinemático, que consiste en el estudio de la posibilidad de movimiento de los bloques identificados con independencia de las fuerzas físicas que actúan sobre ellos, es decir qué bloques presentan una dirección posible de deslizamiento.

La configuración de los principales tipos de bloques inestables en taludes han sido referidos por Hoek y Bray (1981) según se representa en la Figura N° 2. Los tipos más comunes de rotura según dicha figura son:

- a) Deslizamiento plano.
- b) Deslizamiento en cuña.
- c) Rotura por vuelco ("Toppling").
- c) Rotura circular.

Dentro de La Cabrera la principal discontinuidad estructural es, sin duda, la esquistosidad o foliación. Esta presenta una dirección relativamente constante, salvo en zonas tectónicamente complejas afectadas frecuentemente por fases posteriores. En todas las canteras visitadas su dirección, relativamente constante, es N-100°-E, oscilando en $\pm 10^\circ$ y su buzamiento que, por contra, es muy variable, oscila entre 10 y 60° hacia el Sur.

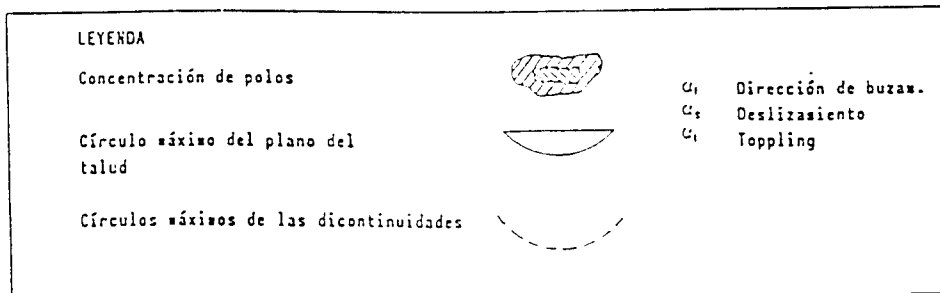
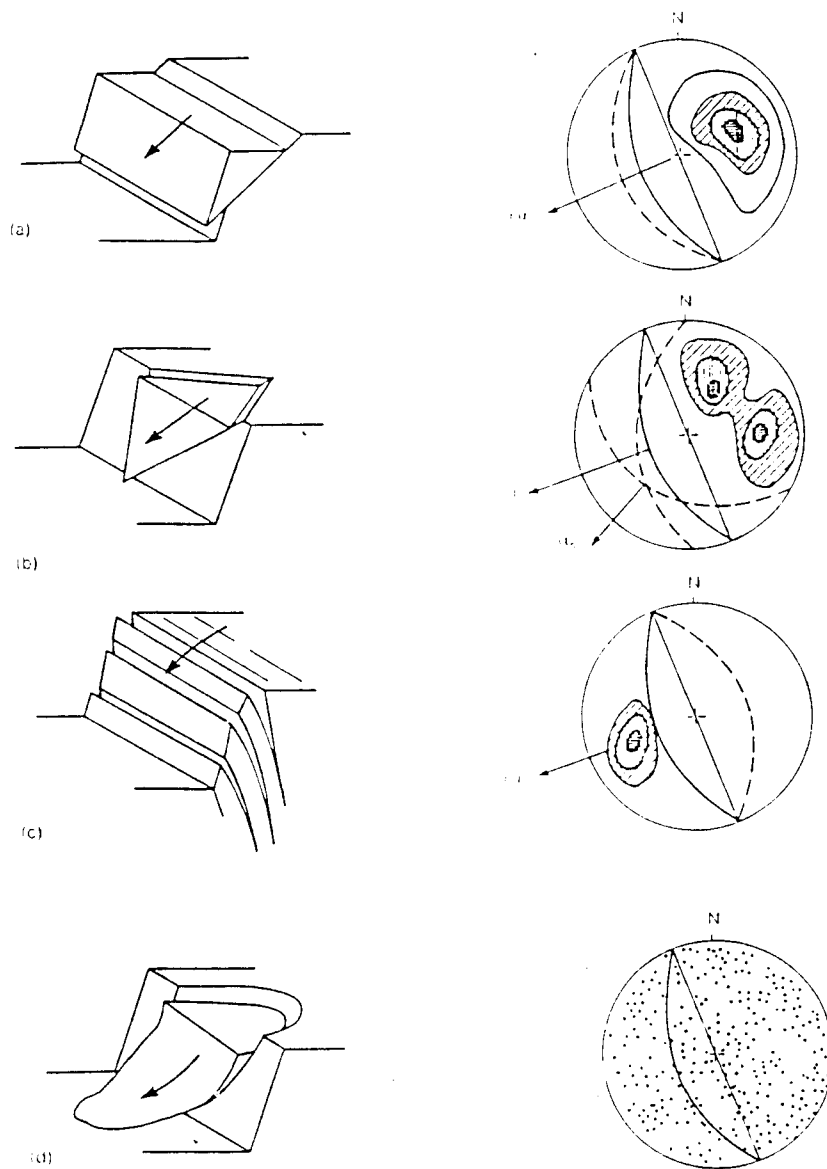


Figura N° 2: Principales tipos de bloques inestables en taludes (Hoek-Bray 1981)

Por lo que se refiere a la estratificación, si bien es muy variable, según el plegamiento; debido a la vergencia general del Sinclinorio de Truchas, mayoritariamente presenta buzamientos al Sur.

Además de la pizarrosidad y de la estratificación existen dos direcciones de fracturación principales que se repiten generalmente de forma regional. La primera presenta una orientación 100/80, oscilando en dirección en $\pm 30^\circ$ y en buzamiento en $\pm 10^\circ$; mientras que la segunda, menos frecuente, posee una orientación 10/50.

Por último, existen dos directrices tectónicas, que presenta kink-bands, crenulaciones, y diaclasas; de direcciones 300/50 y 30/50.

En el reconocimiento efectuado la mayor parte de las inestabilidades están asociadas a la esquistosidad y/o estratificación, y solo ocasionalmente las dos direcciones de fracturación referidas ocasionan la formación de inestabilidades, generalmente en forma de cuñas locales.

En general, la presencia de inestabilidades asociadas a la esquistosidad (S1) corresponderán a roturas planas. Las condiciones para tal tipo de rotura exigen que la diferencia de dirección de buzamiento entre el plano de debilidad y la cara del talud sea pequeña y que el buzamiento del plano de debilidad sea menor que el del talud.

La formación de bloques que deslicen de forma plana se ve favorecida por la presencia de las direcciones de fracturación y/o kink-bands. Por ello en cada caso sería necesario analizar la posibilidad de que los bloques formados puedan deslizarse dentro de la excavación. Dicho análisis debería hacerse para cada una de las orientaciones del talud previstas, y en su caso, de los buzamientos del mismo.

En la rotura en cuña propiamente dicha, el deslizamiento de los bloques se produce a través de la línea de intersección de los dos planos de debilidad. Sin embargo, muchas roturas aparentemente "en cuña", corresponden a deslizamientos planos favorecidos por la "liberación" del bloque a favor de un plano de debilidad.

Las roturas por vuelco son posibles cuando, a similitud de las roturas planas, el plano de debilidad presenta, una dirección prácticamente paralela a la del talud ($+ 30^\circ$), siendo el buzamiento contrario. Este tipo de rotura exige que exista

deslizamiento en los planos de debilidad, es decir que siendo α el buzamiento del talud, δ el de los planos de debilidad, y ϕ el ángulo de fricción del plano de debilidad; se debe cumplir:

$$(90 - \delta) + \phi < \alpha$$

En el caso de La Cabrera la inmensa mayoría de las roturas por vuelco van a estar ligadas a la pizarrosidad.

Finalmente, la rotura circular se da en suelos, materiales homogéneos y macizos rocosos fuertemente diaclasados y sin organización aparente de la red de diaclasas, o fuertemente meteorizadas. Por ello este tipo de inestabilidad va a estar restringido a materiales de recubrimiento cuaternario y a las zonas de alteración.

4.3.2.- Análisis de canteras tipo

Con objeto de intentar conocer la problemática de las inestabilidades descritas en el apartado anterior, dentro del contexto de las explotaciones de pizarra de La Cabrera, se han escogido un total de seis canteras, que se suponen representativas de todos los posibles casos que estructuralmente puedan existir.

Las canteras escogidas son:

- Juanita (Irosa)
- Fuí de Malo (Pizarras La Baña, S.A.)
- Solana de Forcadas (Piforsa)
- Santa Lucía (Expiz, S.A.)
- Corporales (Inactiva)
- Corralinos (Pizarras Forna, S.A.)

De cada una de estas seis canteras se ha elaborado una ficha de características geotécnicas, que se incluyen en el Anejo IIIb.

Para analizar la estabilidad de estas explotaciones, a partir del RMR obtenido, se ha estimado el valor del índice SMR (Slope Mass Ratio) propuesta por Romana (1985), como una aplicación del RMR a taludes.

La clasificación SMR se basa en aplicar al RMR cuatro factores correctores (F1, F2, F3, y F4) que dependen de:

- orientación de las discontinuidades y el talud (F1)
- buzamiento de las discontinuidades y el talud (F2)
- relación entre la cara libre del talud y el buzamiento de la discontinuidad (F3)
- método de excavación utilizado (F4)

de manera que el índice final se obtiene como :

$$SMR = RMR - (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

En el Cuadro XLVII se muestran los criterios de valoración de los parámetros, F1, F2 y F3. El Cuadro XLVIII muestra los valores que toma el factor de corrección F4.

La Figura N° 3, muestra la clasificación de los taludes y las medidas correctoras que son aplicables en función del valor del índice SMR.

En el Cuadro N° LIX se muestran los resultados de esta clasificación.

Como puede observarse, las roturas mas habituales se deben a rotura plana y a rotura por vuelco, asociadas siempre a la pizarrosidad salvo en un caso en el que la rotura plana se produce a favor de la estratificación.

Como síntesis puede concluirse que existen tres situaciones características en todos los taludes estudiados:

- a) Pizarrosidad y/o estratificación dispuesta perpendicular-mente a la cara libre del talud.
En este caso no se ha detectado ningún talud inestable. Las roturas que se producen son absolutamente locales y se reducen a la formación de pequeños bloques de pizarra.
- b) Pizarrosidad y/o estratificación dispuesta en la dirección de la cara libre del talud (con una tolerancia de $\pm 20^\circ$) y buzamiento en sentido contrario a la cara libre del talud.

		PROTECCION	REFUERZO	HORMIGON							
100	Ia	ZANJA DE PIE	REDES	BULONAJE PUNTUAL	BULONAJE SISTEMATICO	ANCLAJES	GUNITA SISTEMATICA	PUNTUAL	HORMIGON	NINGUNO	
	Ib										
80	IIa	ZANJA DE PIE	REDES	BULONAJE PUNTUAL	BULONAJE SISTEMATICO	ANCLAJES	GUNITA SISTEMATICA	PUNTUAL	HORMIGON	NINGUNO	SANEOS
	IIb										ESTABLE	(ZANJA O VALLA) (BULONAJE OCASIONAL)
60	IIIa	ZANJA DE PIE	REDES	BULONAJE PUNTUAL	BULONAJE SISTEMATICO	ANCLAJES	GUNITA SISTEMATICA	PUNTUAL	HORMIGON	NINGUNO	ZANJA O VALLA REDES BULONES
	IIIb										PARCIALMEN. ESTABLE	ZANJA Y/O RED BULONAJE GUNITA OCASIONAL
40	IVa	ZANJA DE PIE	REDES	BULONAJE PUNTUAL	BULONAJE SISTEMATICO	ANCLAJES	GUNITA SISTEMATICA	PUNTUAL	HORMIGON	NINGUNO	BULONAJE SISTEMATICO ANCLAJES GUNITA SISTEMATICA HORMIGON DENTAL
	IVb										INESTABLE	ANCLAJES GUNITA SISTEMATICA (MURO) COSTILLAS DE HORMIGON DRENAJE (REEXCAVACION)
20	Va	ZANJA DE PIE	REDES	BULONAJE PUNTUAL	BULONAJE SISTEMATICO	ANCLAJES	GUNITA SISTEMATICA	PUNTUAL	HORMIGON	NINGUNO	MURO. COSTILLAS DE HORMIGON REEXCAVACION DRENAJE (REEXCAVACION)
	Vb										COMPLETAM. INESTABLE	MURO DE GRAVEDAD MURO ANCLADO REEXCAVACION
0											NO POSIBLE

Figura N° 3.- Métodos de corrección de taludes según el intervalo del SMR

CASO		MUY FAVORABLE	FAVORABLE	NORMAL	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE
P	$|\alpha_j - \alpha_s|$	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
T	$|\alpha_j - \alpha_s - 180^\circ|$					
P/T	F_1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P	$|\beta_1|$	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
	F_2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
T	F_2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	0°	$0 - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
T	$\beta_j + \beta_s$	$< 110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$> 120^\circ$		-
P/T	F_3	0	- 6	- 25	- 50	- 60

P Rotura Plan

α_s Dirección de buzamiento del talud

α_j Dirección de buzamiento de juntas

T Rotura por vuelco

β_s buzamiento del talud

β_j buzamiento de las juntas

CUADRO LVII.- FACTOR DE AJUSTE PARA LAS JUNTAS (ROMANA, 1985)

METODO	TALUD NATURAL	PRECORTE	VOLADURA SUAVE	VOLADURA O MECANICO	VOLADURA DEFICIENTE
F_1	+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8

CUADRO LVIII.- FACTOR DE AJUSTE SEGUN EL METODO DE EXCAVACION (ROMANA, 1985)

CANTERA	TALUD	TIPO DE ROTURA	SMR	CLASE	OBSERVACIONES
JUANITA	1	Vuelco	40,6	IIIb	PARC. ESTABLE
	2	---	41-60	IIb	ESTABLE
FUI DE MALO	1	Vuelco	40-72	IIIb-IIa	PARC. ESTABLE
	2	---	40-72	IIIb-IIa	ESTABLE
SOLANA DE FORCADAS	1	---	51	IIIa	PARC. ESTABLE
	2/2'	Plana/Vuelco	34,2/51	IVa/IIIa	INESTABLE/ PARC. ESTABLE
SANTA LUCIA	1	Plana	28,6-48,4	IIIb-IVb	INESTABLE
	2	---	58	IIIa	ESTABLE-PARC. ESTABLE
CORPORALES	1	---	52	IIIa	ESTABLE-PARC. ESTABLE
	2	Vuelco	38,25	IVa	INESTABLE
Corralinos	1	Plana	34,35	IVa	INESTABLE
	2	Vuelco	38,25-42	IIIb (IVa)	PARC. ESTABLE (INESTABLE)

Cuadro LIX.- Clasificación SMR de los taludes estudiados

En este caso si la suma del buzamiento de la pizarrosidad y de la pendiente del talud es mayor de 110° se produce la rotura por vuelco.

Las roturas que se han detectado en este caso se reducen a pequeños fenómenos de toppling, que constituyen inestabilidades locales relativamente frecuentes. Sólo en una de las canteras el fenómeno de vuelco puede llegar a dar situaciones de manifiesta inestabilidad.

- c) Pizarrosidad y/o estratificación, dispuesta en la dirección de la cara libre del talud (con una tolerancia de $\pm 20^\circ$) y buzamiento en el mismo sentido de la cara libre del talud.

En este caso se producen roturas planas, que frecuentemente pueden llegar a hacer completamente inestable el talud. En esta situación resulta crítico el buzamiento de la pizarrosidad y su relación con la pendiente del talud.

5.- ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD

El estudio realizado acerca de la estabilidad de las explotaciones en las pizarras de La Cabrera, se ha dividido en dos análisis diferenciados. El primero de ellos analiza la estabilidad de los taludes de explotación en pizarras donde se ha considerado que la dirección de la pizarrosidad y de la cara del talud coinciden y se ha variado el buzamiento desde 0° a 180°.

A continuación se ha analizado la estabilidad de las escombreras, y se recomienda una geometría para la escombrera tipo de estas explotaciones.

5.1.- Estudio de la estabilidad de taludes de pizarras con dirección de buzamiento paralela a la de la cara del talud

Se ha realizado un análisis de sensibilidad en 2D de la estabilidad de los taludes de explotación en pizarras.

Para ello, se ha seleccionado una geometría tipo de la explotación que es la que se muestra en la Figura N° 4.

Los bancos son de 20 metros de altura y la cara del talud está inclinada 1H:5V. Entre los bancos primero y segundo, y entre el tercero y el cuarto se ha considerado una berma de 3 m de anchura. Entre los bancos 2 y 3, la anchura de la berma es de 10 metros.

Dado que las mayores influencias de la pizarrosidad en la estabilidad de los taludes se produce cuando las direcciones de la pizarrosidad y de la cara del talud coinciden, se ha considerado este caso. Los resultados del presente análisis pueden considerarse válidos para diferencias entre ambas direcciones de $\pm 10^\circ$.

Cuando las diferencias entre las direcciones son superiores a 15°, la pizarrosidad deja progresivamente de mostrar influencia en la estabilidad, pudiendo considerarse como representativos los resultados más favorables obtenidos en el análisis realizado.

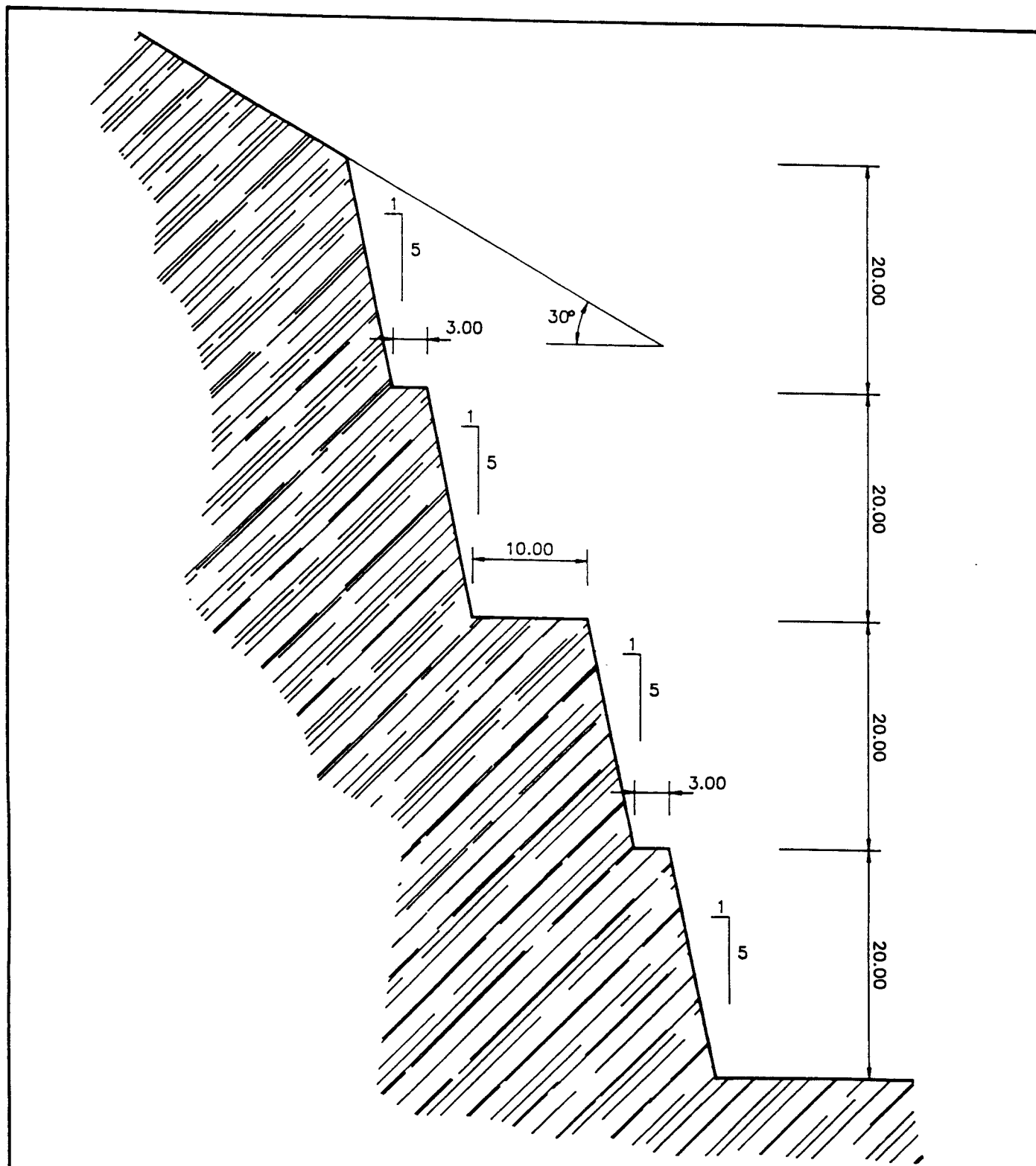


FIGURA N° 4 .- GEOMETRIA TIPO DE LA EXPLOTACION

5.1.1.- Metodología y modelo de cálculo

Los análisis se han realizado por el Método de las Diferencias Finitas, mediante el programa FLAC (V 3.22) desarrollado por ITASCA (U.S.A.).

El Método de Diferencias Finitas presenta ciertas ventajas respecto al Método de los Elementos finitos en el estudio de problemas inestables, en los que la matriz de rigidez generada en el Método de los Elementos Finitos no es invertible. El Método de las Diferencias Finitas, al basarse en una formulación explícita que se resuelve por iteraciones, permite conocer la evolución del problema hasta el colapso. Evidentemente, si el problema tiene solución, ambos métodos convergen, sin diferencias apreciables, hacia los mismos resultados.

El programa FLAC permite simular el comportamiento de suelos, rocas y otros materiales estructurales que se ajustan a modelos elásticos, elastoplásticos y viscoelásticos. También son posibles análisis térmicos o flujos de agua con posibilidad de interacción mecánica con el terreno.

El programa FLAC contempla 9 modelos constitutivos mecánicos:

- (1) Vacío
- (2) Elástico-Isótropo
- (3) Plasticidad (Mohr-Coulomb)
- (4) Elástico Transversalmente isótropo
- (5) Juntas ubicuotas
- (6) "Strain - Softening"
- (7) Visco elasticidad
- (8) "Creep"
- (9) "Creep doble"

y dos tipos de elementos, cuadrilateral de cuatro modos y lineal de dos modos.

En la resolución del modelo numérico construido, se ha utilizado un modelo de plasticidad tipo Mohr-Coulomb tanto para la matriz rocosa como para la pizarrosidad, la cual se ha representado mediante "juntas ubicuotas", modelo que representa de forma muy satisfactoria los terrenos con estratificación muy cerrada o esquistosidad.

Se han analizado 11 casos con distintos buzamientos de la pizarrosidad entre 0 y 180°.

En cada uno de los supuestos resueltos se han considerado 4 fases, correspondientes a la excavación de cada uno de los bancos, además de la fase inicial de asentamiento tensional del modelo. El punto de partida de todos los supuestos corresponde al estado tensional de una ladera de montaña asentada litostáticamente.

El modelo de cálculo, cuyo mallado se ha representado en la Figura N° 5, consta de 2952 elementos, y tienen un desarrollo horizontal de 650 m por una profundidad máxima de 385 m. Estas dimensiones del modelo han sido establecidas con el objeto de que los contornos del mismo estén suficientemente alejados de la excavación y no influyan en el comportamiento calculado para la misma.

Se han asignado propiedades plásticas variables al terreno en función de su profundidad, conforme al modelo de rotura de Hoek-Brown. En los 100 metros más superficiales se han considerado propiedades de macizo rocoso desconfinado, como corresponde a los cálculos de taludes y excavaciones a cielo abierto; de esta forma las propiedades asignadas a la pizarra en la zona afectada por las excavaciones del talud se recogen en el Cuadro LX.

MODULO DE YOUNG E (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON ν	COHESIÓN DE LA MATRIZ ROCOSA C (MPa)	ÁNGULO DE FRICCIÓN DE LA MATRIZ ROCOSA ϕ (°)	COHESIÓN DE JUNTA J_c (MPa)	ÁNGULO DE FRICCIÓN DE JUNTA $J \phi$ (°)
7,943	0,25	0,27	36	0,1	30

Cuadro LX.- PROPIEDADES DE CALCULO ATRIBUIDAS AL MACIZO ROCOSO

El estado tensional de partida, tensiones verticales s_{yy} y tensiones horizontales en el plano de modelo s_{xx} , se muestran en la Figuras N° 6a y 6b.

JOB TITLE : Analisis de estabilidad de taludes en pizarras.

FLAC (Version 3.22)

LEGEND

10/08/1993 16:51
step 24923
-2.861E+02 <x< 4.361E+02
-2.711E+02 <y< 4.511E+02

Grid plot

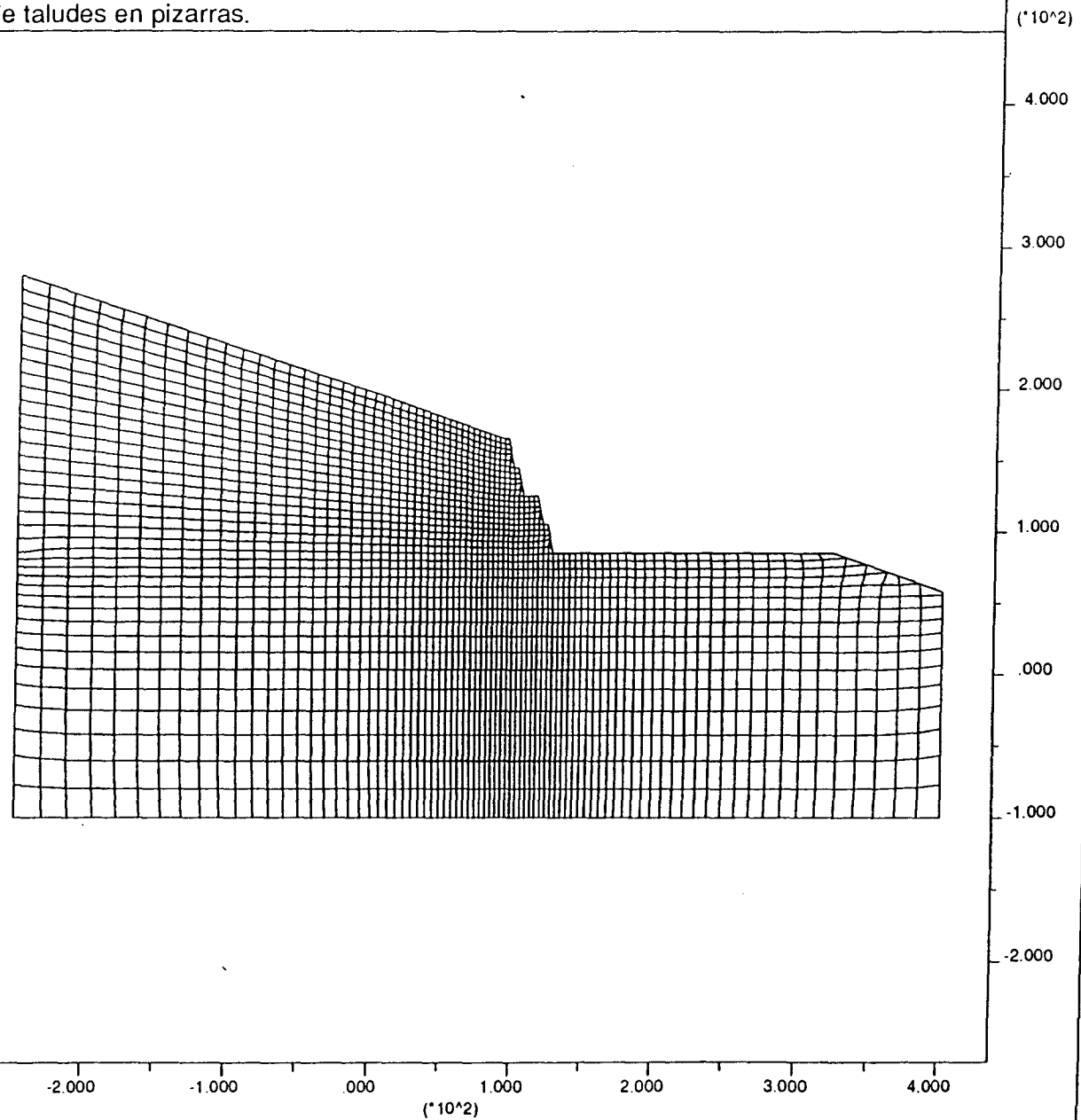
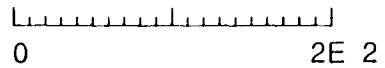


FIGURA Nº 5

GEOCONTROL SA
Madrid, Spain

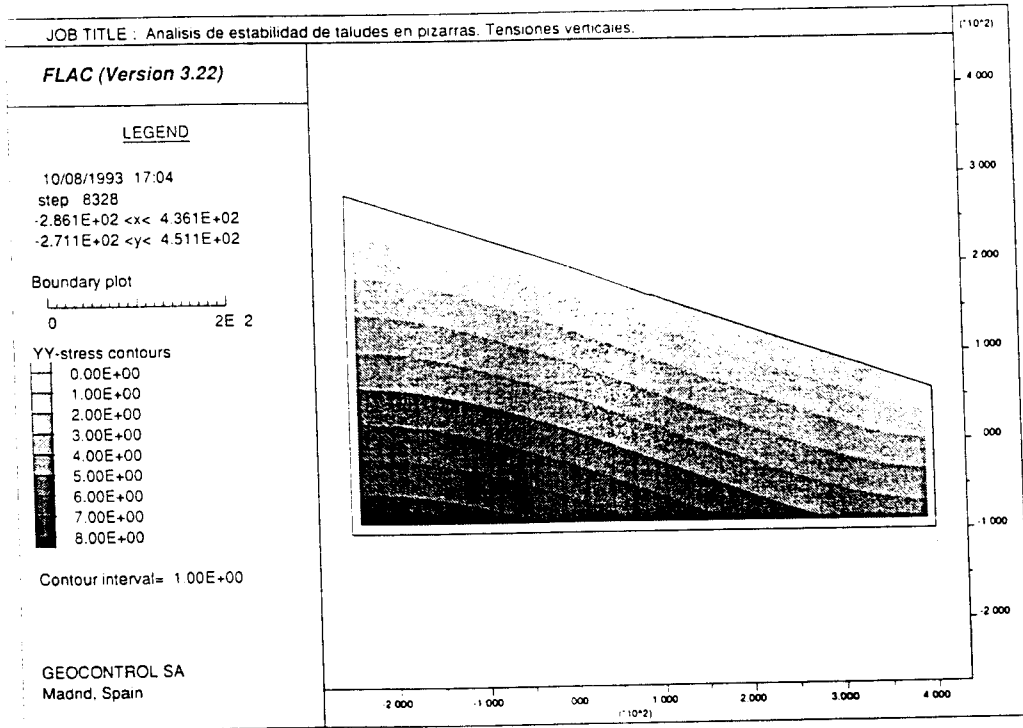


Figura N° 6a. Estado tensional de partida. Tensiones verticales S_{yy}

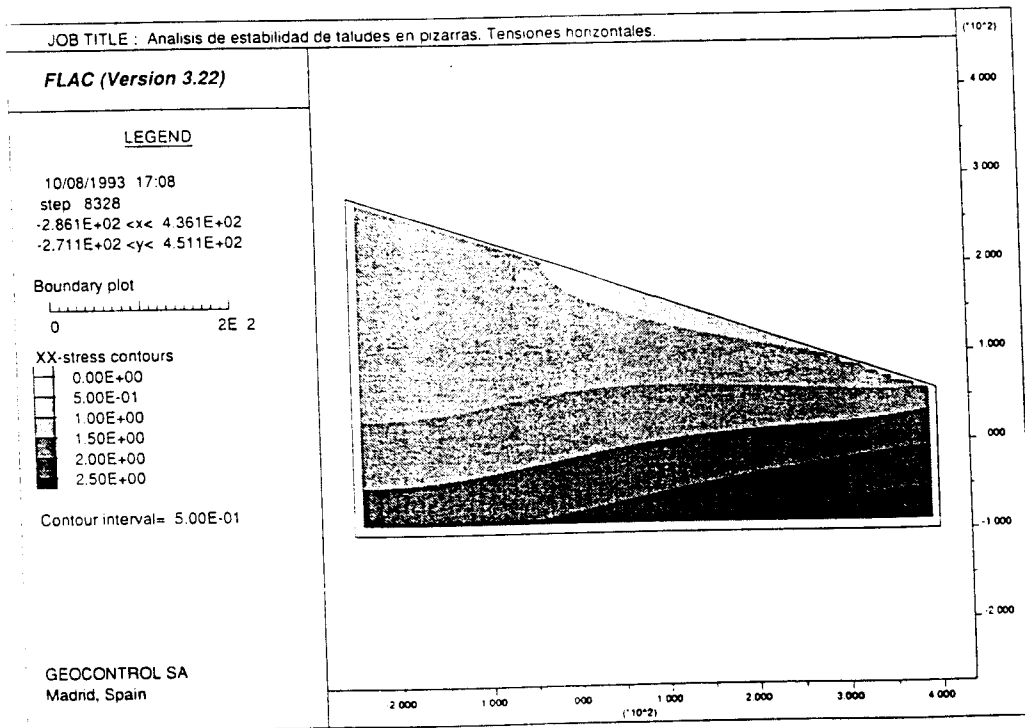


Figura N° 6b. Estado tensional de partida. Tensiones horizontales S_{xx}

5.1.2.- Resultados de cálculo

En el Cuadro LXI se presentan los 11 casos analizados, y los resultados inmediatos sobre la estabilidad.

En dicho cuadro, los buzamientos menores de 90° significan excavación a cortabanco, por lo que dichas excavaciones serán estables o presentarán rotura por vuelco (toppling), como sucede para el buzamiento de 75° .

Por encima de 90° , las direcciones de buzamiento de la cara libre del talud y la pizarrosidad coinciden, y el tipo de rotura preferente será el deslizamiento.

Con 90° de buzamiento se produce el pandeo de estratos.

En el Anejo IV, se representan, para cada uno de los 11 casos analizados, dos figuras que representan, para la máxima altura estable en cada caso, la plastificación y la zona rota a tracción (en gris oscuro en las figuras).

En la Figura 7, se ha representado de forma sintetizada los tipos de inestabilidades en función del buzamiento de pizarrosidad.

En la Figura 8 se han representado dos diagramas que muestran el grado de inestabilidad de cada uno de los supuestos. La Figura 8a representa las máximas alturas de talud que no presentan rotura general del mismo. Según puede deducirse de dicha figura, las menores alturas admisibles se producen en el entorno de 75° , donde el tipo de rotura es el vuelco o "toppling", y entre 120° y 135° donde se produce deslizamiento.

El grado de inestabilidad local que, para las alturas máximas de la Figura 8a, cabe esperar es proporcional a la diferencia entre el ángulo del talud (68°) y el de la grieta de tracción (deducido de la Figura 8b). Así, por ejemplo, con 75° de buzamiento, el talud de altura máxima estable deducido de la Figura 8a es de 40 metros, siendo el ángulo de la grieta de tracción de 68° ; es decir el talud no presenta problemas de estabilidad local. Por contra, con 150° de buzamiento, aunque el talud globalmente estable puede tener 80 metros de altura, la diferencia entre el buzamiento del talud (68°) y la grieta de tracción (57°) hace esperar importantes problemas de

CASO	BUZAMIENTO (1) (°)	ALTURA MÁXIMA DE TALUD ESTABLE (m)	MÁXIMO DESPLAZAMIENTO ESTABLE (cm)	ÁNGULO DE LA GRIETA DE TRACCIÓN (°)	TIPO DE ROTURA	OBSERVACIONES
1	0°	80	2,1	67°	----	----
2	30°	80	2,1	67°	----	----
3	45°	80	2,1	67°	----	----
4	60°	80	2,1	67°	----	----
5	75°	40	0,9	70°	Vuelco	Rotura generalizada para alturas mayores
6	90°	80	6,5	50°	Pandeo	Rotura localizada en 1 ^{er} y 2 ^o banco
7	105°	80	2,1	67°	----	----
8	120°	60	5,1	60°	Deslizamiento	Rotura localizada en descabezamiento 1 ^{er} banco
9	135°	60	16,4	53°	Deslizamiento	Rotura generalizada de la excavación
10	150°	80	2,2	57°	Deslizamiento	Rotura localizada en 1 ^{er} y 2 ^o banco
11	165°	80	2,7	67°	Deslizamiento	Grieta de tracción en el 3 ^{er} banco

(1) Los buzamientos superiores a 90° coinciden en dirección con la de la cara libre del talud

CUADRO XLI.- RESUMEN DE LOS CASOS ANALIZADOS

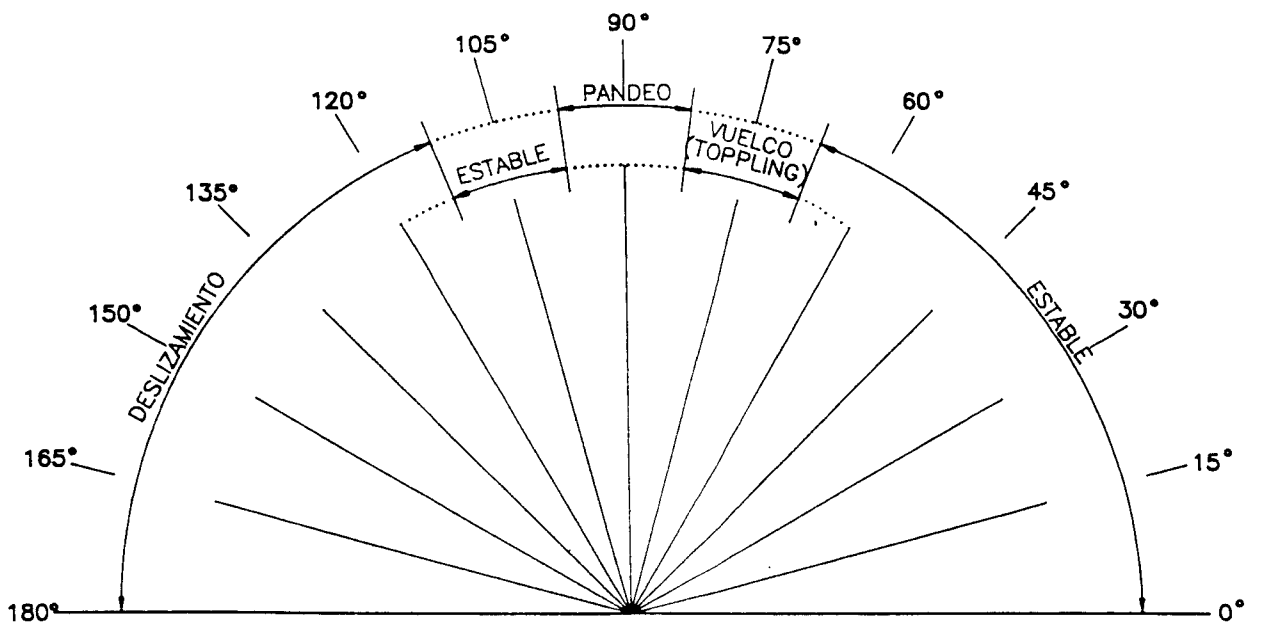


FIGURA Nº 7

TIPO DE ROTURA EN FUNCION DEL BUZAMIENTO DE LA PIZARROSIDAD

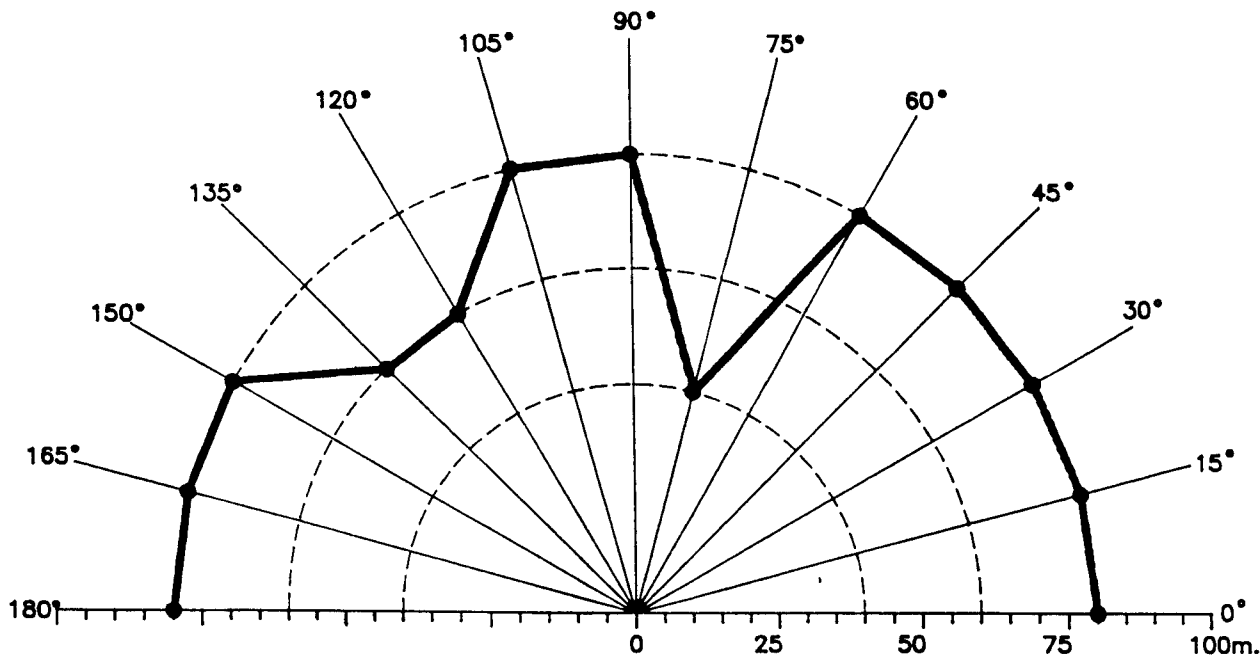


FIGURA Nº 8 a ALTURA DEL TALUD ESTABLE EN FUNCION DEL BUZAMIENTO DE LA PIZARROSIDAD.

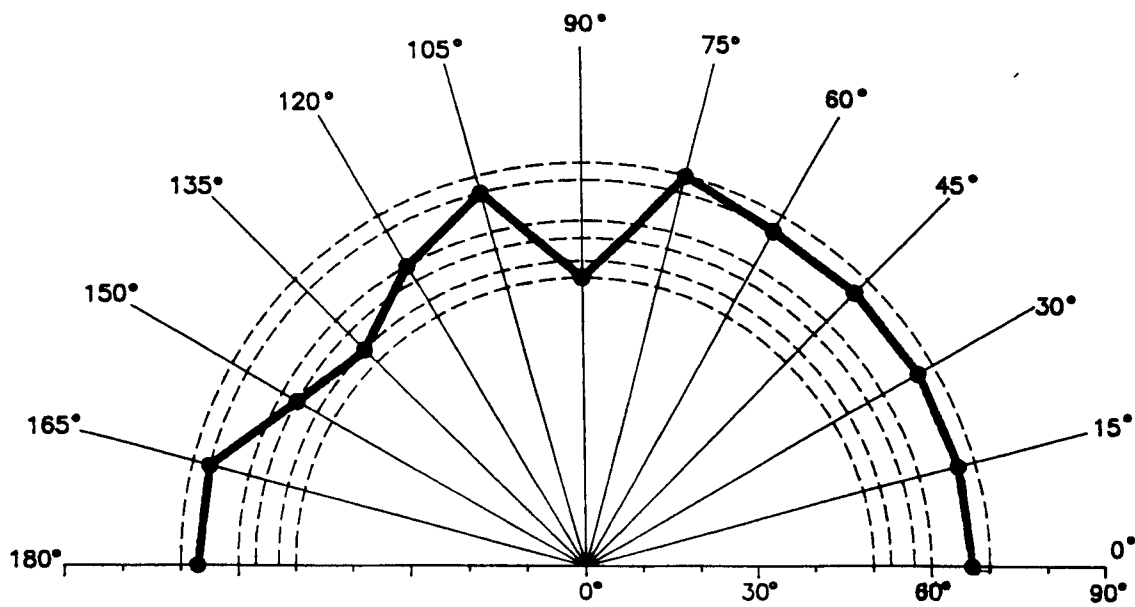


FIGURA Nº 8 b ANGULO DE LA GRIETA DE TRACCION EN FUNCION DEL BUZAMIENTO DE LA PIZARROSIDAD.

inestabilidades locales por deslizamiento.

5.2.- Estudio de la estabilidad de las escombreras

Se ha realizado un análisis de estabilidad para rotura circular de los taludes que aparecerán en las escombreras, utilizando el programa en 2D SLIDE, de la Universidad de Toronto. Mediante este programa se han estudiados diversos casos, variando la pendiente de su talud y la altura de este.

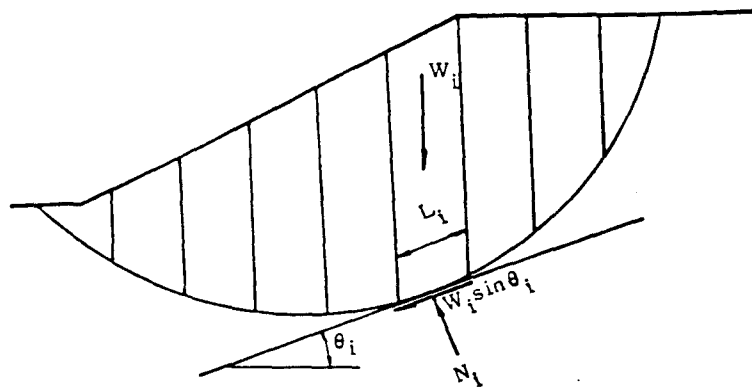
5.2.1.- Metodología

El análisis de la estabilidad de las escombreras se ha realizado aplicando el mecanismo de rotura de taludes, conocido como rotura circular, aplicable para el caso en el que las partículas de masa rocosa que componen el talud son pseudohomogéneas y lo suficientemente pequeñas comparadas con las dimensiones del talud.

Los métodos existentes para estudiar la rotura circular los ha desarrollado la Mecánica de Suelos, asumiendo la mayoría de dichos métodos una línea de rotura de directriz circular. Los métodos disponibles (FELLENIOUS, BISHOP, JAMBU) suelen descomponer la superficie potencial a deslizar del talud, en rebanadas verticales, formulando el equilibrio de fuerzas y momentos, según se muestra en la Figura N° 9.

Para el estudio de las roturas circulares identificadas, se ha utilizado el programa de ordenador SLIDE, de la Universidad de Toronto, que aplica el método de BISHOP. Este programa permite adoptar cualquier geometría de talud y tener en cuenta distintos tipos de terrenos. Para salvar el inconveniente de tener que asumir una superficie determinada de rotura, el programa analiza todos los posibles radios de las superficies de rotura que tienen como centro puntos de una amplia región. También es posible fijar la superficie que define el nivel freático.

La zona de la Cabrera presenta una orografía con fuertes pendientes. Esto, unido al hecho que en la actualidad el tipo de emplazamiento más utilizado por las escombreras es la ladera (Cuadro XXI), hace esperar que las nuevas escombreras estén asentadas sobre bases con cierta pendiente, por lo que se ha considerado en este estudio una pendiente máxima del talud de 20°.



$$F = \frac{\sum_{i=1}^n (cL_i + W_i \cos \theta_i \tan \phi)}{\sum_{i=1}^n (W_i \sin \theta_i)}$$

Figura N° 9.- Descomposición en rebanadas de un talud para el análisis mediante equilibrio límite de la rotura circular

Asimismo, los taludes finales sin tener en cuenta el retranqueo del borde de las escombreras, se han estudiado en el intervalo comprendido entre 35 y 43°.

Las propiedades geotécnicas asignadas a los dos tipos de terrenos considerados, base y escombrera, se han estimado para el caso de la base, a partir de los valores obtenidos en el apartado 3.2.2. (Propiedades mecánicas de la roca matriz), y se ha considerado que la escombrera se asentará sobre terreno básicamente formado por pizarras y cuarcitas.

En el caso de los parámetros relativos al escombros se han estimado a partir de los ensayos "tilt test" efectuados para este trabajo, y modificados aplicando la Tabla I extraída de la Publicación del ITGE, Manual para el Diseño y Construcción de Escombreras y Presas de Residuos Mineros, donde se adopta el criterio por el cual el valor del ángulo de rozamiento interno efectivo, ϕ' , aumenta con: la angulosidad de las partículas; el tamaño de las mismas; la buena graduación granulométrica; y la compactación o energía de vertido.

De la misma forma, disminuye con: la altura de escombros; el contenido de finos arcillosos; y la friabilidad o alteración de las rocas.

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

Naturaleza	M	silícea	36°
		carbonatada	34°
		esquistosa	32°
		arcillosa	30°
Compacidad	ϕ'_1	suelta	-5°
		media	0°
		compacta	+5°
Forma y rugosidad	ϕ'_2	angulosa	+2°
		media	0°
		lajosa	-1°
		redondeada	-2°
		muy redondeada	-3°
Tamaño	ϕ'_3	arena	0°
		grava fina	1°
		grava gruesa	2°
		bloques, bolos	3°
Granulometría	ϕ'_4	uniforme	-3°
		media	0°
		extendida	+3°

Nivel de tensiones (altura de escombros)	α	bajo ($H < 20$ m)	1,1
		medio ($20 < H < 40$ m)	1,0
		alto ($H > 40$ m)	0,9

Tabla I- Estimación del ángulo de rozamiento interno de escombros mineros

Para las características de las pizarras de La Cabrera las correcciones a realizar son las siguientes:

- Naturaleza esquistosa (Tilt-test): 32°
- Compacidad media/suelta: -1°
- Forma y rugosidad lajosa: -1°
- Tamaño de grava gruesa: +2°
- Granulometría extendida: +3°
- Altura de escalones (50 m): 1

Se considera que la altura de escombros no afecta al ángulo de rozamiento porque el programa SLIDE calcula con la geometría real del talud.

Con estas propiedades se obtiene un ángulo de rozamiento efectivo de:

$$\phi = (32^\circ - 1^\circ - 1^\circ + 2^\circ + 3^\circ) \times 1 = 35^\circ$$

Para estimar la cohesión se ha tenido en cuenta, que algunos efectos pueden originar una cierta cohesión en escombros además de disponer los taludes existentes actualmente de una media de 37°, alcanzándose con relativa frecuencia una pendiente entre 39 y 40°.

Por tanto, se ha tomado como valor para la cohesión 0,01 MPa. En el Cuadro LXII se muestran los valores utilizados en el estudio realizado mediante el programa SLIDE.

	DENSIDAD (MN/m ³)	ϕ (°)	C (MPa)
Base	0,027	45	0,3
Escombros	0,020	35	0,01

Cuadro LXII.- Parámetros geotécnicos de los dos tipos de terreno considerados

En cuanto a altura de escombros, se han considerado 3 casos con una altura igual a 50 m y un cuarto caso con una altura de 80 m.

En las escombreras de ladera, la estabilidad viene condicionada por la resistencia al corte del contacto con el terreno natural. Para escombreras homogéneas sin flujo de agua y poco espesor de cimentación blanda, el ángulo de rozamiento requerido en el contacto para el equilibrio estricto ($F = 1$) se puede deducir de la Tabla II extraída de la Publicación del ITGE mencionada anteriormente, encontrándose con la limitación de considerar los escombros con cohesión cero.

5.2.2.- Resultados de cálculo

Se ha analizado un total de 4 casos diferentes y se exponen a continuación los resultados obtenidos.

En el Cuadro LXIII se muestran las características geométricas de los diferentes casos estudiados y su factor de seguridad.

ÁNGULO DE BASE (°)	ÁNGULO DE TALUD (°)	ALTURA DE ESCOMBRO (m)	VOLUMEN DE ESCOMBRO (m ³ /ml)	COEFICIENTE DE SEGURIDAD
20	35	50	1649	1,27
20	40	50	1944	1,08
20	43	50	2094	0,99
20	40	80	3111	1,01

Cuadro LXIII.- Casos analizados y factor de seguridad obtenido

En las Figuras N° 10 a 13 se representan los casos estudiados.

En este análisis se han utilizado los mismos parámetros geotécnicos para todos los casos, lo que ha permitido obtener la influencia del ángulo del talud de escombros en la estabilidad de una escombrera.

Angulo α (°)	Inclinación de la escombrera β	Angulo rozamiento interno de los escombros ϕ' (°)								
		15	20	25	30	35	40	45		
5	5	5	5	5	5	5	5	5		
	10	8.3	7.6	7.1	6.7	6.4	6.1	5.9		
	15	14.2	10.8	9.6	8.7	7.9	7.3	6.8		
	20		17.6	12.7	10.9	9.6	8.6	7.8		
	25			20.2	13.9	11.7	10.2	9.0		
	30				21.9	14.6	12.1	10.3		
	35					22.7	14.8	12.0		
	40						22.8	14.6		
	45							22.4		
10	10	10	10	10	10	10	10	10		
	15	14.8	13.0	12.4	11.9	11.5	11.2	10.9		
	20		18.9	15.3	14.1	13.2	12.5	11.9		
	25			22.1	17.0	15.2	14.0	13.1		
	30				24.4	18.0	15.9	14.4		
	35					25.8	18.5	16.1		
	40						26.3	18.6		
	45							26.3		
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
20			19.7	17.8	17.1	16.6	16.3	16.0		
25				23.6	19.9	18.6	17.8	17.1		
30					26.6	21.3	19.6	18.4		
35						28.6	22.2	20.1		
40							29.7	22.5		
45								30.0		
20		20		20	20	20	20	20	20	
		25			24.6	22.6	21.9	21.4	21.1	
	30				28.3	24.5	23.2	22.4		
	35					31.0	25.7	24.0		
	40						32.7	26.4		
	45							33.6		
	25	25			25	25	25	25	25	
		30				29.5	27.4	26.7	26.3	
		35					33.1	29.1	27.9	
40							35.5	30.1		
45								36.9		
30		30				30	30	30	30	
		35					34.5	32.2	31.5	
		40						37.8	33.7	
		45							40.0	
	35	35					35	35	35	
		40						39.4	37.0	
		45							42.4	
		40	40						40	40
			45							44.3

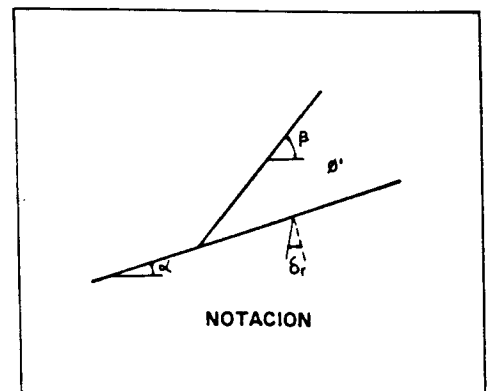


Tabla II.- Ángulo de rozamiento requerido en el cimientado inclinado de una escombrera para el equilibrio estricto δ_r (FS = 1)

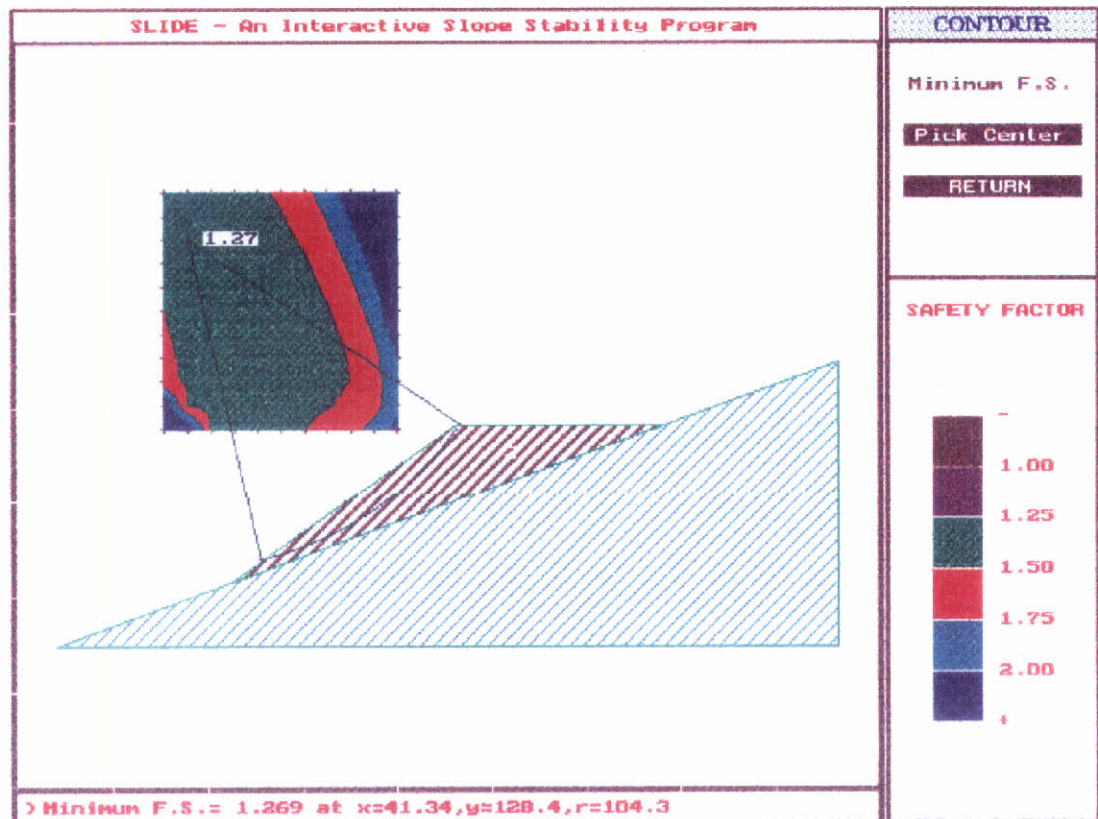


Figura N° 10: Cálculo de estabilidad para 35° y 50 m de altura

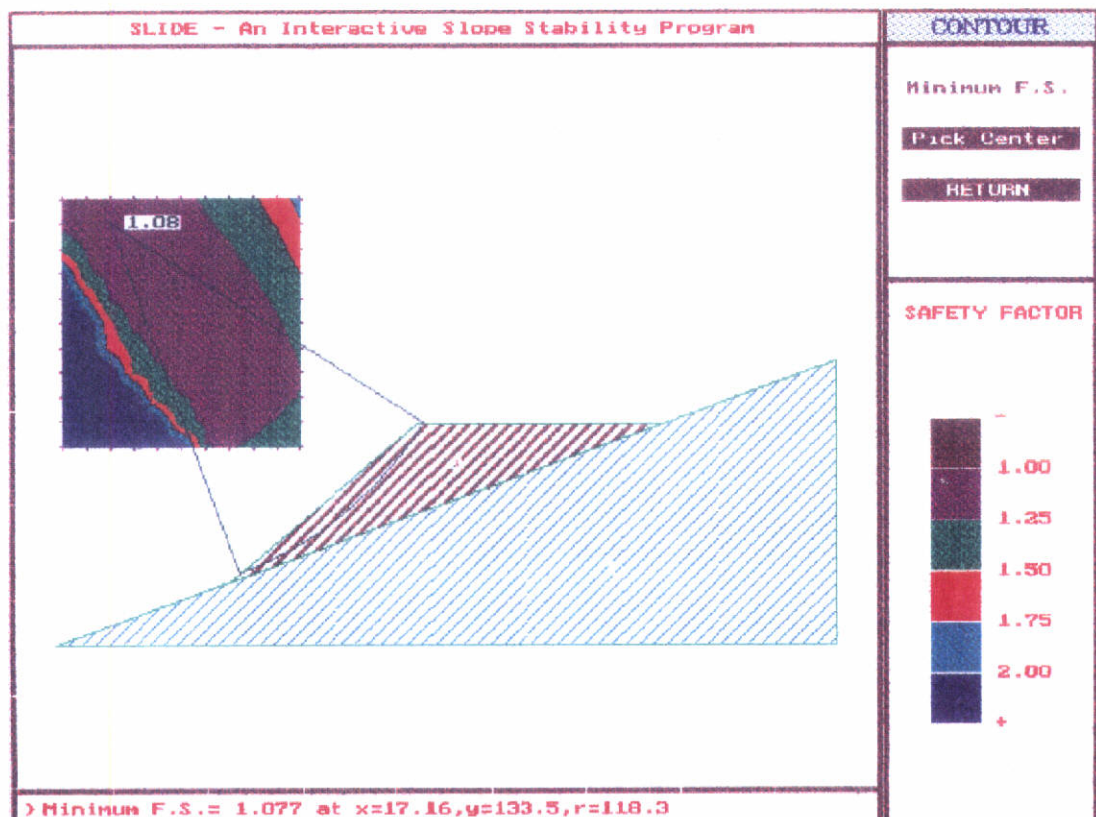


Figura N° 11: Cálculo de estabilidad para 40° y 50 m de altura

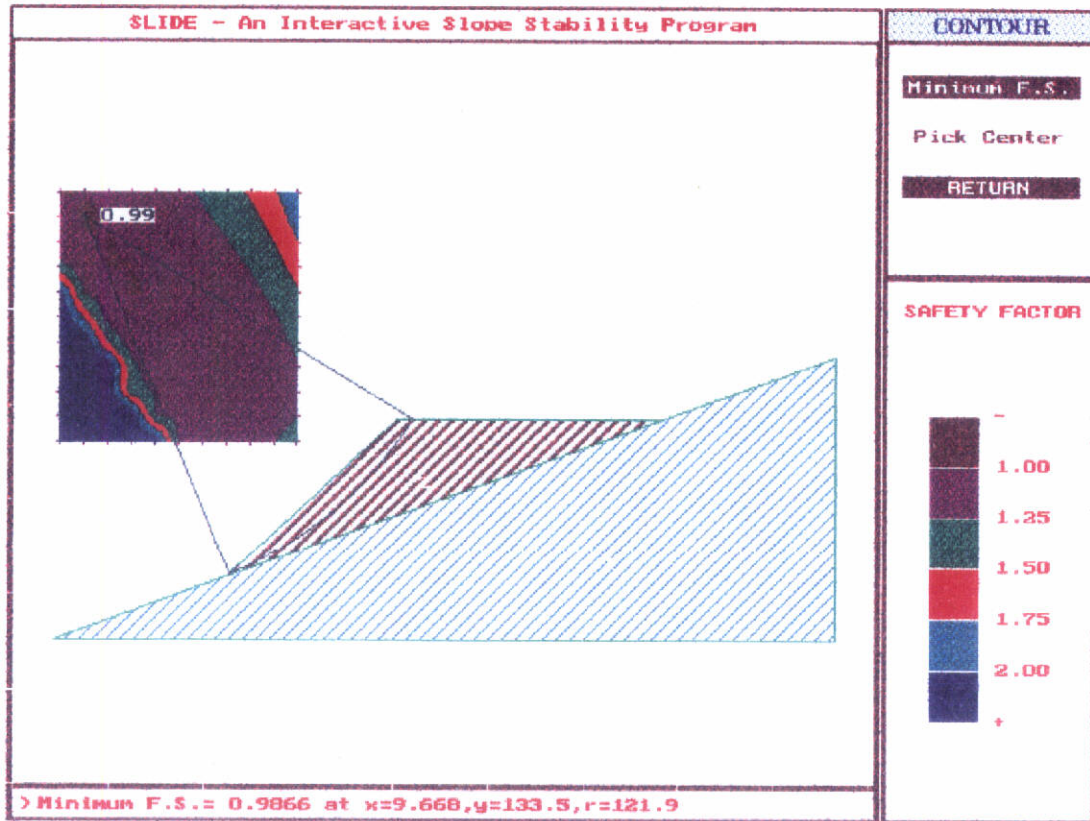


Figura N° 12: Cálculo de estabilidad para 43° y 50 m de altura

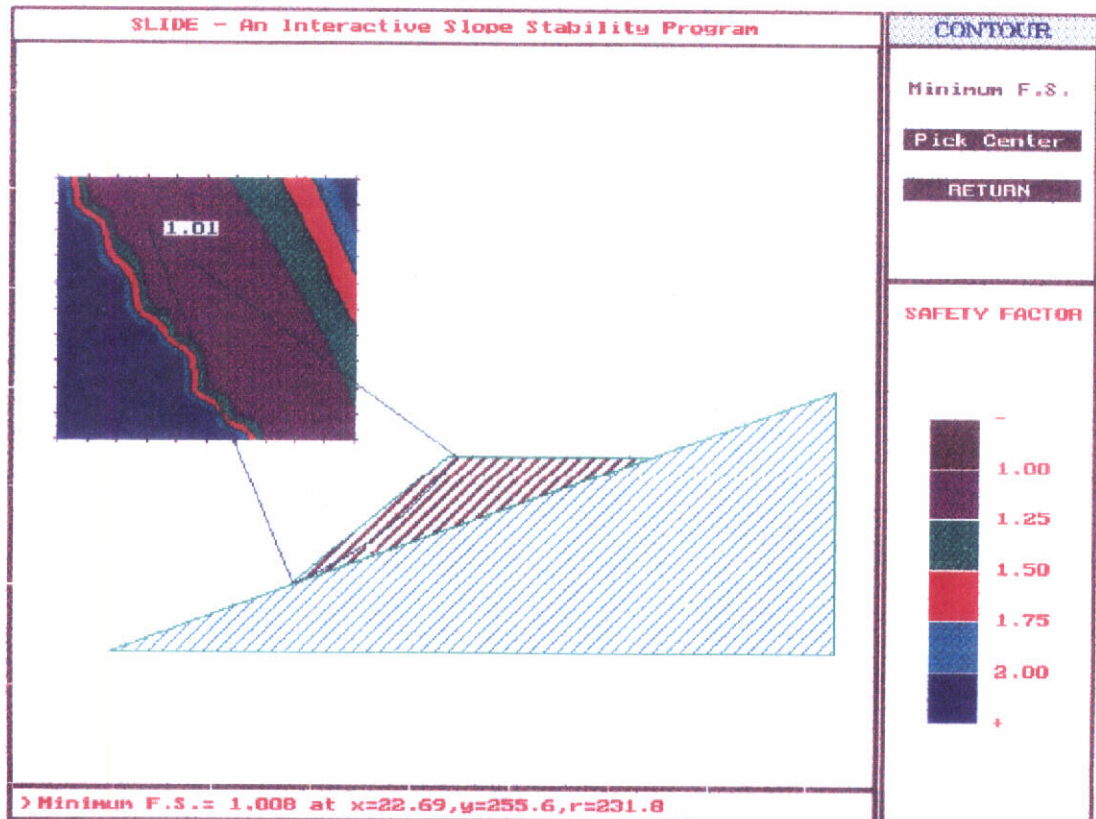


Figura N° 13: Cálculo de estabilidad para 40° y 80 m de altura

Como se aprecia en el Cuadro LXIII, para una altura de escombros de 50 m y un ángulo de base de 20° , la estabilidad límite de la escombrera se producirá con un ángulo de talud de 42° .

Si la altura de escombros se eleva hasta 80 m, el ángulo límite para que el talud sea estable será de 40° .

La estabilidad de la escombrera viene condicionada por la resistencia al corte del contacto con el terreno natural, y en el caso que exista un espesor apreciable de terreno blando puede producirse una rotura profunda afectando al pie de la escollera y al cimiento.

Mediante la Tabla II se conoce el ángulo de rozamiento mínimo requerido en el cimiento inclinado de una escombrera.

El MOPT en su Publicación Terraplenes y Pedraplenes aconseja sobre el modo de realizar la base de este tipo de implantaciones, en ladera recubierta por terreno de peor calidad, coluvial o simplemente los productos de meteorización de la misma roca, para espesores no muy grandes (< 6 m).

El método recomendado es el de su retirada, de manera que se pueda recuperar para la restauración, y permita apoyar la base de la escombrera en terreno firme.

Es aconsejable escalonar la superficie donde se asentará el escombros, interceptando si es posible, la zona de transición de la roca, de manera que se apoye en horizontes considerados lo suficientemente firmes.

La anchura de la berma, debe ser tal que la maquinaria pueda trabajar ampliamente en ellas, y donde se advierta la presencia de agua, se deberá drenar perfectamente el contacto del escombros con la superficie de apoyo.

Como conclusión de los cálculos realizados, la geometría final de la que podrá disponer una escombrera situada en una zona sin riesgo para personas, instalaciones o servicios, de forma que el coeficiente de seguridad sea aceptable y su restauración posible, será la siguiente:

- Altura de banco: 20 m.
- Berma entre dos bancos: 5 m.
- Pendiente de las bermas y explanada: 4%
- Ángulo de talud de banco: 40° .
- Ángulo medio de la escombrera: 36° .
- Altura máxima de la escombrera: 80 m

Para esta geometría final resulta un coeficiente de seguridad de 1,18 como se muestra en la Figura N° 14.

Por lo que se refiere a la base donde se asentará la escombrera, se recomienda que no tenga pendiente superior a 20° , puesto que afecta negativamente tanto a la estabilidad de la escombrera, como a su capacidad, si se consideran los metros cúbicos de escombros por metro lineal de escombrera.

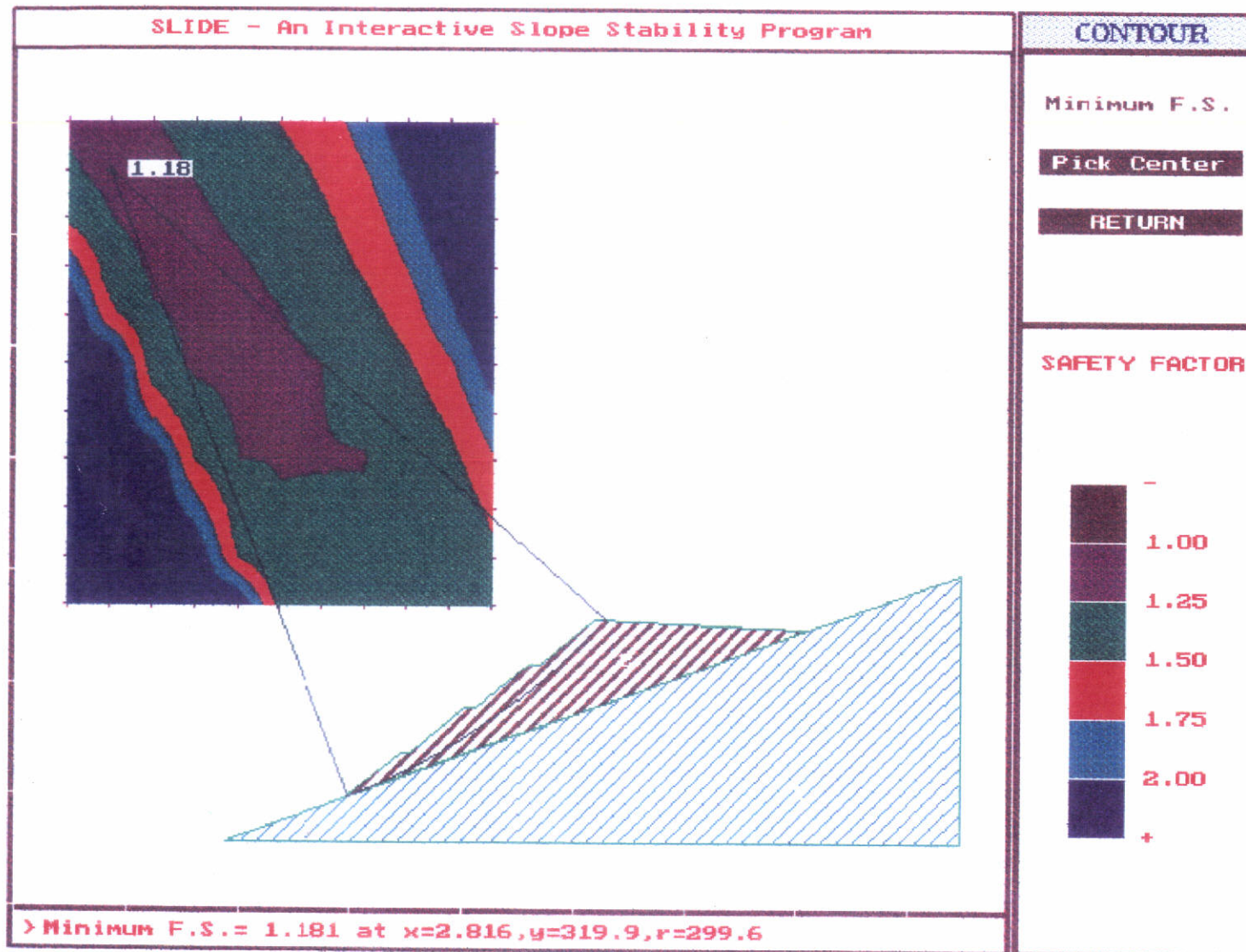


Figura N° 14: Geometría límite recomendada para una escombrera situada en una zona sin riesgo para personas, instalaciones o servicios.

6.- MODELIZACIÓN DE CANTERAS TIPO

En el plano exclusivamente técnico, el laboreo de las explotaciones de pizarra depende de varios factores, entre los que destacan:

- Geometría del yacimiento. Disposición espacial de las capas, foliación principal y otras estructuras menores
- Topografía del terreno
- Características geomecánicas del macizo rocoso

La relación entre ellos puede condicionar que la explotación se realice a cielo abierto o en subterráneo.

En el caso de la pizarra deben tenerse en cuenta una serie de aspectos de gran importancia, los cuales van a condicionar la viabilidad técnica y económica del proyecto minero. Entre los primeros destacan:

Características de la roca. Determinan la *calidad* de la roca, destacando entre estos aspectos, la fisibilidad, para que pueda ser explotada como pizarra para cubiertas.

Características del yacimiento. Dependen, fundamentalmente, de la estructura geológica y del estado de fracturación del macizo rocoso. Esta circunstancia influye sobre la explotabilidad y el rendimiento de la capa beneficiable, pudiendo determinar la rentabilidad o no del yacimiento.

También existen otros factores de gran importancia como son la disposición de terrenos, agua y energía, accesos, etc. y aspectos de índole no técnico, que pueden condicionar la viabilidad económica de la explotación.

Antes de iniciar la explotación de una sustancia es preciso conocer lo mas detalladamente posible su yacimiento. Para ello son necesarios estudios específicos de investigación (geológico-mineros, geotécnicos, labores de prospección, etc) no solo en la zona concreta de explotación sino en aquellas otras áreas sobre las cuales se prevé continuar el arranque, zonas de ubicación de escombreras, viales, etc, para definir áreas canterables, evaluar reservas y evitar costes innecesarios, reduciendo el

riesgo minero. El desconocimiento o una deficiente valoración de todos estos factores, puede conducir con el tiempo al fracaso minero de la explotación.

SISTEMAS DE EXPLOTACION

La mayoría de las explotaciones existentes en la actualidad, se iniciaron sobre unas zonas muy concretas, en las que los afloramientos presentaban buenas características (calidad de la roca y estado de fracturación aceptables).

Con el transcurso del tiempo, la innovación tecnológica y el empleo de nueva maquinaria, como consecuencia de una mayor demanda, impulsa la transformación de algunas de estas explotaciones de carácter artesanal, en otras de grandes dimensiones en las que el ritmo de producción exigible choca, en ocasiones, con el compás aconsejable en la explotación.

Según la disposición espacial del yacimiento en relación a la topografía del terreno, las explotaciones se desarrollan en dos formas diferentes: *Cielo abierto* y *subterráneo*.

Cielo abierto

Las operaciones a cielo abierto, son las habituales en el inicio de cualquier explotación, y tienen su continuación hasta que la relación pizarra aprovechable / desmonte de estériles compensa económicamente. A partir de ese punto se plantea su abandono o se estudia la viabilidad de explotación en subterráneo.

En el capítulo 4.2, se describen algunos de los modelos de explotación de un yacimiento de pizarras en relación a la topografía del terreno, aunque básicamente quedan reducidos a dos:

Cielo abierto ladera. Es el mas frecuente dentro de La Cabrera, Valdeorras (provincia de Orense) y Quiroga (Lugo), zonas que en conjunto constituyen, en la actualidad, el principal centro productor de pizarras del mundo.

Cielo abierto corta. Empleado en algunas explotaciones de las provincias de Orense y Lugo.

La primera de ellas, **cielo abierto ladera**, según sea mas o menos abrupto el terreno y evidentemente la disposición espacial de las capas beneficiables, el desarrollo principal sería vertical u horizontalmente.

En el caso de laderas con fuertes pendientes y niveles con poco buzamiento, pequeños avances en la horizontal, sobre el nivel explotable, pueden producir un volumen de desmonte en estériles muy importante.

Estos ratios son menores si el nivel explotable es vertical.

Por ello suele ocurrir, si no se tiene una previsión a medio y largo plazo, que la rentabilidad económica decrezca, se mermen los factores de seguridad y se agote el banco de extracción, conduciendo al abandono de la explotación.

Cuando se trata de laderas con poca pendiente la explotación se desarrolla mas desahogadamente, permitiendo unos bancos de explotación mas amplios, a la vez que se realizan simultáneamente otras tareas de desmonte y saneo de frentes.

Desgraciadamente estas situaciones son menos frecuentes que las anteriores, dada la topografía con fuertes relieves existentes en gran parte de La Cabrera.

El tipo de explotación **cielo abierto corta**, solo se desarrolla en el caso de que la disposición de las capas o del terreno lo aconsejen. Presenta ciertas ventajas, sobre todo si se aplica la tecnología de arranque adecuada, por centrarse directamente sobre la capa, aunque también se observan aspectos negativos de índole técnico.

Explotaciones en subterráneo

Como ya se ha citado anteriormente, la totalidad de explotaciones de pizarra existentes en España comienzan a cielo abierto, desarrollándose hasta que el ratio de pizarra aprovechable/estériles deja de ser económicamente rentable. Llegado este caso se abandona la explotación o se estudia la viabilidad de una minería en subterráneo.

En la actualidad en España, no existe ninguna explotación activa en este tipo de minería. En la década de los ochenta si existían algunas explotaciones subterráneas en funcionamiento, las mas importantes se ubicaban en las proximidades de la

localidad de Domiz, en el Término Municipal de Carballeda (Orense). También había otras galerías subterráneas en la zona del *Castañeiro*, en el mismo término municipal y al Sur de la población de Mondoñedo (Lugo).

La explotación *As Cuartas II*, próxima a Domiz, se desarrollaba en una capa de pizarra de 9 m de potencia, intercalada entre niveles de cuarcita, en bancos de espesor métrico. Además la disposición del nivel pizarroso, poco inclinado al Sur, posibilitó el desenvolvimiento minero, realizado por el sistema de *cámaras y pilares*, facilitado por la competencia de los materiales situados a techo de la galería (cuarcitas).

La apertura de las cámaras se hacía longitudinalmente, con unas labores preparatorias previas consistentes en arrancar con explosivo el falso techo de unos 2,5 m de espesor, entre la capa de pizarra aprovechable y el muro de las cuarcitas de techo. La perforación se realizaba con martillos manuales y empujadores neumáticos de columna.

La explotación de la pizarra se efectuaba mediante bancos a diferentes alturas, hasta totalizar los 9 m de potencia de la capa, desde el tajo abierto en la parte superior de la cámara.

La extracción se realizaba mediante una serie de corte verticales, ortogonales entre sí, mediante una máquina montada sobre un chasis de orugas, autopropulsado, y provista de un brazo articulado en cuyo extremo se disponía un disco diamantado, de 1,8 m de diámetro.

En el despegue del bloque del macizo rocoso, a favor de los planos de foliación, se utilizaban cuñas impulsadas por un martillo perforador neumático.

Para la sujeción del techo de las cámaras se efectuaba un bulonado sistemático, con pernos de 2,5 a 3,5 m de longitud, mas denso en las zonas con mayor fracturación.

El aprovechamiento del yacimiento alcanzaba el 75 %.

En la cantera de pizarras *A Fraguíña*, situada en el Término Municipal de

Carballeda (Orense), se efectuó recientemente una serie de trabajos encaminados a estudiar la viabilidad técnica de explotación en subterráneo.

Los resultados del proyecto indican su factibilidad técnica y aconsejan la realización de tres cámaras de sección ovoidal, de diferentes dimensiones, situadas en aquellas zonas de la cantera que reúnen una aceptables condiciones geomecánicas en el macizo rocoso.

Actualmente aún no han comenzado las labores mineras en subterráneo, preveyéndose utilizar el serrado o corte como método de arranque de bloques.

En Europa (Francia, Alemania, Portugal e Inglaterra) existen explotaciones subterráneas importantes. En la mayor parte de ellas la foliación es subvertical por lo que los pozos son verticales, explotándose por dos sistemas diferentes:

- *Corte y relleno* (ascendente)
- *Cámaras abiertas* (descendente)

En el primer caso, **corte y relleno**, la explotación se realiza mediante la utilización de explosivos, aprovechándose los bloques que superan unas determinadas dimensiones y presentan buenas características. Los desechos se acumulan en el suelo, sirviendo de plataforma de trabajo sucesivos avances en el sentido vertical.

En el segundo sistema, **cámaras abiertas**, la explotación se efectúa abriendo cámaras en sentido descendente, agrandando progresivamente el volumen del hueco de explotación. Los bloques paralelepípedicos se obtienen mediante *rozadoras de espada* abatible, provistas de dientes de widia, capaces de producir cortes en la horizontal y la vertical. El despegue se realiza mediante cuñas a favor de los planos de foliación de la roca.

En este tipo de minería subterránea no se hace bulonado del techo de la cámara, colocándose, como medida preventiva contra pequeños desprendimientos de roca, una malla metálica.

El grado de aprovechamiento varía según se utilice explosivo o cortadora de brazo, entre un 30-40 % a un 60-70%, en bancos con los mismos parámetros de

fracturación.

En cualquier caso este tipo de explotaciones solo sería posible en aquellas zonas de La Cabrera, en las que la estratificación y la foliación principal fuesen subverticales.

6.1.- Geometría de canteras tipo

Para las explotaciones de pizarras en La Cabrera se definen en este apartado unas normas generales de aplicación para este tipo de yacimientos y a continuación se indican diferentes modos de plantear la geometría de las canteras según la disposición de las capas respecto a la topografía del terreno.

6.1.1.- Normas generales de aplicación

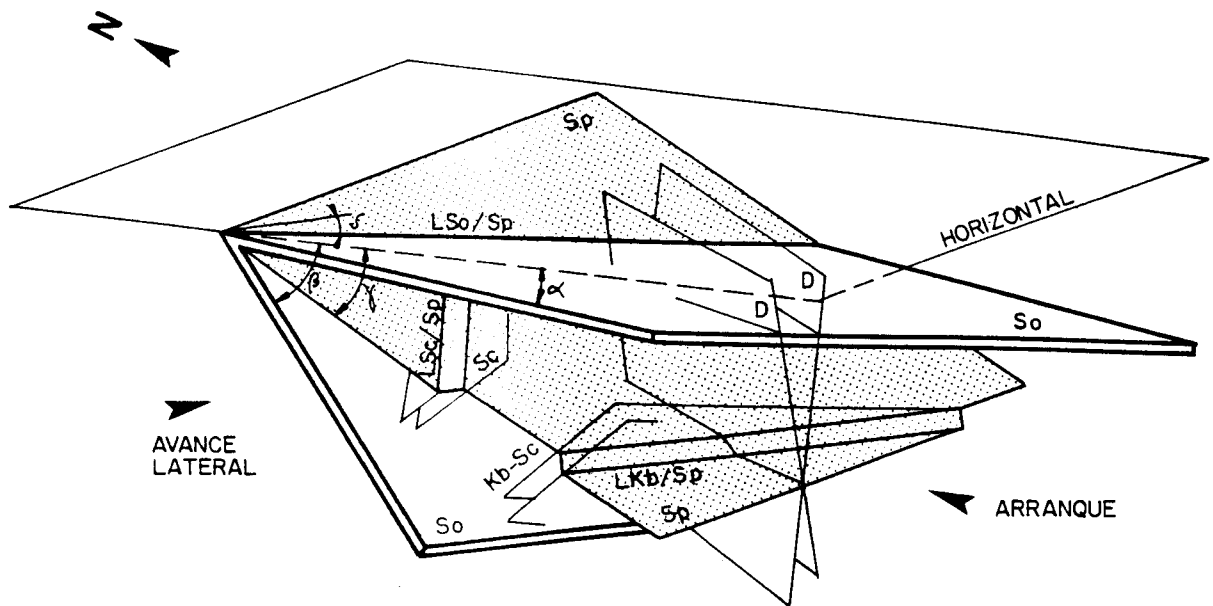
Los afloramientos de las capas de pizarras para cubiertas suelen presentarse en escarpes de laderas o en fondos de valles con las capas en general bastante plegadas lo que hace complicado su laboreo.

La primera fase a realizar en cualquier explotación a cielo abierto es el arranque de estériles del recubrimiento para descubrir la capa sin dañarla por efecto de las voladuras y la preparación del frente.

En este tipo de yacimientos existen diferentes elementos estructurales condicionantes de la explotabilidad de la capa que se agrupan en dos bloques diferentes. El primero estaría formado por la estratificación, la foliación principal (pizarrosidad) y la topografía del terreno que condicionan el ataque y por tanto la geometría de la explotación.

El segundo grupo incluye las estructuras menores, como diaclasas, kink-bands, crenulaciones y fallas, que según sea su intensidad y espaciamiento hacen disminuir el rendimiento de la explotación hasta poder condicionar su explotabilidad.

En la Figura N° 15 se observan los elementos estructurales mencionados.



α y β :	BUZAMIENTO ESTRATIFICACION FLANCO NORMAL E INVERTIDO (S_o)
γ :	BUZAMIENTO FOLIACION PRINCIPAL (S_p)
δ :	INCLINACION LINEACION INTERSECCION (S_o/S_p)
L_{S_o/S_p} :	LINEACION DE INTERSECCION (S_o/S_p)
L_{K_b/S_p} :	LINEACION DE INTERSECCION (K_b/S_p)
L_{S_c/S_p} :	LINEACION DE INTERSECCION (S_c/S_p)
K_b :	KINK-BANDS
S_c :	FOLIACION DE CREMULACION
D :	DIACLASAS

FIGURA Nº 15

ELEMENTOS ESTRUCTURALES EXISTENTES
EN LOS YACIMIENTOS DE PIZARRA

En el diseño de las explotaciones de pizarras se deben definir dos elementos: la dirección de avance de la explotación y la de arranque de los paralelepípedos.

Para definir el avance de la explotación se tendrá como objetivo, conseguir el beneficio de la mayor extensión de capa posible, mientras que por lo que se refiere al arranque de los bloques este se debe efectuar según un paralelepípedo con las siguientes caras:

- dos planos de foliación
- dos planos ortogonales a la foliación y paralelos a la lineación de intersección estratificación/pizarrosidad (S_o/S_p).
- los dos planos restantes serán perpendiculares al plano de foliación y a la lineación de intersección (S_o/S_p).

El arranque se producirá a favor de las superficies de pizarrosidad de abajo hacia arriba, según el ángulo de máxima pendiente de estos planos.

El avance se llevará a cabo siguiendo la lineación marcada por la intersección de la estratificación y pizarrosidad de modo que se obtenga un compromiso satisfactorio entre recuperación y desmonte.

6.1.2.- Situación característica de La Cabrera

En las canteras de pizarras de La Cabrera van a existir diferentes situaciones características de las explotaciones, función de los tres elementos estructurales principales: Estratificación y pizarrosidad, en general ambas con buzamiento al Sur cuya línea de intersección más representativa buza 10° hacia el Este; y la topografía como elemento más variable.

Las tres posibles situaciones características en la explotación de la pizarra serán:

- Estratificación y pizarrosidad dispuestas paralela o subparalelamente a la ladera con buzamiento menor y en el mismo sentido.

Es el caso más favorable de los tres posibles para el arranque del bloque.

Una vez retirado el recubrimiento y descubierta la capa, el ataque a esta se hace frontalmente a la ladera. Tanto el avance de la explotación como el arranque del paralelepípedo llevan la misma dirección y sentido de abajo hacia arriba de la capa.

- Estratificación y pizarrosidad dispuestas paralela o subparalelamente a la ladera, con buzamiento contrario a la misma.

En este caso es necesario realizar una trinchera que se introduzca frontalmente a la ladera y paralela al buzamiento de la capa. Desde esta trinchera se excava otra perpendicular que permita situar el frente de arranque opuesto al buzamiento de la capa. De esta manera se realiza el arranque de los bloques como se ha recomendado de abajo hacia arriba, hasta que se alcanza la superficie inicial de la ladera. Para avanzar se prolonga la segunda trinchera de forma que se crea un nuevo frente de explotación continuación del anterior.

Por necesitar unos trabajos preliminares superiores al resto de los casos, es la situación más desfavorable de explotación de la capa.

- Estratificación y pizarrosidad dispuestas ortogonal o subortogonalmente a la ladera.

La capa de pizarra se ataca lateralmente mediante la excavación de una trinchera en dirección perpendicular a la ladera. Desde esta trinchera se efectúa el arranque de los bloques en dirección paralela a la superficie inicial de la ladera, de abajo hacia arriba, según el ángulo de máxima pendiente de los planos de foliación principal, al igual que en los otros dos casos. Para avanzar se continúa la trinchera hacia el interior de la ladera hasta obtener un nuevo frente de explotación.

Una vez descritas las diferentes situaciones características que pueden existir y que van a condicionar las labores previas a la explotación, es necesario adaptar la explotación a las condiciones de estabilidad analizadas anteriormente.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los cálculos de estabilidad, el talud resulta estable para una altura límite de 80 m, en el caso que el buzamiento de la pizarrosidad no supere 60° de inclinación a cortabanco. Para buzamientos mayores de este valor las alturas límites vienen definidas en el Cuadro XLI.

En la Figura N° 16 se representa una cantera de pizarra con su método de explotación característico, relacionado con el talud final máximo que podría excavarse en el caso más favorable de estabilidad, esto es, con un buzamiento de la pizarrosidad inferior a 60°.

6.2.- Arranque, carga y transporte

La explotación de yacimientos de pizarra, como la de otras sustancias, se realiza en diferentes etapas, con el objetivo final de obtener bloques de roca útiles para la fabricación industrial de pizarras para cubiertas.

Estas fases son las siguientes: arranque y/o despegue, carga y transporte, desarrolladas en el esquema adjunto, donde se incluyen los métodos aplicados en cada fase de una explotación de pizarras.

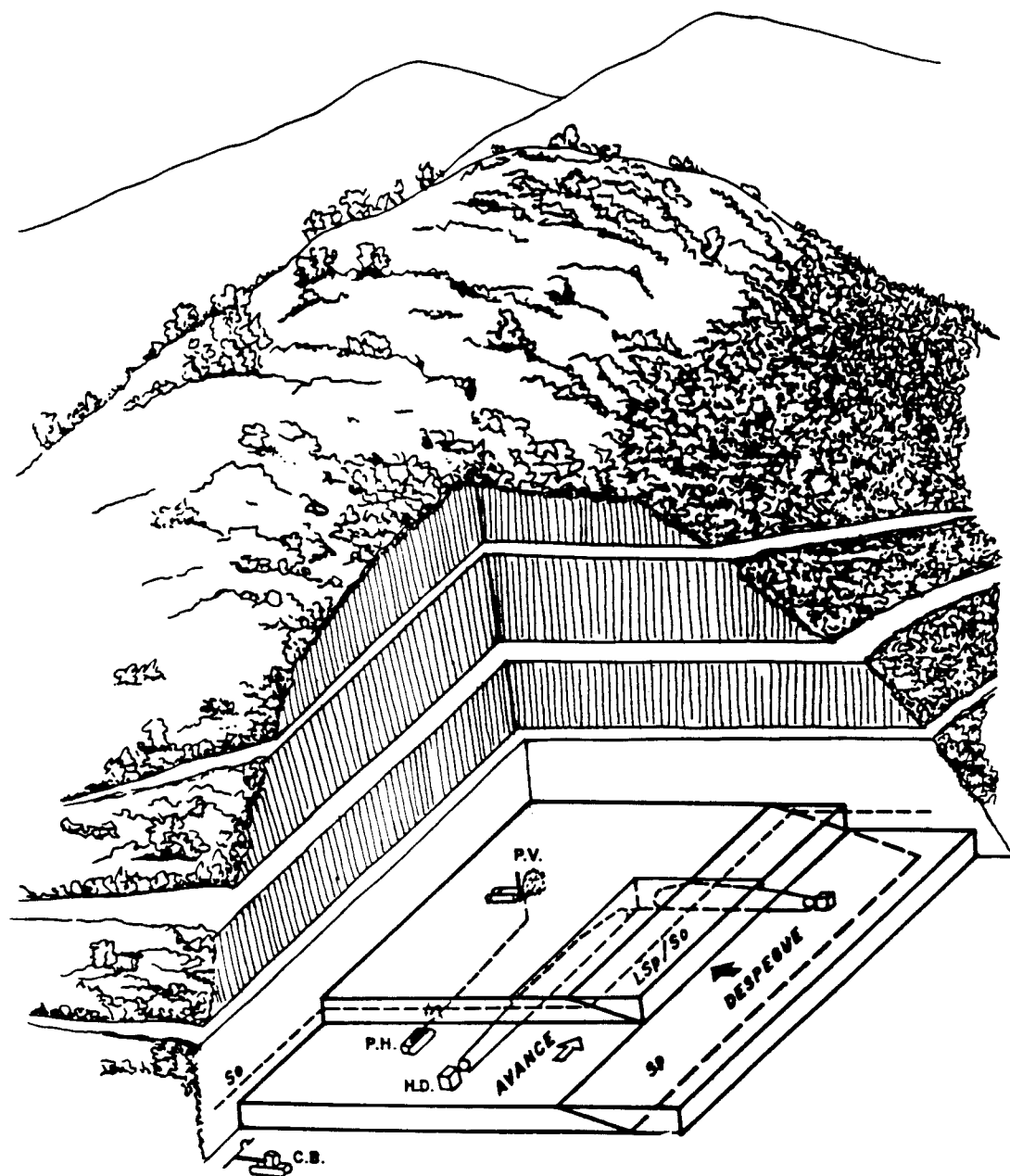
A su vez existe una pequeña diferenciación según se trate de minería a cielo abierto o en subterráneo, y se trate de pizarra aprovechable o estériles.

En este capítulo se describen las técnicas empleadas para la obtención de bloques de pizarra útil en las explotaciones a cielo abierto, no tratándose la minería subterránea por sobrepasar los objetivos prácticos del presente proyecto.

6.2.1.- Arranque

a) Desmontes

Son aquellas zonas de roca no aprovechable que es necesario retirar, para acceder a la extracción de bloques de pizarra útiles. Estas operaciones es deseable realizarlas rápidamente y de un modo práctico, para lo cual se empleará maquinaria específica, diferenciada de la utilizada para la obtención de bloque aprovechable, capaz de mover grandes volúmenes de estéril en el menor tiempo posible.



S₀ = ESTRATIFICACION

S_p = FOLIACION PRINCIPAL

L_{S_p/S₀} = LINEACION INTERSECCION S₀/S_p

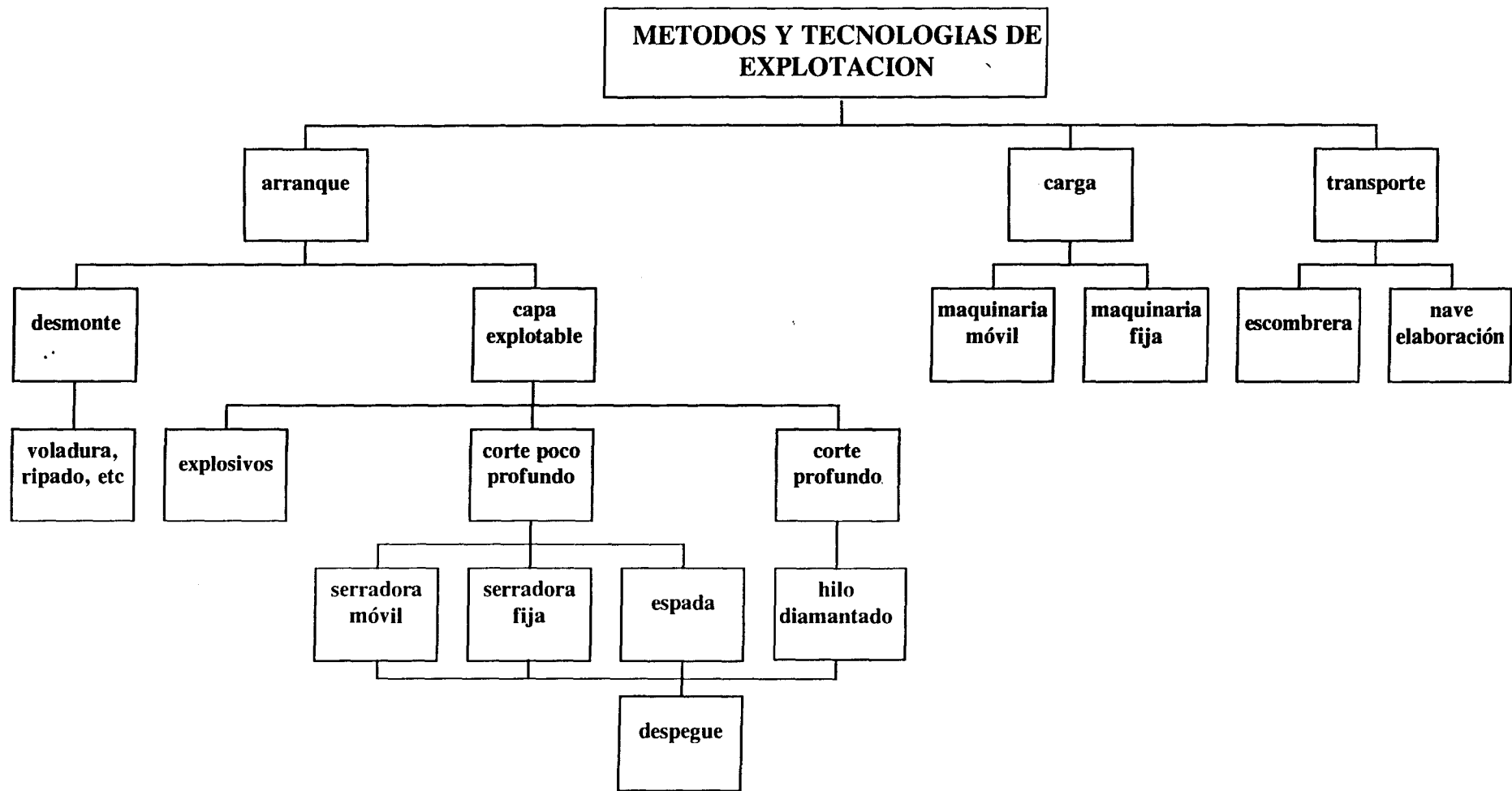
P.V. = PERFORACION VERTICAL

P.H. = PERFORACION HORIZONTAL

C.B. = CORTADORA DE BANCO

H.D. = HILO DIAMANTADO

Figura N° 16.- Geometría característica de una explotación de pizarras.



Esquema de los diferentes métodos aplicados en cada fase de una explotación de pizarras

Esta operación suele realizarse empleando explosivos para facilitar el arranque, salvo que el macizo rocoso se encuentre muy fracturado en cuyo caso es suficiente el uso de palas cargadoras o excavadoras.

El modo operativo es el siguiente:

Una vez preparado el acceso a la zona a desmontar se procede a su **perforación**. Para ello se utilizan carros perforadores con martillo en fondo o en cabeza, de sección variable (<10 cm), y con un avance máximo de las barrenas de unos 20 m. En su defecto se emplean martillos perforadores ligeros operados manualmente, de pulgada y media de sección y una longitud máxima de barrena de 4 m; en este caso la operación es mucho mas lenta y permite una carga menor en igualdad de perforaciones. El número de filas y espaciamiento de los barrenos, depende del estado de fracturación del macizo rocoso, litología y volumen de la roca a volar.

El **explosivo** habitualmente utilizado es *Goma 2 E-C*, como carga de fondo, combinado con *Nagolita*, como carga en columna, siempre que no existan problemas de agua en cuyo caso se emplea *Goma 2 E-C* o *riogeles*. Para provocar la explosión se utiliza cordón detonante iniciado por medio de detonadores eléctricos o detonadores unidos a *mecha lenta*. Esta operación la realizan operarios autorizados de la propia explotación o se encarga a empresas especializadas al efecto.

Estas operaciones de voladura se realizan en bancos descendentes, dejando el espacio suficiente para permitir el movimiento de la maquinaria y personal y creando las bermas de seguridad necesarias, hasta las proximidades de la capa explotable en donde se ha respetado un *macizo de protección* para no dañar la roca.

Una vez efectuada la voladura, la roca es **empujada** o **ripada** mediante bulldozer, para proseguir la operación de desmonte, o bien es **cargada** en dúmperes de alta capacidad para su transporte a las escombreras.

b) Extracción de bloque de pizarra

Antes de describir las técnicas de arranque, es conveniente recordar aquellos parámetros sobre los que se debe regir la extracción de bloques de pizarra para

obtener un mayor aprovechamiento. Independientemente de otras discontinuidades, el arranque teórico se debe efectuar según un paralelepípedo con las siguientes caras:

- dos planos de foliación
- dos planos ortogonales a la foliación y paralelos a la lineación de intersección S_o/S_p (*hebra* de los canteros)
- los dos planos restantes serán perpendiculares al plano de foliación y a la lineación de intersección S_o/S_p

El arranque se producirá a favor de las superficies de foliación, de abajo arriba, según el ángulo de máxima pendiente de dicha estructura, nunca al contrario. Tampoco es aconsejable el ataque lateral según la dirección de la foliación, dado que en ambos casos se producen roturas adicionales no deseadas.

En función del método de extracción empleado se producen los siguientes casos.

b.1) Arranque con explosivos

Se utiliza *pólvora negra* o *cordón detonante*, de gramaje variable, iniciado mediante detonador unido a mecha lenta (lo habitual) o mediante *cebo eléctrico*.

Este método es el mas económico y rápido, aunque sus inconvenientes son muchos. Así produce bloques de volúmenes y formas irregulares, con lo cual se aumenta la necesidad de serrado en las naves de elaboración y el volumen de desechos.

Crea roturas adicionales en el macizo rocoso, decreciendo el ratio de aprovechamiento de la capa explotable y merma la estabilidad de los taludes. Además genera mayor número de escombros.

Durante el período de voladura se deben interrumpir las otras labores mineras, ante el peligro de proyecciones de roca.

El barrenista, generalmente, efectúa las perforaciones ortogonales a los planos

de foliación o verticalmente, aprovechando las discontinuidades existentes (diaclasas, kink-bands, lineaciones, etc) en el macizo rocoso objeto de explotación. El espaciamiento entre los barrenos está condicionado al estado de fracturación de la roca.

Para esta operación se utilizan martillos perforadores de mano y barrenas integrales estandarizadas y coinciden con la zona a volar.

Los explosivos empleados son deflagrantes y de bajo poder rompedor, ya que se persigue la obtención de bloques lo menos dañados posible utilizando las discontinuidades de la roca.

Para que un explosivo trabaje correctamente es necesario que la plataforma de trabajo presente al menos dos caras libres, y así evitar el *bocazo* de los tiros.

Los bloques de menor tamaño no se aprovechan en aquellas explotaciones muy alejadas de las naves de elaboración, o si se utilizan es en el caso de existir naves *a pie de cantera*, o por personal que trabaje a *destajo*.

b.2) Corte de poca profundidad

Se realiza mediante máquinas cortantes o rozantes, las cuales producen una serie de cortes sobre los bancos de explotación, con el fin de obtener bloques de pizarra de caras regulares, paralelepípedicos.

La profundidad del corte va a depender del utensilio utilizado. En el caso de cortadoras de banco, está en relación con el diámetro del disco empleado, aproximadamente un tercio de la sección del mismo (menos de 80 cm). En cuanto a la cortadora de brazo o *espada*, depende de la longitud de la misma y no suele superar los dos metros.

Las cortadoras de *disco*, son herramientas dotadas de un disco con *pastillas* de diamante en concreción en su borde. Mediante el giro de este se produce la incisión sobre la roca. Para la refrigeración del elemento cortante se emplea agua.

La *espada* suele utilizar dientes de widia, los cuales por rozamiento producen

el corte del bloque.

Ambos mecanismos eléctricos o no, pueden ir montados sobre un bastidor rígido sobre el cual se desplaza, o bien emplazados sobre un carro de orugas con lo cual tienen una mayor movilidad y autonomía de corte, en cuyo caso suelen ser impulsados por motores de gas-oil. De igual forma el brazo en el que va montado el dispositivo de corte, puede ser fijo o permitir una cierta rotación con lo cual resulta mas versátil para la producción de cortes sobre el macizo rocoso.

Las ventajas de estas máquinas de corte son:

- Mejor rendimiento del bloque en nave, al aprovecharse las caras cortadas en la cantera, y producir menos desechos que en las caras irregulares
- Mayor aprovechamiento del transporte, al trasladar bloques mas regulares
- Menor escombros en cantera
- Plataformas de trabajo mas uniformes y taludes mas seguros

Los mayores inconvenientes o limitaciones son:

- Mayores costos de inversión y operación
- Son máquinas lentas y de poco rendimiento, lo cual requiere un cierto número de ellas o la utilización simultánea de otros sistemas (hilo, explosivos, etc) para abastecer las naves de elaboración
- Requieren una preparación previa del banco de explotación
- Las máquinas con bastidor fijo necesitan superficies de asentamiento subhorizontales, para evitar el pandeo del disco, y bancos relativamente grandes. Son poco operativas y se necesita un tiempo para cada asentamiento
- En yacimientos muy fracturados no se mejora el rendimiento, empleando este tipo de máquinas

b.3) Corte de mayor profundidad (hilo diamantado)

Para ello se emplean máquinas que arrastran un cable de acero provisto de anillos diamantados. Anteriormente se ensayó la utilización de hilos helicoidales, sobre los que se añadía granos de arena abrasiva, aunque no ofrecían buenos rendimientos en el corte de los bloques de pizarra.

El modo operativo es el siguiente:

Primeramente se efectúan unos barrenos en sentido horizontal, según la lineación de intersección S_o/S_p (*hebra* o *febra* de los canteros) y ortogonales a esta, mediante una sonda de unos 90 mm de diámetro, hasta una distancia de unos 20 m de longitud, que no conviene sobrepasar. A continuación se perfora en sentido vertical con una altura acorde con los bancos de explotación (menos de 5 m) y un diámetro menor (40-50 mm) hasta calar con la perforación horizontal. En la Figura N° 17 se muestra este método de corte.

En algunas explotaciones de granito se emplea una técnica distinta para evitar los barrenos horizontales. Consiste en efectuar una perforación vertical de unos 200 mm de diámetro. A continuación se introduce una columna con una polea en su extremo inferior, sobre la cual circula el cable de acero con los elementos de corte. Este método requiere una cierta adaptación del hilo a la curvatura de la polea, así como la adecuada coordinación entre el desplazamiento del mecanismo de arrastre y el movimiento del hilo, para mantener la tensión idónea de este y propiciar el corte.

Una vez efectuadas las perforaciones se introduce el hilo, el cual va conectado a un mecanismo de arrastre cuyo movimiento produce el serrado del bloque de pizarra, tal como aparece en la Figura N° 18.

Las máquinas pueden ser impulsadas por energía eléctrica o por gas-oil (mas ruidosas). Van montadas sobre unos carriles que permiten el movimiento de estas y mantener la longitud y tensión adecuada del cable de acero, para un serrado efectivo del bloque. La refrigeración se realiza por circulación continuada de agua en la trayectoria del corte.

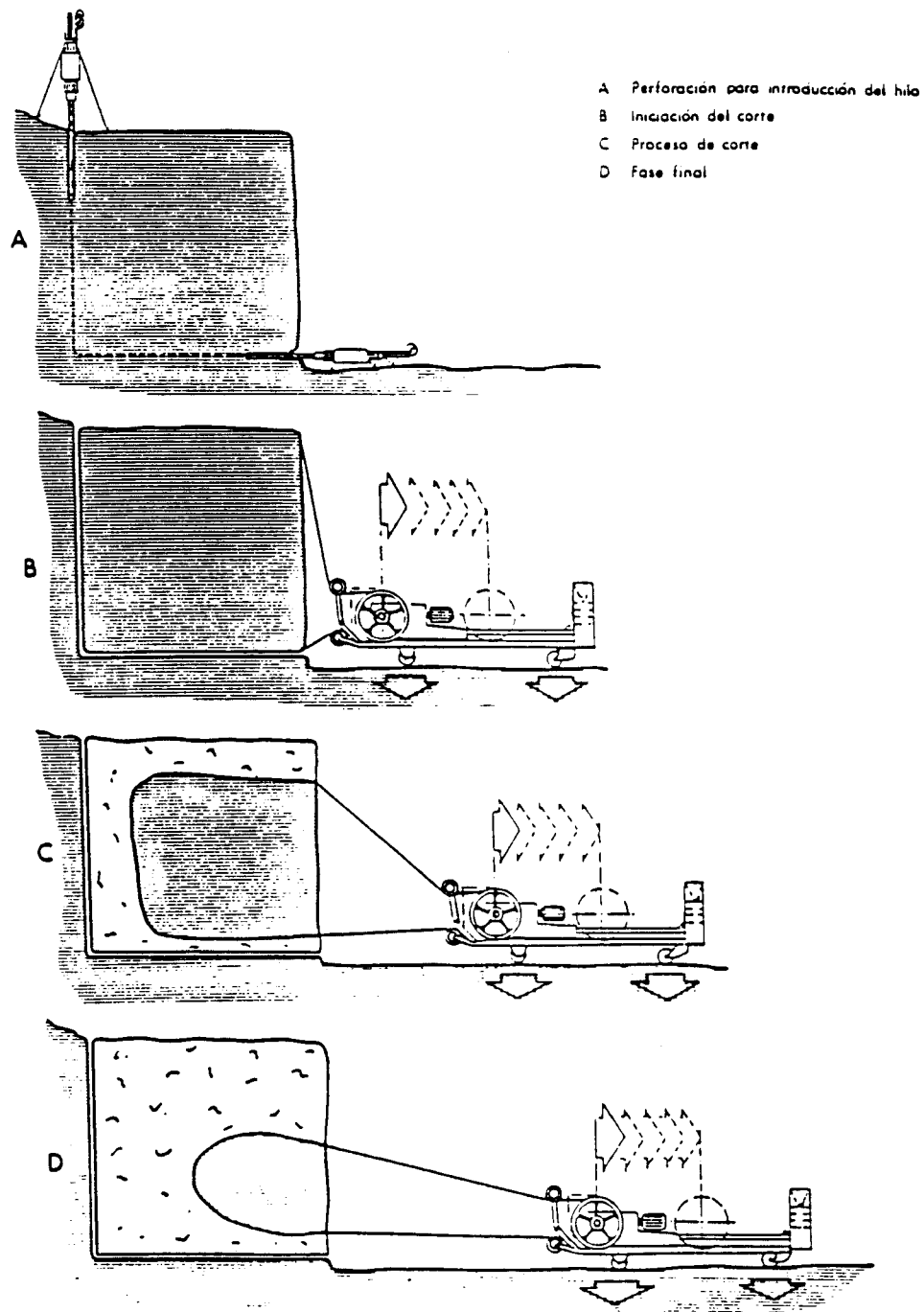
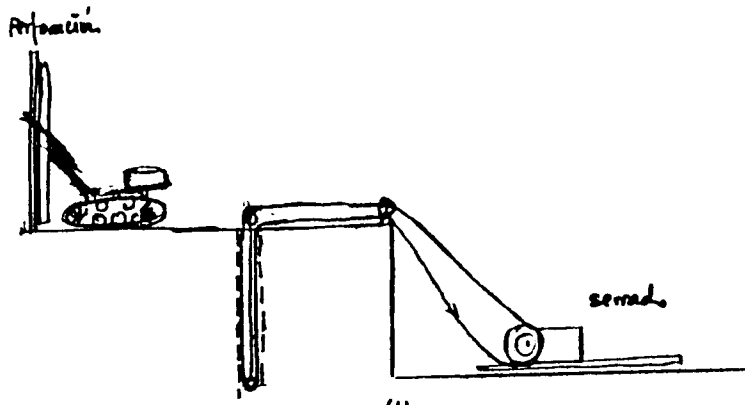
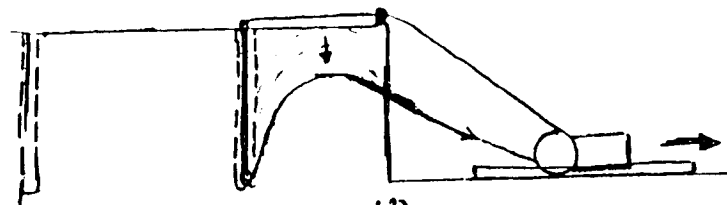


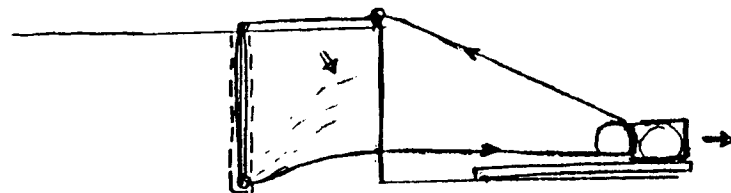
Figura N° 17: Esquema de corte con hilo



(1)

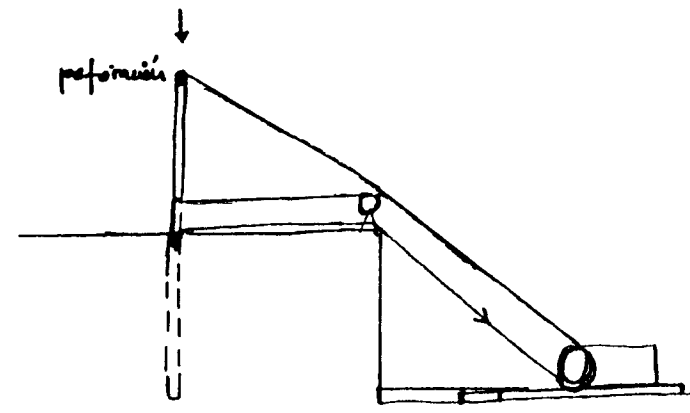


(2)

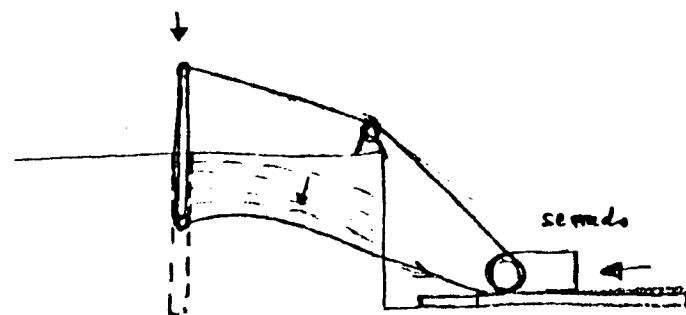


(3)

SISTEMA "A"



(1)



(2)

SISTEMA "B"

Figura N° 18.- Sistema para evitar la perforación en el serrado de bloques

Este sistema de explotación es el que tiende a imponerse por una serie de ventajas, siempre que el macizo rocoso no se encuentre muy fracturado, y que son las siguientes:

- Mejor aprovechamiento del bloque, tanto en la nave de elaboración como en la cantera, con el consiguiente ahorro en el transporte
- Mayor capacidad de serrado que en el caso anterior, permitiendo, si se ha programado adecuadamente, abastecer por si mismo la demanda de producción de las naves de elaboración
- Frentes saneados y regulares, con caras lisas, lo cual contribuye a aumentar el grado de seguridad de las explotaciones
- Menor escombros en canteras, etc

Como mayores inconvenientes podemos citar entre otros los siguientes:

- Coste de inversión y mantenimiento relativamente elevados
- Exigen una preparación previa del banco de explotación y que este tenga unas dimensiones mínimas para que el serrado sea efectivo
- Conseguir que el elemento cortante se adapte a las peculiaridades de la pizarra en cada yacimiento. La presencia de cuarzo, cuarcitas, etc reduce la vida efectiva de los elementos de corte

Al igual que en el caso de las cortadoras de poca profundidad, citadas anteriormente, para que su rendimiento sea efectivo se requiere que el macizo no se encuentre muy fracturado.

6.2.2.- Despegue

Es una variante del arranque específica de las pizarras. Para separar el bloque del macizo rocoso, a favor de los planos de foliación de la roca y en menor grado de otras discontinuidades, se emplean diversos útiles y maquinaria, con parecido

resultado.

- Cuñas y mazas. Este sistema tiende a abandonarse, sustituyéndolos por mecanismos neumáticos
- Pala excavadora. Utilizando los dientes del cazo y la potencia del motor, empuja hacia arriba para producir el despegue del bloque, que posteriormente amontona en una zona de la cantera
- Martillo picador de pico plano (*darda*). Montado sobre una pala con brazo articulado para posibilitar y facilitar el acceso a la zona de trabajo.

6.2.3.- Carga

En esta operación se recoge la roca del macizo rocoso, directamente, o del suelo para depositarla sobre el elemento de transporte.

Según se trate de bloques de pizarra útil o de estériles y/o escombros, puede existir una cierta diferenciación de la maquinaria. El trato que se da, según se trate de uno u otro material, es distinto, procurando no dañar el bloque de pizarra posteriormente tratado en la nave de elaboración.

También podemos distinguir carga con maquinaria móvil o fija.

6.2.3.1.- Carga con maquinaria móvil

Desmunte. Se utilizan palas de carga frontal o retropalas, montadas sobre orugas o ruedas, de alta capacidad de carga, combinado con la utilización de dúmperes rígidos o articulados.

Banco de explotación. Se emplean palas cargadoras montadas sobre ruedas, provistas de una malla de acero para facilitar agarre y evitar el desgaste y corte de los neumáticos. La máquina con el cazo recoge directamente del banco de explotación o del suelo, donde permanecen almacenadas, los bloques de pizarra y los deposita suavemente en la caja de camiones o dúmperes para su traslado. Si los bloques están serrados, con caras regulares, se facilita su carga y

emplazamiento en los citados elementos de transporte.

6.2.3.2.- Carga con maquinaria fija

Se emplean grúas, polipastos o cabestrantes, para el izado de bloques de pizarra y la retirada de escombros o desechos depositados en unos contenedores metálicos. Este sistema se emplea normalmente en explotaciones a cielo abierto tipo corta, donde la maquinaria móvil no puede acceder o lo haría con dificultad.

También se utiliza para desplazar y emplazar la maquinaria de corte y auxiliar (compresores, etc).

6.2.4.- Transporte

Es la última etapa del ciclo minero de una explotación. En esta se trasladan los materiales obtenidos a sus puntos de destino. Los bloques útiles de pizarra se conducen a las naves de elaboración y los escombros a las zonas de vertido.

En ambos casos existen unos elementos de transporte específicos, adaptados a la capacidad de la maquinaria de arranque y carga disponible.

- Desmante. Se emplean dúmperes de eje rígido o articulado, con capacidad de carga de 25-50 tm.
- Banco de explotación. Son camiones dúmperes, de dos ejes traseros, con caja basculante para permitir depositar los bloques obtenidos en las naves de elaboración.

Debido a los elevados costes financieros y de personal a los que ascienden algunas de las operaciones mineras mencionadas, empieza a observarse en este sector una tendencia a subcontratar ciertas labores, principalmente desmontes y voladuras y en menor proporción el serrado en banco de bloques de pizarra.

6.3.- Escombreras

Se denominan escombreras a las acumulaciones de materiales gruesos

procedentes principalmente de recubrimientos estériles.

En los apartados siguientes se comentan los aspectos de mayor interés para el proyecto y construcción de este tipo de implantaciones.

6.3.1.- Selección y preparación del emplazamiento

Las escombreras deben ubicarse preferentemente sobre terreno llano o con suave pendiente, que pueda constituir un cimiento firme, estable y poco deformable, evitando que dentro de la zona de influencia se encuentren viviendas, núcleos urbanos o instalaciones, así como vías de comunicación o redes de servicio.

No deben ubicarse, sin la adopción de medidas especiales de protección, en cauces o riberas que puedan bloquear cursos de agua por deslizamiento o desprendimientos.

Cuando existan zonas permanentemente inundadas se rellenarán con materiales gruesos seleccionados con buen drenaje.

Las fuentes o surgencias deben captarse y desviarse del área de la escombrera, procurando que el agua no entre en contacto con los escombros.

6.3.2.- Proyecto de la escombrera

Toda escombrera de más de 15 m de altura o de más de 25000 m³ de volumen deberá ser objeto de un proyecto previo en el que se detallarán los aspectos siguientes:

- La naturaleza de los escombros.
- Parámetros geotécnicos de proyecto.
- Topografía de la zona de ubicación (escala $\geq 1/10.000$).
- Redes naturales de drenaje superficial y condición de las aguas freáticas. Localización y características de surgencias y manantiales.
- Prescripciones respecto a la preparación del terreno.
- Justificación de los taludes de proyecto en las diferentes fases constructivas.
- Especificación de los métodos de transporte, extendido, compactación o vertido.

- Estudio hidrológico y justificación de las necesidades de evacuación y drenaje.
- Detalle y dimensionado de las instalaciones de drenaje.
- Proyecto de impacto ambiental.
- Proyecto de las instalaciones auxiliares como vías de acceso y transporte, muros de pie, etc...

6.3.3.- Naturaleza y propiedades geotécnicas de los escombros

Los reconocimientos y ensayos geotécnicos de este tipo de materiales es aconsejable que se realicen "in situ" bien en el propio talud o en las plataformas de maniobra, o excavando pozos de reconocimiento, con una relación de diámetro y profundidad de 5 a 1 respecto al tamaño del bloque máximo.

Débito al tamaño apreciable de los escombros, suele ser necesario recortar tamaños gruesos para realizar los ensayos usuales, existiendo diferentes métodos de aproximación de los resultados, para un recorte por encima de una dimensión dada.

Para los ensayos en laboratorio sobre probetas de roca, conviene mantener entre el tamaño de la probeta de ensayo y la máxima dimensión de las partículas, una relación de 8 a 10.

La forma de los escombros será fundamentalmente lajosa, procedente de las pizarras, dependiendo la granulometría del proceso de extracción más la inevitable segregación en el proceso de vertido. Dependiendo de los tamaños máximos se recurre a medida directa de dimensiones de bloques, cribas o tamices.

La determinación de la resistencia al corte (cohesión y fricción) puede realizarse mediante bastidores de corte y triaxiales de gran diámetro, y para estimar la fricción residual puede ser útil el ensayo "tilt-test".

Un buen recurso consiste en la observación de los taludes de escombreras similares para adoptar valores estimativos, teniendo en cuenta que la cohesión de los escombros es mínima, estimándose para el formado por pizarras y cuarcita un valor de 0,01 MPa.

En el apartado 5.3.1 se ha explicado como puede calcularse el ángulo de rozamiento interno efectivo.

Para estudiar la deformabilidad de los escombros se recomienda hacerlo mediante cargas de gran superficie, importante solo si se prevé la construcción sobre la misma. La deformabilidad está relacionada con la forma de vertido; la humedad presente en la colocación; la granulometría del material; y la alterabilidad y degradación.

Los asientos de la escombrera suelen variar del 0,5 al 3% de la altura produciéndose esta compresión en un período de 5 a 10 años, importante tan solo si el drenaje es deficiente y puede dar lugar a inestabilidades.

6.3.4.- Condiciones de inestabilidad

Los taludes de las escombreras se corresponden con el talud natural que adoptan los escombros según la forma de vertido y las condiciones de apoyo en la base, modificándolas por razones de estabilidad mediante el retranqueo periódico del borde de vertido de forma que resulte un talud escalonado de menor inclinación media.

6.3.4.1.- Coeficientes de seguridad

El coeficiente de seguridad de escombros vertidos con su ángulo de reposo es prácticamente la unidad, admisible tan solo en el caso de escombreras sin riesgo para personas, instalaciones o servicios, con altura menor de 15 metros y volumen no superior a 25.000 m³. En el resto de los casos se aconsejan los coeficientes de seguridad indicados en el Cuadro LXIV.

6.3.4.2.- Formas de inestabilidad

Los fenómenos de inestabilidad más frecuentes observados en escombreras corresponden a dos tipos: deslizamientos superficiales, frecuentemente rápidos y de pequeños volúmenes; y deslizamientos profundos de tipo circular o mixto que suelen afectar a masas importante de escombros.

Como causas de deslizamientos son frecuentes los problemas de estabilidad

motivados bien por cubrir surgencias naturales o por embalsarse agua en zonas de vaguada, situaciones que deberán ser previstas.

TIPO DE ESCOMBRERA		COEFICIENTE DE SEGURIDAD (*)		
		F ₁	F ₂	F ₃
IMPLANTACIONES SIN RIESGO	H ≤ 15 m V ≤ 25000 m ³ H > 15 m en escombreras en manto	1	---	---
	15 < H ≤ 30 m	1,10	1,20	---
	H > 30 m	1,20	1,30	---
IMPLANTACIONES CON RIESGO MODERADO	H ≤ 15 m V ≤ 25000 m ³ H > 15 m en escombreras en manto	1	1,15	1,20
	15 < H ≤ 30 m	1,10	1,25	1,35
	H > 30 m	1,15	1,30	1,45
IMPLANTACIONES CON RIESGO ELEVADO	H ≤ 20 m	1,10	1,20	1,40
	H ≥ 20 m	1,20	1,40	1,60

- (*) F₁: Escombreras normales, sin efectos de aguas freáticas y en cuya estabilidad no interviene el cimiento.
- F₂: Escombreras sometidas a filtración, agua en grietas o fisuras y riesgo de deslizamiento por la cimentación.
- F₃: Situaciones excepcionales de inundación, riesgo sísmico,...

Cuadro LXIV.- Coeficientes de seguridad mínimos recomendados en el proyecto de escombreras

Otras situaciones a vigilar serán las siguientes: sobrecarga del borde; creación de taludes más escarpados por excavación o erosión superficial; eliminación del soporte natural al pie de la escombrera; y rodadura de piedras grandes hasta el pie del talud, que se deben proteger mediante zanjas o cunetones de retención, muros de pie o barreras.

6.3.5.- Hidrología y drenajes

Los efectos del agua son fundamentales para el comportamiento de las escombreras.

En las escombreras situadas en vaguadas deben estimarse los caudales de agua que pueden incidir sobre el depósito de estériles, con el fin de darles evacuación.

Para la recogida de aguas de escorrentía deben construirse zanjas de intercepción ladera arriba de la escombrera, asegurando su limpieza y mantenimiento y si fuera necesario irían revestidas. En su evacuación ladera abajo deben limitarse las pendientes o intercalar partidores.

En las escombreras sobre terreno llano e impermeable la base de apoyo debe conformarse con una pendiente mínima del 4% hacia el exterior de forma que las lluvias infiltradas no formen bolsadas en el núcleo de la escombrera.

Si el agua freática tuviera carácter artesiano y estuviera próxima a la base de la escombrera deberá estudiarse la reducción de presiones mediante pozo de alivio o sistemas equivalentes.

Para la evacuación de caudales importantes se recomiendan los aliviaderos encajados en la ladera frente a las galerías drenantes por ser estas últimas susceptibles de roturas y obstrucciones.

En el caso de existir fases retranqueadas superpuestas, en el lado interno de la berma se deberá realizar una cuneta que recoja el agua procedente tanto de la berma, que contará con una pendiente entre el 4 y el 8% de sentido contrario a la del talud, como del talud superior, y siempre que sea posible se desaguará a ambos lados de la escombrera. Si fuese necesario podrá tener desagüe por el frontal del talud realizando el correspondiente aliviadero.

Las instalaciones de evacuación deben dimensionarse para desaguar el máximo volumen embalsable en un plazo máximo de 24 horas, asegurando siempre un resguardo mínimo de un metro.

6.3.6.- Aspectos constructivos

Como ya se ha explicado en el apartado 5.2, la primera acción a realizar antes de iniciar el vertido de escombros, sobre la base de la zona donde se va a situar la escombrera, será la retirada del suelo, coluvial o de los productos de meteorización de la misma roca.

Esta medida se debe a dos razones fundamentales: eliminar un material cuyas características de estabilidad son dudosas y puede dar lugar a deformaciones importantes; y guardar este material para reutilizarlo en el momento de restaurar la escombrera, con el fin de posibilitar la siembra de especies vegetales.

Para implantación de escombreras en ladera es conveniente escalonar la superficie del terreno. Las caras horizontales de estos escalones deben quedar apoyadas en horizontes lo suficientemente firmes, contando con una anchura que permita a la maquinaria trabajar ampliamente en ellas.

Donde se advierta la presencia de agua se debe dejar perfectamente drenado el contacto entre la escombrera y la superficie de apoyo mediante la instalación al menos de un dren longitudinal. Si cabe la posibilidad de que esta medida no sea suficiente será necesario instalar algún otro dren en las banquetas intermedias.

El nivel inferior de la escombrera estará formado preferentemente por materiales gruesos, y ausencia de finos que faciliten su drenaje.

El método de formación de la escombrera tiene importancia sobre la homogeneidad y estabilidad de la misma, y puede ser horizontal o paralela al talud.

Esquemas normales en el crecimiento de escombros son:

- Ensanche por vertido desde plataforma fija.
- Fases adosadas.
- Fases retranqueadas y superpuestas.

El método recomendado para las pizarras de La Cabrera es el de fases retranqueadas y superpuestas, que en ningún momento alcanza su altura máxima con

una pendiente del talud igual al ángulo formado en el vertido.

En la Figura N° 19 se muestra un esquema del método aconsejado.

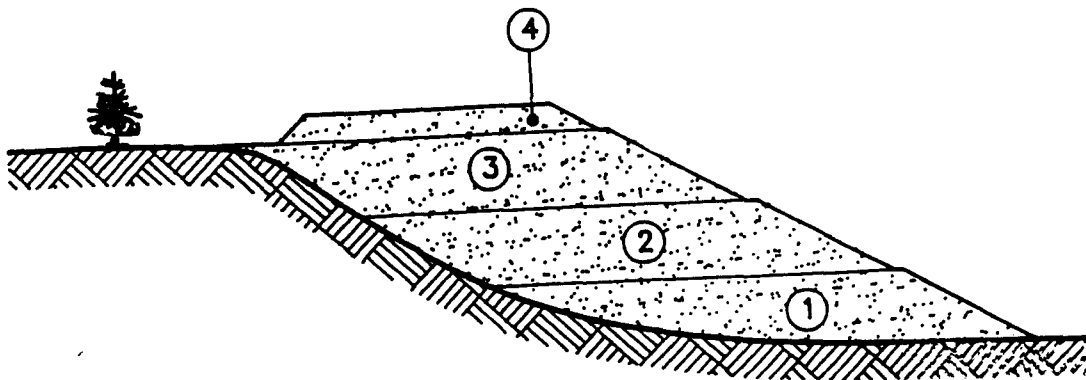


Figura N° 19.- Esquema del método de fases retranqueadas y superpuestas

Para el vertido existen diversos sistemas, siendo los más frecuentemente utilizados en este tipo de explotaciones los realizados desde camión. Por ser peligrosa la aproximación de los volquetes al borde de vertido, la distancia mínima a la que deben depositarse los escombros es de 3 m del borde de la plataforma. Posteriormente se aproximan mediante pala o tractor.

Es recomendable si pudieran aparecer problemas de estabilidad, compactarlos.

El recrecido de las plataformas debe realizarse de la forma más homogénea posible, por capas o tongadas horizontales no superiores a un metro.

Debe procurarse conseguir la máxima homogeneidad en cada zona de la escombrera, sin combinar en un mismo perfil escombros de distinta naturaleza.

Cuando alternen con los escombros rocosos monteras terrosas, materiales alterados o muy meteorizados que puedan constituir capas o bolsadas impermeables en la masa de la escombrera, estas se verterán en zonas localizadas formando por

delante de las mismas un dique de material granular o escollera, eventualmente complementado con medidas suplementarias de drenaje para garantizar la estabilidad del conjunto.

En el análisis de estabilidad de escombreras efectuado en el apartado 5.2, se ha calculado la geometría que debe tener la escombrera para conseguir un factor de seguridad de 1.2, que es el mínimo recomendado para escombreras normales, sin efectos de aguas freáticas y en cuya estabilidad no interviene el cimientto.

La geometría mencionada, viene definida por los siguientes parámetros:

- Altura de banco: 20 m.
- Bermas entre bancos: 5 m.
- Pendiente de las bermas y explanada: 4%.
- Angulo de talud de banco: 40°.
- Angulo medio de la escombrera: 36°.
- Altura máxima de la escombrera: 80 m.

En la Figura N° 20 se representa una escombrera en vaguada, con la geometría que se acaba de definir.

6.4.- Pistas, accesos y plataformas de trabajo

Las pistas y accesos a una explotación deben realizarse cumpliendo la ITC MIE SM 07 1 03, norma que comienza por definir estos conceptos como:

Pista: Vía destinada a la circulación de vehículos para el servicio habitual de una explotación.

Acceso: Vía destinada a la circulación de vehículos y/o personal, con carácter eventual para el servicio a un frente de explotación.

La primera consideración a tener en cuenta en su diseño, es el trazado en planta y en perfil, condicionado básicamente por la geometría del yacimiento y el método de explotación.

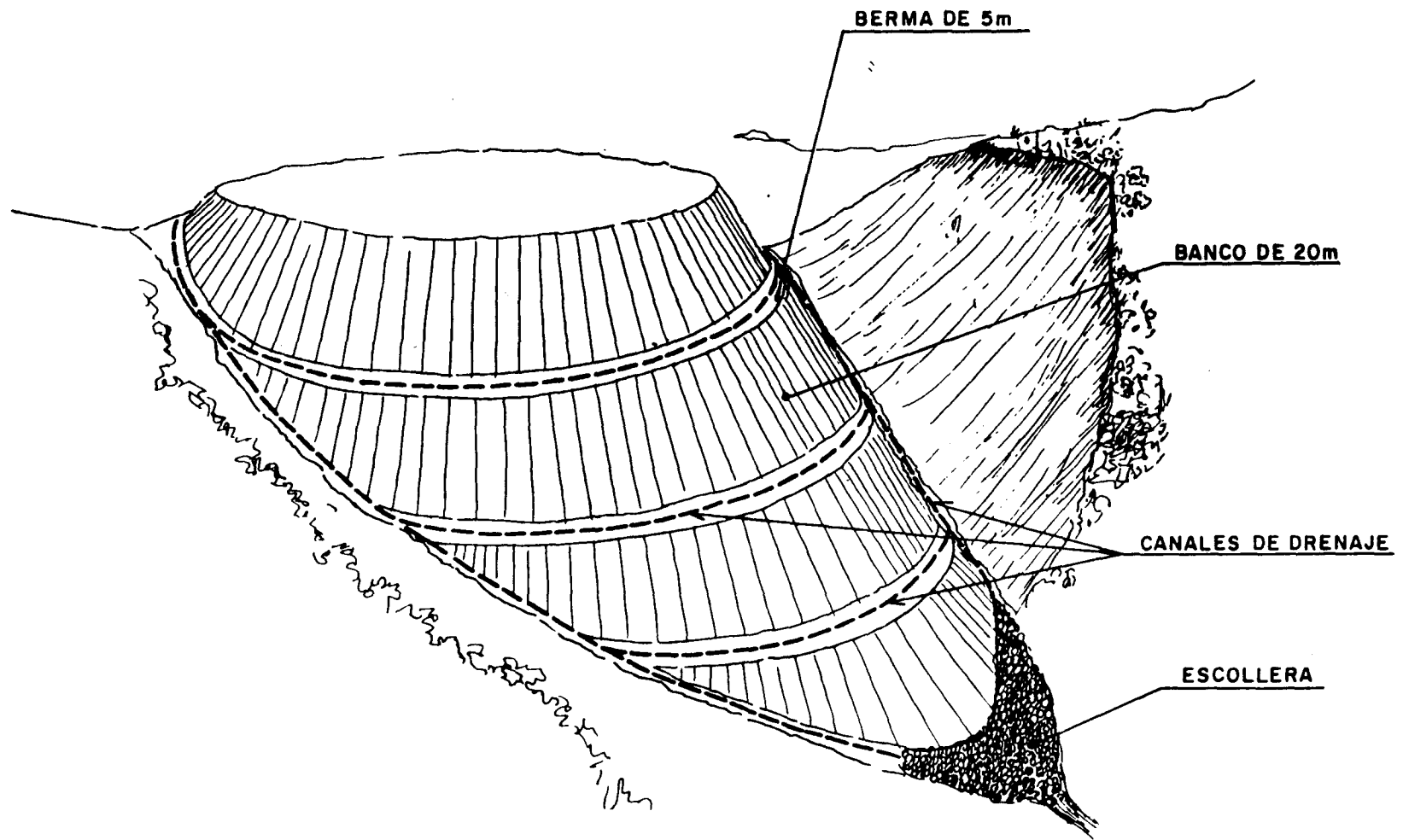


Figura N° 20.- Escombrera en vaguada con la geometría recomendada

Para yacimientos estratiformes suele adoptarse el trazado en zig-zag para evitar el disponer de pistas provisionales sobre el talud general de trabajo, que entorpecería la explotación.

También es adecuado para estas explotaciones si no se tienen que superar fuertes desniveles, un trazado rectilíneo y, ocasionalmente, a favor de la pendiente.

Aspectos importantes en su diseño que se tratan a continuación serían: el trazado en planta y alzado; la sección transversal; curvas admisibles; arcenes; y conservación.

6.4.1.- Criterios de trazado

En el diseño geométrico de una pista deben definirse las alineaciones o trazado en planta y las rasantes ó trazado en alzado, con vistas a garantizar una circulación segura y sin dificultades en función de los tipos de vehículos que vayan a utilizarlos y la intensidad prevista de circulación.

En primer lugar, es necesario definir una velocidad de proyecto o velocidad mínima que podrán mantener los vehículos durante todo el ciclo de transporte.

Las dos velocidades de proyecto estándar son 10 y 20 km/h. A partir de estos valores, se señalan cuáles han de ser las características mínimas que ha de tener el trazado. Para las velocidades señaladas, las distancias de visibilidad de parada serían las del cuadro LXV.

En la Figura N° 21 se aprecia cómo la distancia de visibilidad de parada influye en el diseño geométrico, tanto en lo que se refiere a las rasantes como a las alineaciones.

6.4.2.- Trazado en planta

El trazado en planta está constituido por rectas, curvas circulares y curvas de transición.

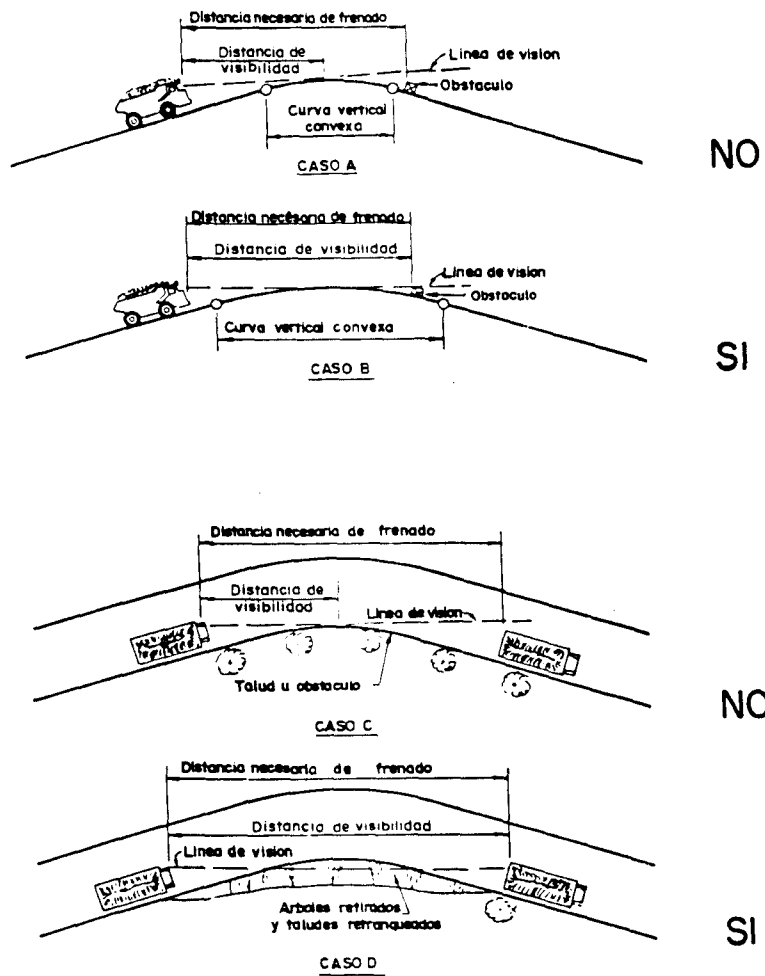


Figura N° 21: Influencia de la distancia de visibilidad de parada en el diseño geométrico

CARGA MÁXIMA (t)	VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD (m)		
		PENDIENTE (%)		
		1	5	10
45	10	10	12	15
	20	15	20	25
70	10	10	15	20
	20	20	30	40
105	10	15	20	30
	20	30	40	55
160	10	20	30	50
	20	40	55	85

Cuadro LXV.- Distancias de visibilidad de parada

Las alineaciones rectas debe procurarse que sean largas, debiendo tener una longitud mínima mayor si se encuentran entre dos curvas con el mismo sentido de giro.

Las curvas circulares deben tener como mínimo el radio de giro mínimo de los vehículos, no siendo recomendable este radio por exigir ser tomadas con velocidad prácticamente nula.

En el Cuadro LXVI se dan las relaciones recomendadas entre radios de curvas circulares, peraltes y velocidades de recorrido adecuadas, habiéndose fijado un peralte máximo del 6,5%, para evitar deslizamientos hacia el interior de la curva, y no permitiéndose en ningún caso, los peraltes inversos.

	RADIO (m)					
	12	25	50	75	100	150
PERALTE MÁXIMO (%)	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0
VELOCIDAD (km/h)	10	15	20	22	25	30

Cuadro LXVI.- Relaciones entre radios de curvas circulares, peraltes y velocidades de recorrido

Las curvas de transición son alineaciones de curvatura variable dispuestas entre alineaciones rectas y curvas circulares o entre curvas circulares de diferente radio, cuya misión es proveer un cambio gradual de la curvatura y del peralte. Es conveniente realizarlas si las velocidades pueden superar los 35 km/h.

6.4.3.- Trazado en alzado

El trazado en alzado está constituido por una sucesión de rampas, en sentido ascendente, y pendientes, en sentido descendente, y de acuerdos curvos que suelen ser parábolas de eje vertical.

Los tramos largos con fuertes pendientes, inciden desfavorablemente en: la seguridad, mayores distancias de frenado al bajar; los costes de operación, mayor consumo de carburante y tiempo de recorrido; y costes de conservación, mientras que los tramos largos horizontales pueden causar problemas de evacuación de aguas pluviales.

Las pendientes longitudinales medias no deben sobrepasar el 10%, con límites puntuales menores del 15% por tratarse La Cabrera de una zona donde pueden formarse placas de hielo.

En los accesos a los tajos u otros casos especiales se podrá superar este límite siempre que un vehículo en las condiciones reales más desfavorables, pueda arrancar y remontarlos a plena carga, pero en ningún caso la pendiente sobrepasará el 20%, debiendo adoptar medidas específicas de seguridad los vehículos o máquinas que circulan por estos tramos.

La pendiente mínima debe estar comprendida entre el 0,5 y el 1% para evitar acumulaciones de agua.

Los acuerdos verticales, para alcanzar la distancia de visibilidad necesaria, han de tener una longitud mínima, L , en m, dada por la expresión:

$$L = 1400 \cdot \theta$$

donde θ es el valor absoluto de la diferencia de las pendientes en acuerdo en

tanto por uno.

Recomendaciones para la coordinación del trazado en planta con el trazado en alzado

- * Evitar introducir curvas horizontales de radios pequeños en la cima de una colina o próximos a ella.
- * No hacer coincidir radios pequeños con fuertes inclinaciones.
- * Evitar las curvas horizontales cerradas cerca del pie de una colina o después de una pendiente continua.
- * Si el tráfico va a ser intenso se debe disponer de tramos de pista con alineaciones largas y pendientes constantes, especialmente en pistas de dos carriles.
- * Las intersecciones deben ser lo más llanas posibles o en vaguada, considerando la distancia de visibilidad en las cuatro direcciones.

6.4.4.- Sección transversal

La anchura de las pistas es función de las dimensiones de los volquetes, con una anchura mínima de la calzada para una pista de un solo carril de vez y media la del vehículo mayor que se prevea circule por ella. En caso de tráfico intenso pesado, esta anchura será de dos veces el ancho del mayor vehículo que circule por ella.

En las pistas de dos carriles, la anchura de la calzada será tres veces la del vehículo más ancho.

En los tramos en curva los volquetes necesitan una anchura mayor que en recta, debiéndose considerar un sobreancho para cada carril según la expresión siguiente:

$$S = \frac{I^2}{2R}$$

donde:

- S: Sobreancho de cada carril (m).
- I: Longitud de los vehículos medida entre su extremo delantero o de remolque, si es articulado, y el eje de las ruedas traseras (m).
- R: Radio de la curva (m).

La pendiente transversal de la pista debe garantizar una adecuada evacuación del agua de escorrentía, compatible con la cómoda y segura conducción de los vehículos.

Su valor ρ depende de las características de la superficie de rodadura y de la pendiente longitudinal, i , de la pista:

* Superficie con reducida resistencia a la rodadura:

- . Para $i < 5\%$, $\rho = 2\%$
- . Para $i \geq 5\%$, $\rho = 3\%$

* Superficie con elevada resistencia a la rodadura:

- . Para $i < 5\%$, $\rho = 3\%$
- . Para $i \geq 5\%$, $\rho = 4\%$

Por su parte, la pendiente transversal de la explanación habrá de ser siempre del 4%.

En las pistas de un solo carril a media ladera, la pendiente transversal deberá ser de sentido inverso a la de la ladera, disponiéndose una cuneta adecuada; en secciones en desmonte, el borde mas alto podrá colocarse en cualquiera de los dos lados.

Para pistas de dos o más carriles, la pendiente transversal en tramos rectos se

dispondrá a dos aguas con limatesa, pues la curvatura provoca un desgaste excesivo en el lado interno de los neumáticos.

En curva, la pendiente transversal de la superficie es la que corresponde al peralte, a una sola agua.

6.4.5.- Arcenes

Arcén es la zona comprendida entre la pista o acceso y el borde de la explanada donde están situados.

El arcén de separación entre el borde de la pista o acceso y el pie o el borde inferior de un talud no puede ser menor de dos metros.

Cuando exista riesgo de deslizamientos o desprendimientos en los taludes que afecten a una pista, esta debe protegerse mediante mallazo, bulonado, gutinado,... del talud, dejando si es necesario un arcén de seguridad de cinco metros de anchura.

En aquellos accesos que sean paso obligado de personal, el arcén de separación del borde inferior del talud se aumentará en dos metros más, para disponer de un arcén peatonal complementario.

En zonas donde exista riesgo de caída o vuelco, el borde de la pista deberá balizarse convenientemente. Si además la distancia de la pista al borde superior de un talud es inferior a cinco metros de terreno firme, deberá o bien colocarse un tope o barrera no franqueable para un vehículo que circule a la velocidad normal establecida o señalarse la anchura de pista y limitar la velocidad.

6.4.6.- Zonas especiales

En los casos de pistas de un solo carril con cruce de vehículos, deberán preverse apartados, espaciados un máximo de 200 m, con longitud mínima el doble de la longitud de los vehículos más largos que se utilicen y anchura la del vehículo más ancho que se prevea que circule por la pista.

Las bifurcaciones y confluencias son casos particulares de intersecciones de tres

brazos, donde las velocidades de operación de los vehículos que concurren son prácticamente iguales. La longitud debe ser lo mayor posible, garantizándose en toda ella una perfecta visibilidad.

El criterio fundamental de proyecto de intersección o cruces es el relativo a la visibilidad en sus inmediaciones, siendo necesario disminuir la velocidad en el acceso no prioritario por medio de señales, llegando incluso a la detención mediante una señal de STOP, si no es posible despejar por completo el área de cruce.

En el diseño de todos los tipos de intersecciones el radio de acuerdo debe ser como mínimo el radio de giro mínimo de los volquetes.

6.4.7.- Plataforma de trabajo

La plataforma de trabajo debe ser lo suficientemente amplia para permitir que los volquetes y palas maniobren con facilidad, sin aproximarse innecesariamente al frente de arranque y manteniendo una distancia mínima al borde del banco, durante el desarrollo normal del trabajo.

En situaciones especiales en las que se presenten riesgos de vuelco o caídas, se deben colocar barreras no franqueables en condiciones normales de trabajo.

La superficie de la plataforma de trabajo debe ser regular de modo que permita la maniobra de la maquinaria, su estabilidad y un desagüe eficaz. Se prestará especial atención a la conservación y limpieza de los drenajes y a la restauración de la superficie.

En caso de actividad nocturna, las plataformas de trabajo deben estar dotadas con el sistema de iluminación adecuado al trabajo a desarrollar.

6.4.8.- Conservación

Se denomina así a las operaciones tendentes a restituir las características iniciales de la pista minera degradadas por el paso de los vehículos y las acciones climáticas.

Los objetivos básicos que ha de perseguir la conservación de una pista minera son:

- Mantener el nivel de producción con la maquinaria disponible, operando con las unidades a los ritmos previstos.
- Reducir los costes totales de producción, mediante la disminución de los costes de operación y el aumento de la vida de los vehículos.
- Disponer de unas condiciones de seguridad y eficiencia óptimas.

La degradación de las pistas puede afectar en la explotación incidiendo en los siguientes factores: productividad, velocidad de transporte, consumo de combustible, vida de los neumáticos y seguridad.

En la conservación de las pistas existen dos tipos fundamentales de operación: puntuales y generales.

Entre las operaciones puntuales se encuentran los bacheos, consistentes en recortar el bache y retirar todo el material en la profundidad de la cavidad existente, rellenándolo con material seleccionado, convenientemente humedecido y compactado.

En la corrección de blandones es necesario además de realizar las operaciones anteriores, sanear la explanación, drenándola convenientemente en su punto.

La corrección de mordientes es habitual en determinadas curvas donde es necesario completar la anchura primitiva de la pista. Se recorta el borde, se elimina el material correspondiente y se limpia el sistema de drenaje superficial, si existe.

La corrección de ondulaciones se debe realizar con motoniveladora que retire el material sobrante, se compacta la superficie y se vuelve a pasar la motoniveladora para dar el acabado definitivo.

Es inevitable la caída de piedras procedentes de los taludes o de la propia carga que transportan los volquetes, por lo que se recomienda que, frecuentemente se asegure el responsable del transporte de la ausencia de piedras, y en el caso de existir

alguna proceder a su retirada inmediata.

Las operaciones generales de conservación tienen una misión fundamentalmente preventiva comentando a continuación las más importantes.

Para evitar la emisión de polvo, el método más sencillo es el riego frecuente de las pistas con agua.

Deben limpiarse con frecuencia las cunetas que permiten el drenaje superficial de las pistas y la canalización de las aguas de escorrentía, ya que el arrastre y deposición de materiales sólidos e incluso la vegetación natural que se haya podido desarrollar, impedirán en épocas de lluvias que por esas obras puedan circular los caudales de agua previstos.

La corrección de cárcavas puede completarse en paralelo con la corrección generalizada de ondulaciones incorporando materiales limpios y de reducido tamaño si fuera necesario.

El barro formado por el polvo y por la lluvia o por el propio riego con agua de las pistas y la nieve deben ser retirados lo antes posible, con el fin de evitar riesgos de deslizamiento y colisiones, así como disminuir la resistencia a la rodadura.

6.5.- Drenajes y tratamiento del agua de las explotaciones

El agua es un factor primordial en la inestabilidad de los taludes y su acción se verifica a través de diferentes mecanismos:

- Aumento de las presiones intersticiales, con la consiguiente disminución de resistencia a lo largo de la superficie de rotura.
- Aparición de presiones de filtración, con la dirección del flujo, que, cuando éste se establece hacia el exterior del terreno, provoca inestabilidades puntuales en la zona de surgencia, que muchas veces preludian la rotura general.
- Aumento del peso en taludes no saturados, situados por encima de la

superficie freática.

- Erosión superficial, o en el pie del talud, a causa de corrientes de agua localizadas o de escorrentía.
- Efecto de cuña entre bloques por congelación del agua.

Para reducir las presiones del agua se deberá favorecer la descarga mediante el correspondiente drenaje, siendo este efectivo en cada zona si su capacidad de descarga es superior a la recarga, incluso en temporadas de gran pluviometría.

Para realizar el proyecto de drenaje, con la elección del método más apropiado y de su disposición, se deberán conocer las propiedades hidráulicas y la distribución de presiones dentro del macizo rocoso, que nos proporcionará la extensión de macizo a drenar, la profundidad requerida de drenaje, y el radio de influencia de cada drenaje.

Con el fin de disminuir o evitar los efectos negativos del agua en la estabilidad de las explotaciones las actuaciones a realizar son de dos tipos: reducir la recarga y drenar el macizo.

6.5.1.- Reducción de la recarga

La acción más barata y eficaz con este fin es la realización de cunetas que eviten que el agua de escorrentía alcance al talud y produzca una rápida degradación del terreno superficial.

Estas cunetas excavadas en lo alto de la ladera desvían el agua superficial de forma que no fluya hacia la explotación. Si lo están en la parte interior de la berma recogen el agua de ésta y permiten vertir la procedente de ciertos drenes. La evacuación de este agua es recomendable que se realice por los laterales, y no por la cara frontal del talud, siendo necesario si se realizara de este modo una zanja de drenaje en la pared frontal.

Si existen grietas de tracción sobre el talud se deben rellenar con material permeable, y sellarlas para que no absorban el agua de escorrentía.

Una medida más cara y complicada es la instalación de pantallas impermeables para recubrimientos muy permeables y de poca profundidad. A veces puede ser más beneficioso realizar una zanja que corte este nivel superficial permeable e impermeabilizar el lado de la zanja situado aguas abajo.

6.5.2.- Métodos de drenaje

Existen diferentes métodos de drenaje que nos van a proporcionar un resultado óptimo si se utilizan correctamente en cada situación.

En la Figura N° 22 se muestran varios métodos de drenaje.

En las explotaciones de pizarras, la influencia del agua en la estabilidad del talud, resulta muy perjudicial si el plano de estratificación tiene la misma dirección que el talud y lo intersecta por su cara libre y su plano horizontal superior. En estas condiciones, la presión del agua introducida en los planos de discontinuidad, favorece el deslizamiento de cuñas o bloques por facilitar su apertura por dilatación.

Para evitar esta situación se debe realizar una zanja de drenaje previa a la intersección de este tipo de discontinuidades con el plano superior que evite nuevos aportes de agua. Para deprimir el nivel freático conviene perforar unos taladros ligeramente ascendentes desde la cara frontal del talud, instalando en su interior una tubería ranurada que permita drenar por gravedad la zona posterior a este plano de discontinuidad. El espaciamiento entre perforaciones puede variar entre 8 y 15 metros.

Si el nivel freático se encuentra a una altura que pueda influir en la estabilidad del talud y resulta necesario deprimirlo, una solución puede ser la perforación de pozos verticales con su correspondiente equipo de bombeo. Esta medida resulta cara tanto por el coste del equipo como por la realización de la instalación eléctrica. Si se realizan previamente a la construcción del talud pueden reducir los costes de voladura y transporte y compensan en cierta medida su inversión.

Si existen niveles freáticos colgados se puede solucionar perforando pozos o sondeos que corten el nivel impermeable y drenen el acuífero superior, trasvasando el agua al acuífero inferior.

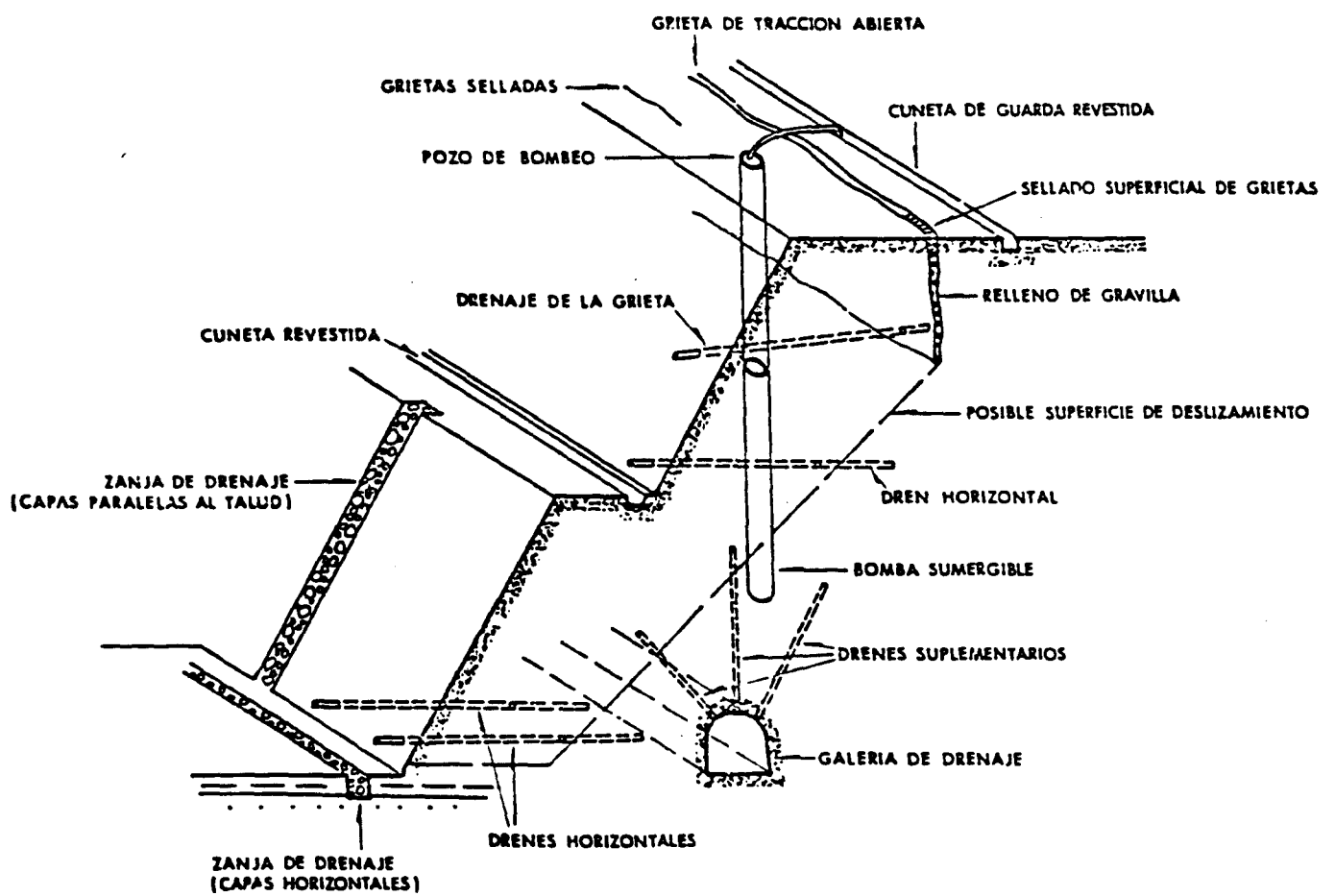


Figura N° 22.- Métodos de drenaje

6.5.3.- Tratamiento de aguas

El agua en las explotaciones de pizarras en La Cabrera puede tener dos orígenes: Procedente de los cauces que las atraviesan y de la pluviosidad; o bien de la refrigeración por circulación continua en los equipos de serrado, tanto en el talud como en las naves de elaboración.

El tratamiento de aguas tan sólo es necesario para las pertenecientes al segundo grupo, siendo precisa la construcción de balsas de decantación para su reciclado.

Generalmente será suficiente para los caudales a tratar, una balsa de decantación o dos si la nave de elaboración está alejada, donde por efecto de la disminución de velocidad en el flujo de agua, las partículas procedentes del serrado sedimenten y sea posible reincorporarla al circuito cerrado para su reutilización.

6.6.- Nave de elaboración

Es una instalación especializada dedicada a la fabricación de "pizarras para cubiertas", a partir de bloques (*rachones*) procedentes de yacimientos naturales.

A parte de los requisitos legales necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en el diseño de una nave de elaboración de pizarras, se deben contemplar los siguientes aspectos: nave, instalaciones de maquinaria, energía eléctrica, abastecimiento y tratamiento de aguas, zona de vertidos, etc.

Para la ubicación de una nave de elaboración de pizarras es necesario, al igual que en otras construcciones, disponer de una serie de medios o elementos que posibiliten o favorezcan el proceso productivo. Los mas importantes son los siguientes:

- **Suelo o espacio suficiente** para el emplazamiento de la naves, instalaciones auxiliares y escombreras.
- **Accesos adecuados**, que faciliten el desplazamiento de la maquinaria e incidan sobre la economía del transporte.
- **Agua y energía eléctrica**, elementos esenciales en el proceso de

transformación de la pizarra.

El teléfono y emisoras de radio permiten unas rápidas comunicaciones, siendo elementos también importantes.

Al margen de la nave de elaboración principal, que se ubicará en el lugar mas apropiado, es muy aconsejable la construcción de naves de menores dimensiones, situadas a *pie de cantera*, para el aprovechamiento del bloque de pequeño tamaño y aumentar así el rendimiento productivo del material. El transporte innecesario de bloques a las naves de elaboración decrece si se utiliza, como método de arranque en cantera, el hilo diamantado o cortadora de banco, y también si se dispone de naves exclusivamente de serrado en las proximidades de la explotación.

6.6.1.- Descripción funcional del proceso de elaboración de pizarras para cubiertas

En este apartado se describen las sucesivas operaciones necesarias para la fabricación de pizarras para techar, dentro de las instalaciones proyectadas. También se citan las necesidades de equipamiento, maquinaria y personal en cada una de las fases de trabajo.

En la Figura N° 23 se representa el Diagrama de Flujo y acciones del proceso de elaboración de pizarra.

6.6.1.1.- Descarga de bloques en la nave

Los bloques de pizarra (*rachones*), procedentes de las canteras, son transportados por medio de camiones volquetes hasta las naves de elaboración. En una zona apropiada de estas y mediante el izado de la caja del camión se depositan directamente en el suelo o sobre cubiertas usadas, para amortiguar el golpe y dañar lo menos posible al bloque.

En el caso de que los bloques fueran paralelepípedicos, por la utilización de un sistema de serrado en cantera, podrían descargarse mediante el puente grúa o ser posados directamente sobre las sierras, siempre que el espesor de los mismos sea el apropiado para el diámetro del disco.

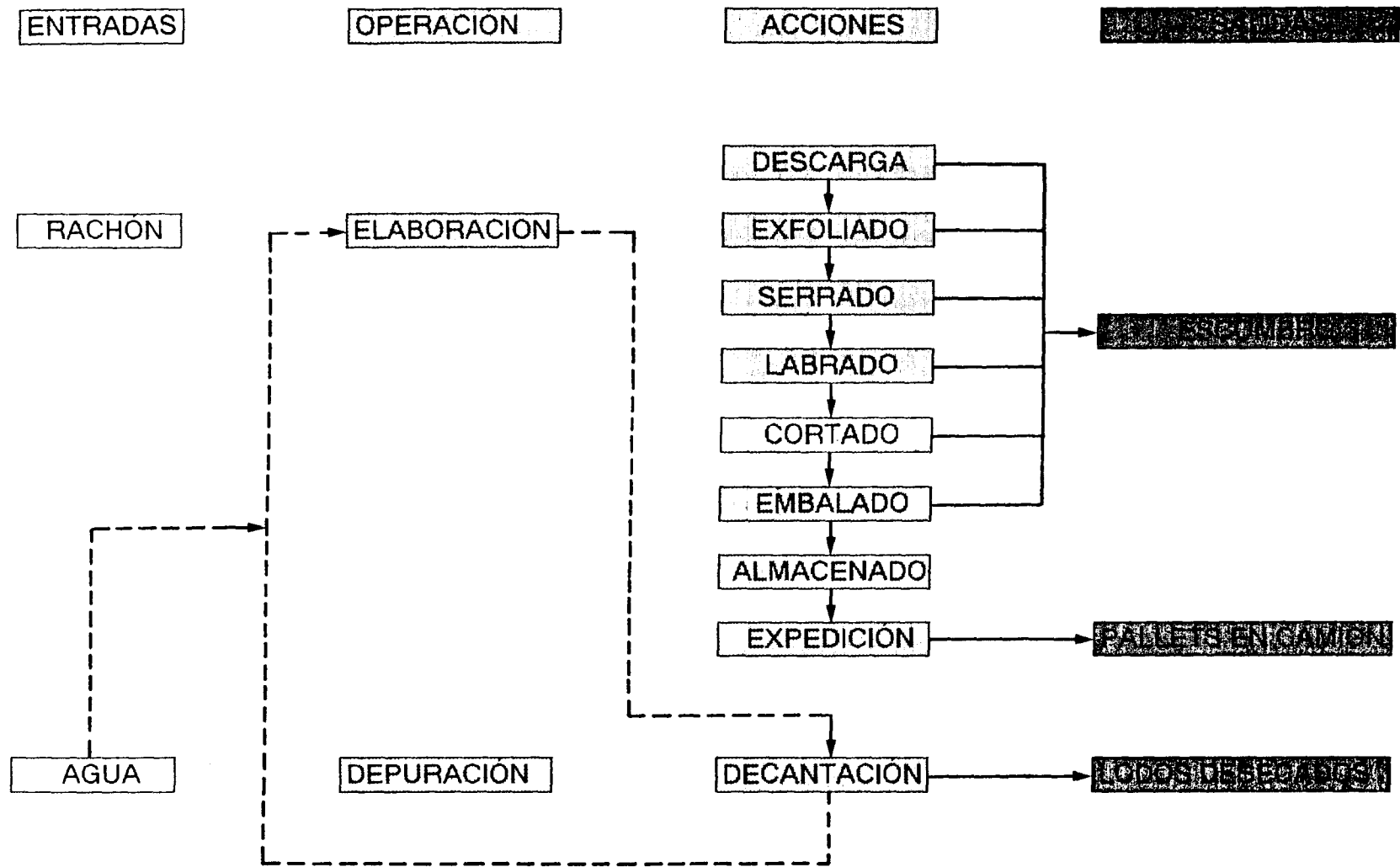


Figura N° 23: Diagrama de flujo y acciones del proceso de elaboración de pizarra

6.6.1.2.- Exfoliación primaria e izado de bloques

La primera operación consiste en dividir los bloques, según los planos de foliación de la pizarra, a un espesor apropiado a la sierra a utilizar. Este no podrá superar un tercio del diámetro de la misma.

Para esta operación se utilizan martillos neumáticos con pica plana y también picos, cuñas y mazos.

Los bloques así preparados son izados, mediante puente grúa o polipasto dotados de ganchos con ángulo recto, hasta las mesas o carros de serrado.

Para estas operaciones de exfoliado primario, manejo de puente grúa y limpieza de escombros se precisan dos o tres operarios.

6.6.1.3.- Serrado

Esta operación consiste en el serrado de los bloques en bruto, en otros paralelepípedos de menor tamaño, de dimensiones apropiadas a la plantilla a fabricar.

Los bloques serrados pasan directamente a la zona de labrado, mediante un camino de rodillos, o bien se depositan en unos contenedores rellenos de agua, que los mantiene húmedos para mantener el grado de fisibilidad de la roca, en una área específica de almacenamiento dentro de la propia nave.

Los desechos producidos en el serrado se arrojan directamente por una tolva o bien se depositan en otros contenedores para su posterior retirada hacia la escombrera.

El disco de las sierras está refrigerado por circulación continua de agua, la cual es recogida por medio de una cuneta y conducida a la zona de tratamiento de aguas (balsas de decantación, decantadoras), desde donde tras su reciclado, es reincorporada al circuito cerrado para su reutilización.

En este proceso se precisa, al menos, de un operario por sierra para la realización de las citadas labores.

El troceado en bloques paralelepípedicos se puede efectuar de dos formas distintas según la disposición que adopten las sierras:

Sierras en línea paralela

Son una o varias sierras trabajando independientemente. La operación consiste en efectuar una serie de cortes paralelos según una dirección determinada. A continuación, mediante el giro de la mesa de serrado, se efectúa una segunda serie de cortes de una dirección ortogonal u oblicua a los primeros.

Para poder realizar esta operación la sierra se traslada sobre unos carriles, el carro de serrado es móvil y la mesa permite la rotación sobre un eje central.

Normalmente, en este tipo de sierras el disco tiene un diámetro de unos 1.000 mm.

Sierras en línea en serie

Está formado por dos o tres sierras que actúan secuencialmente sobre el bloque bruto de pizarra. La primera sierra corta el bloque en tiras, mientras que la segunda, que puede ser de cabezal móvil, situada a continuación de aquella produce una serie de cortes transversales creando bloques paralelepípedicos. Cuando se utiliza una tercera sierra, esta suele emplearse para un precorte, en la preparación del *rachón*.

En este caso las sierras son fijas, desplazándose los bloques mediante camino de rodillos, bandas de goma transportadoras, etc.

El traslado del bloque entre las sierras se efectúa mediante puente grúa, polipasto o mesa de rodillos diseñada al efecto.

El diámetro usual del disco en este tipo de sierras es de 600 mm.

En gran parte de las naves de elaboración actuales, existen los dos tipos de sierras. Las sierras colocadas en serie permiten un mejor aprovechamiento del *rachón*. Este mayor rendimiento se debe a que la segunda sierra, que puede disponer de cabezal giratorio, permite realizar cortes oblicuos y sobre todo seleccionar la línea de corte en cada tira, aspecto muy importante dadas las irregularidades (diacласas, kink-bands, intercalaciones arenosas, cuarzo, etc) que normalmente presenta la pizarra.

6.6.1.4.- Labrado

Los bloques paralelepípedicos, procedentes de la *zona de serrado*, se trasladan directamente mediante camino de rodillos o bien se mantienen almacenados en contenedores rellenos con agua, para proceder a su posterior labrado.

Esta operación realizada por el *labrador* consiste en el lajado de los bloques hasta conseguir placas de un espesor comercial determinado. Para ello se emplea una ñeta con golpes de martillo, sobre un banco apropiado, aprovechando los planos de fisibilidad natural de la roca. Primeramente, el operario divide el bloque en pequeños bloques, de unos 3 cm de espesor. A continuación, con otra ñeta algo mas ancha trocea estos dividiéndolos siempre a la mitad, hasta conseguir placas de un espesor comprendido entre 3-6 mm, según el mercado al cual van destinadas.

El proceso de labrado es muy repetitivo para el operario que lo efectúa. Por lo que en alguna explotación extranjera se utilizan ñetas neumáticas personales para sustituir a los útiles clásicos.

En la actualidad se está ensayando un prototipo de máquina exfoliadora, financiado por la Xunta de Galicia, aunque para su funcionamiento se requiere una línea de prelabrado previa. Según algunas pruebas realizadas produciría unas 4 placas cada 5 segundos, lo que a lo largo de la jornada se traduciría en una producción teórica de 19.200 piezas, equivalente a la producción de 8 *labradores*.

6.6.1.5.- Cortado

En esta operación se da a las placas la forma final así como un biselado de los bordes, para impedir la penetración del agua de lluvia combinada con la acción del viento, de acorde con unos modelos estandarizados en función del mercado al cual van destinadas. Para ello se utilizan tijeras y troqueles manuales, de pedal, neumáticas y otros elementos de corte.

Las tijeras permiten al operario adaptar el corte para cada placa, gracias a una serie de muescas que lleva incorporada y que corresponden a escalas estandarizadas, en función de las dimensiones y de las regularidades que presente la pieza. Este instrumento se emplea para la fabricación de placas rectangulares.

Los troqueles presentan numerosas plantillas de formas (rectangulares, curvilíneas, etc) y tamaños muy variables, siendo menos versátiles.

Actualmente se está introduciendo una cierta mecanización en el funcionamiento de las tijeras y troqueles, incorporando mecanismos neumáticos, corte mediante hélices movidas por motores eléctricos, etc y dotados de los pertinentes sistemas de seguridad personal, para facilitar el trabajo y aumentar la producción.

El operario que realiza la labor de *corte* y *biselado*, normalmente se sitúa al lado del *labrador*, del que se surte directamente o a través de un camino de rodillos. Normalmente, aunque depende de la demanda del mercado y de la bondad de la roca, se intenta fabricar las plantillas de mayores dimensiones, utilizándose los bloques pequeños o que presenten algunos defectos en sus bordes para los de menor tamaño.

Al igual que en proceso de labrado, se han hecho algunos intentos por introducir cortadoras automáticas, las cuales producen un corte en dos de las caras paralelas y posteriormente en las otras dos. Sin embargo este sistema solo es válido para modelos rectangulares, debiendo ajustarse si se cambian las dimensiones de la plantilla, y produciéndose numerosos atascos en su funcionamiento por rotura accidental de las placas.

Algún mercado, como el alemán, requiere que las placas de pizarra estén perforadas en unas zonas determinadas, para facilitar el clavado de la misma en el tejado. Para ello se diseñaron unas máquinas taladradoras, con varios puntos de perforación, producidos por el giro de brocas o el impacto de clavos acerados. En ocasiones estos mecanismos se acoplan directamente sobre el troquel, realizando las dos operaciones conjuntamente.

Los desechos producidos por las operaciones de labrado y corte se arrojan directamente por una tolva situada al pie de los operarios. También pueden depositarse en una cinta transportadora que los conduce a unos contenedores de recogida situados al efecto o directamente a la escombrera.

6.6.1.6.- Selección, clasificación, embalaje y almacenamiento de jaulas

Estas son las operaciones finales en el proceso de producción, siendo de gran importancia de cara a la calidad y garantía del producto.

Normalmente se utiliza un operario para cada tres grupos de labradores y cortadores.

La *selección* como su nombre indica consiste en escoger las placas según una serie de parámetros de calidad establecidos, produciéndose dos tipos de pizarra: *especial y corriente*.

La *clasificación* se hace en base a diferentes tamaños y plantillas estandarizados.

El *embalado* se realiza en jaulas de madera (*pallets*) construidos al efecto. Posteriormente se flejan y se le coloca la identificación y los distintivos del fabricante o expendedor.

El *almacenamiento* de los *pallets* se realiza en una zona destinada al efecto, utilizando para su transporte carretillas elevadoras.

6.6.1.7.- Expedición

Normalmente se realiza mediante camiones o a través de ferrocarril y barco. Para la carga de los camiones se utilizan carretillas elevadoras sobre ruedas.

6.6.1.8.- Plantilla

La distribución de personal expresada en tanto por ciento sería la siguiente:

<u>Serrado</u>		16
	Gruistas	3
	Serradores	9
	Ayudantes	4
<u>Labrado</u>		69
	Labradores	30
	Cortadores	30
	Embaladores	9

<u>Transportistas y otros</u>	8
<u>Encargados</u>	3
<u>Técnicos y administrativos</u>	4
Total	100

A este personal habría que añadirles los destinados a labores de mantenimiento y reparaciones (talleres, almacén, etc).

6.6.2.- Nave y descripción de las instalaciones

El diseño y dimensiones en planta de la nave de elaboración de pizarra, condiciona la organización de la cadena productiva. También incide sobre otras labores secundarias, como por ejemplo: almacenamiento y reparación de maquinaria móvil en condiciones climáticas adversas, etc, en el caso de no existir instalaciones al efecto.

Aunque existen varias concepciones en el diseño de las naves, básicamente, dentro de éstas, pueden distinguirse dos zonas claramente definidas: serrado y labrado.

Por criterios de seguridad e higiene en el trabajo es conveniente que ambas estén separadas estructuralmente, a fin de limitar, sobre todo la incidencia de ruidos ambientales y polvo en suspensión. Para ello es conveniente situar entre ambas un muro doble de separación, relleno de aislante acústico. También es recomendable la utilización de un túnel con doble puerta, en material transparente, de apertura y cierre automático, de tal forma que ambas no permanezcan abiertas al mismo tiempo y así evitar la propagación del sonido y transmisión de polvo.

Dentro de la **zona de serrado**, se pueden distinguir las siguientes áreas y maquinaria:

- Recepción y acopio de bloques de pizarra (rachones). Accesible y que no impida la libre circulación de carretillas y el izado sin dificultad de los bloques mediante puente grúa o polipasto.
- Exfoliado primario. Normalmente se encuentra en el borde de la anterior

y es donde se lajan los bloques para permitir su serrado.

- Puente grúa y/o polipasto. Son los elementos que producen el izado y emplazamiento de los bloques sobre las mesas o carros de serrado. En función del número de sierras empleadas, puede ser preciso la utilización de dos puentes grúa para no entorpecer las labores de serrado.
- Area de serrado. La configuración vendrá dada por la línea de serrado elegida, en serie o en paralelo.
- Camino de rodillos. Mediante los cuales se realiza el desplazamiento de los pequeños bloques serrados, y que comunican directamente con la *zona de serrado*. Este sistema se utiliza normalmente, cuando la cadena de producción no se detiene, ya que en otro caso es recomendable almacenar los bloques serrados en contenedores labrados de agua, para no perder la facilidad de hienda de la roca. En los camino de rodillos y entre ambas zonas, es recomendable para limitar la propagación de polvo y ruidos, situar puertas dobles de goma.
- Area de almacenamiento de bloques serrados. En caso de no existir camino de rodillos, los bloques serrados se almacenan en contenedores apropiados rellenos de agua. Esta área se puede situar tanto dentro de la zona de serrado como en la de labrado, en función del espacio disponible.

La **zona de labrado** se compone de agrupaciones de unidades mas o menos autónomas formadas por puntos de labrado, corte y embalado.

- El *labrador*, recoge los bloques paralelepípedicos serrados del camino de rodillos o de los contenedores, los exfolia en placas finas y los pasa a otro operario para su corte.
- El *corte* se realiza con cizallas o troqueles, para su biselado y adaptar la placa a unos modelos de plantillas estandarizadas.
- Para el conjunto de varios labradores y cortadores existe un operario que *selecciona, clasifica y embala*.

- Fuera de la nave de elaboración, en una zona apropiada situada a la intemperie o en un recinto cubierto, las jaulas (pallets) son *almacenados* previa su distribución en el mercado.

Los operadores de esta zona de labrado se pueden distribuir siguiendo diferentes esquemas, entre los que cabe destacar los siguientes: Organización lineal y en ramales paralelos. Estos esquemas de trabajo se representan en las Figuras N° 24 y N° 25.

Si se incorpora labradora automática el esquema quedará como se indica en la Figura N° 26.

Dentro de los aspectos meramente constructivos, son recomendables, una serie de actuaciones que van a redundar sobre la calidad de las condiciones de trabajo y su adecuación a las normas de seguridad e higiene. Podrían citarse entre otras las siguientes:

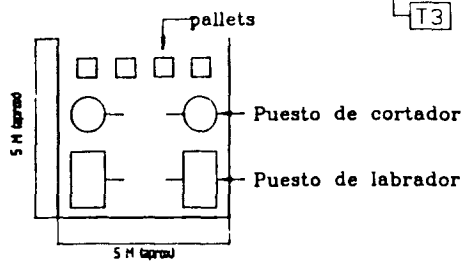
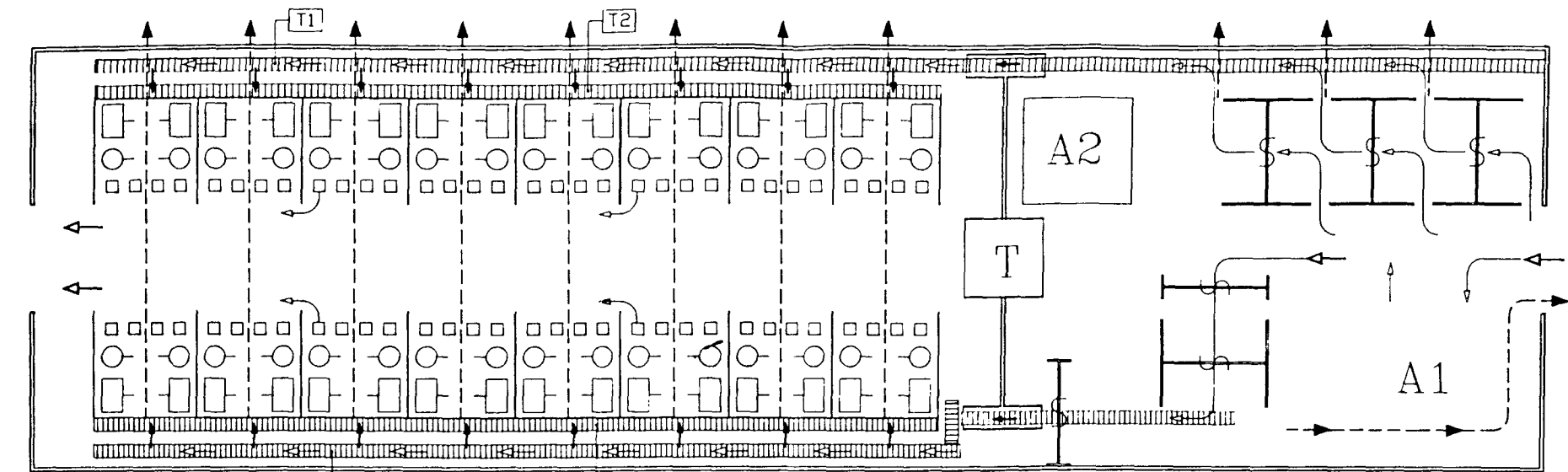
- Construcción de vestuarios, aseos, comedores, etc.
- Cubiertas con planchas traslúcidas y laterales acristalados, para el aprovechamiento de la luz natural.
- Aislamiento térmico-acústico bajo la cubierta, en zonas con condiciones climáticas severas.

Los elementos mas perjudiciales para el personal, originados como consecuencia del proceso de elaboración de pizarra, son los causados por el efecto del polvo y el ruido.

Polvo ambiental

La normativa fija unos límites máximos de la fracción respirable del polvo en función del sílice libre presente, en relación a los períodos de exposición.

Para limitar sus efectos se deben adoptar una serie de medidas de todo tipo (administrativas, prevención médica, etc) acompañadas de otras de carácter técnico.



Unidad de trabajo (U.T)

NOTAS

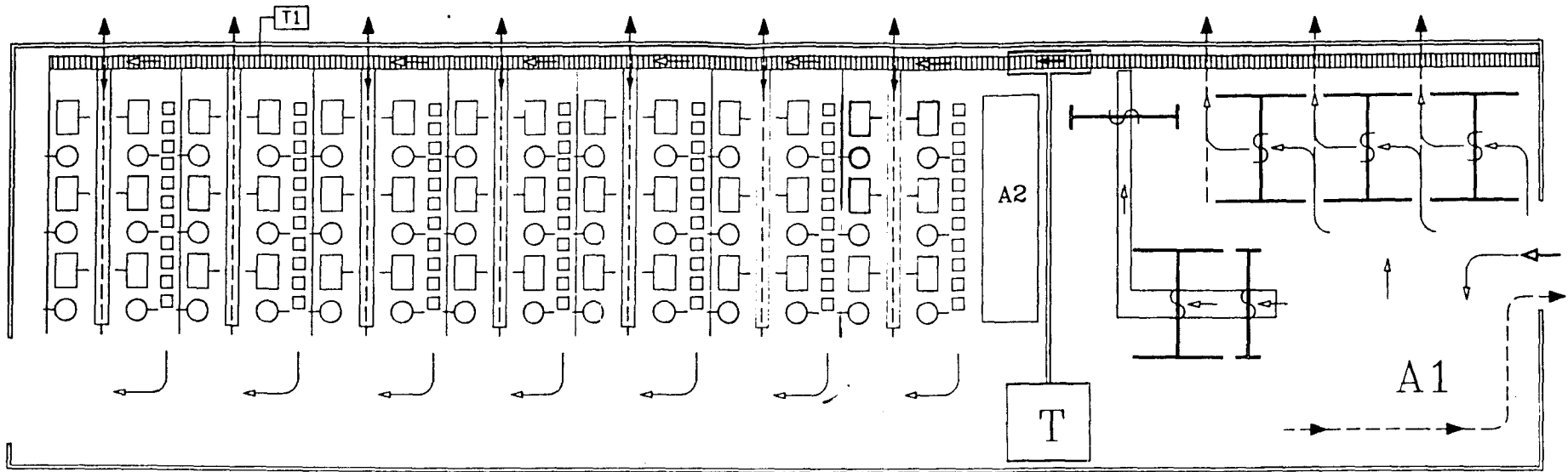
- 1 Areas de trabajo y sierras elevadas entre 1 y 2 mts del suelo
- 2 Las cintas ó transportadores van incrustados en canaletas
- 3 Los rodillos de transporte por un nivel superior

- T1-T3. Caminos para transporte
 T2-T4. Situación de los cubos o tochos para labrar
 A1. Descarga de "rachones"
 A2. "Stocks" intermedio de tochos
- ← Circulación de la materia prima
 -> Circulación del escombros (cinta o transportador)
 T Estructuras de paso de doble puerta

Sierra de puente fijo

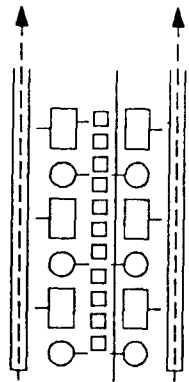
Sierra de puente móvil

Figura N° 24: Distribución de maquinaria e instalaciones según un esquema para una organización lineal del trabajo

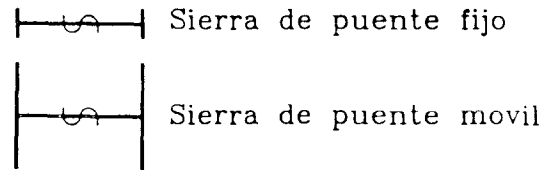


NOTAS

- 1. Areas de trabajo y sierras elevadas entre 1 y 2 mts del suelo
- 2. Las cintas ó transportadores van incrustados en canaletas
- 3. Los rodillos de transporte por un nivel superior



Unidad de trabajo (U.T)



T1-T3. Caminos para transporte
 T2-T4. Situación de los cubos o tochos para labrar

A1. Descarga de "rachones"
 A2. "Stocks" intermedio de tochos

- ← Circulación de la materia prima
- -> Circulación del escombros (cinta o transportador)
- T Estructuras de paso de doble puerta

Figura N° 25: Distribución de maquinaria e instalaciones según un esquema para una organización de labrado en ramales paralelos

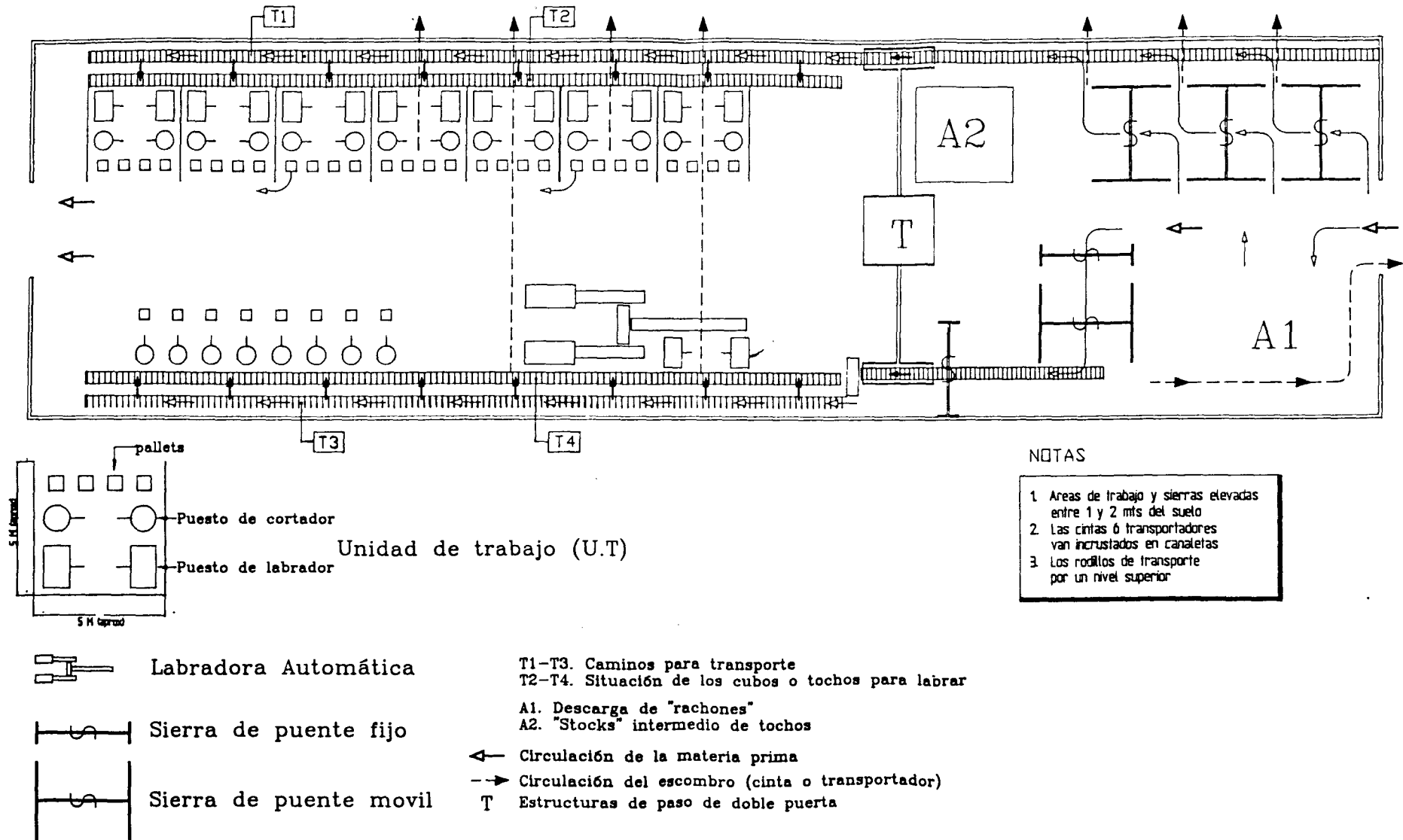


Figura N° 26: Distribución de maquinaria e instalaciones al incorporar labradora automática

- Sistemas de ventilación adecuados, soplante o aspirante, que elimine el polvo en la zona de trabajo. Esta operación se puede realizar mediante el empleo de electro-ventiladores y extractores fijos o móviles con filtros incorporados. La adecuada situación de la nave, respecto a los vientos dominantes, contribuye notablemente para favorecer la ventilación natural de la nave de elaboración.

En la Figura N° 27 se indican dos modos de ventilación, natural y forzada mediante electroventiladores

- Limpieza sistemática del suelo, maquinaria y útiles de trabajo.
- Realización de ciertos trabajos en vía húmeda.

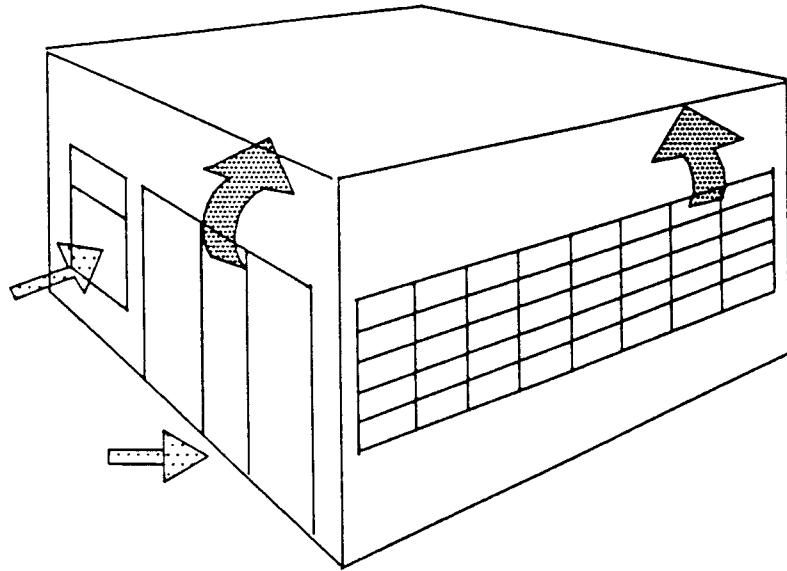
Ruido

En las naves de elaboración actuales el nivel de ruido de ambiente general es de unos 92 dB(A) con niveles de pico de hasta los 115 dB(A).

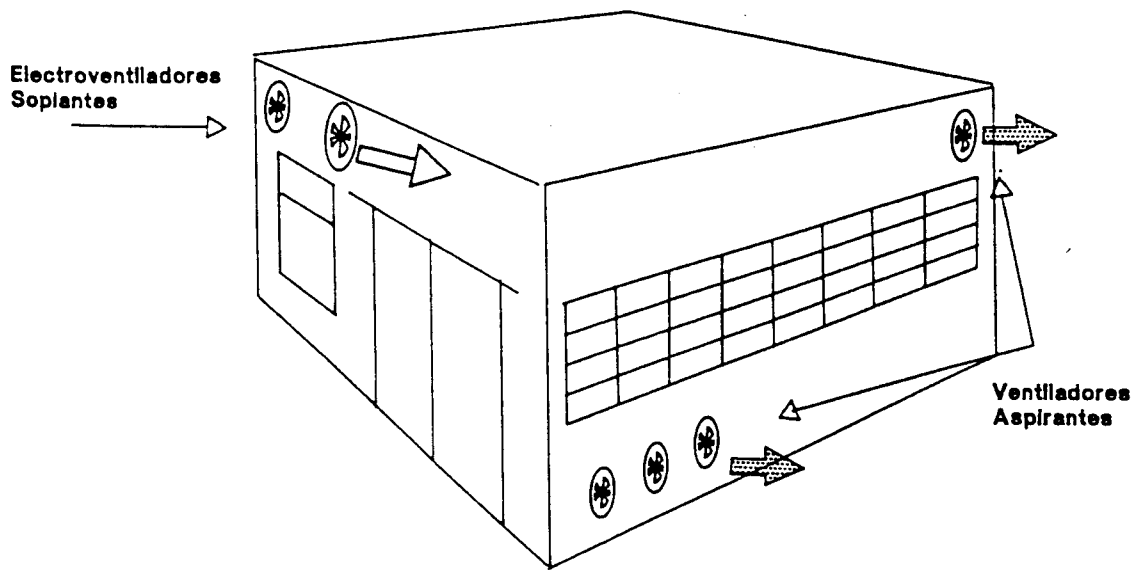
Las fuentes de ruido se producen a lo largo de todo el proceso de producción. En la zona de serrado, como consecuencia del corte de la roca, es donde mayor intensidad alcanza el nivel de ruidos y donde el personal está mas expuesto. Los otros operarios (labradores, cortadores y embaladores) soportan unos niveles de ruido algo mas bajos.

Para el cumplimiento de la normativa vigente se deben cumplir una serie de medidas técnicas y organizativas que hagan disminuir la generación y propagación del ruido, así como la disminución de los tiempos de exposición. Para ello es conveniente adoptar las siguientes medidas:

- Utilización de orejeras y tapones auditivos por el personal mas expuesto.
- Separación de las zonas de serrado y labrado, aislándolas mediante tabique doble y relleno de material aislante, para amortiguar la propagación del sonido.



VENTILACION NATURAL



VENTILACION SOPLANTE-ASPIRANTE

Figura N° 27: Métodos de ventilación de las naves

- Utilización de doble puerta y camino de rodillos con cortinas de goma, para aislar dichas zonas.

Dentro de las zonas de serrado y labrado pueden adoptarse otras medidas correctoras (estructuras amortiguadoras, pantallas y mamparas absorbentes o aislantes, utilización de tacos de goma en la fijación de la maquinaria, etc).

6.6.3.- Instalaciones auxiliares

Existen una serie de instalaciones que, aunque no intervienen directamente en el proceso de fabricación, son necesarias o facilitan el trabajo de las mismas.

Abastecimiento de aguas. La disposición de un caudal suficiente es fundamental para un correcto funcionamiento de la nave de elaboración y de otras instalaciones. El mayor consumo se produce en el serrado de los bloques.

El agua se extraerá de fuentes o cursos superficiales, o bien se capta de pozos, conduciéndola hasta depósitos para su almacenamiento.

Tratamiento de efluentes. Para la refrigeración de los discos de las sierras se emplea agua. Como consecuencia del serrado se incorporan al agua finos en suspensión, lo cual requiere su tratamiento antes de devolverla a los cauces naturales o su reciclado para incorporarla al circuito cerrado de abastecimiento.

Existen varios sistemas para el tratamiento de las aguas:

- Conjunto de balsas de decantación
- Aditivos decantadores de sólidos en suspensión, no contaminantes
- Decantadoras artificiales (tanque, lamelas, desecador de lodos, etc)

Grupo electrógeno. Necesario en zonas poco accesibles que no dispongan de tendido eléctrico. También se emplea para garantizar la continuidad del suministro eléctrico, en caso de corte o falla de la red general.

Aire comprimido. Necesario para el funcionamiento de los aparatos neumáticos (martillos, cuñas, cizallas, troqueles, etc).

Otras instalaciones complementarias son:

- **Talleres.** En los cuales se efectúan las operaciones de reparación y mantenimiento.
- **Almacén de repuestos.**
- **Depósito de carburantes.**
- **Oficinas.**

6.6.4.- Escombrera de residuos

Es la zona en la que se depositan todos los desechos producidos durante el proceso de elaboración de la pizarra.

Se intentará ubicarla lo mas próximo posible a la nave de elaboración para detraer costes de transporte, en una zona adecuada, previo los informes técnicos pertinentes (proyecto de escombreras, impacto ambiental y restauración), aplicando los mismos criterios que para las escombreras de las explotaciones.

El **método constructivo** (tongadas superpuestas, adosadas, etc) será el adecuado, con tal que cumpla, sobre todo, las condiciones de estabilidad de taludes, obtenidas del informe técnico previo.

Transporte. Puede realizarse por distintos medios en función del recorrido efectuar: camión volquete, palas cargadoras, cintas transportadoras, etc. Los finos procedentes de la decantación, pueden incorporarse a la escombrera siempre que no se depositen sobre el talud o pie de la escombrera.

Extensión y compactación. Los desechos amontonados se extienden mediante pala o bulldozer en capas de poco espesor. Posteriormente se pisarán mediante la citada maquinaria o un rodillo vibratorio. De esta manera se puede utilizar la

superficie creada como suelo industrial propio.

Restauración y abandono. Estas labores se realizan cuando cesa definitivamente la actividad del proceso productivo, o simultáneamente en aquellas zonas de la escombrera en la cual no van a depositarse mas desechos. Estas actuaciones sirven para recomponer o mitigar el impacto originado por este tipo de construcciones.

7.- RESTAURACIÓN

7.1. Medidas correctoras de los impactos temporales

Por impactos temporales entendemos aquellos que se presentan solamente mientras dure la actividad minera.

Los elementos más susceptibles de ser afectados se encuentran en la atmósfera y las aguas. Las fuentes que van a producir estos impactos y que seguidamente se analizan una a una son: ruido, polvo, barro y efluentes líquidos.

7.1.1. Ruido

En la explotación de pizarras tres son las fuentes de ruido a tener en cuenta: el producido por la maquinaria, el derivado de voladuras, y el producido en las naves de labrado.

El ruido de maquinaria se puede considerar como normal y no requiere en principio tomar medida alguna más allá de las relativas a la protección del propio personal de las canteras. Esta última afirmación se puede extender al ruido producido en las naves, donde el ruido percible desde el exterior de las mismas es prácticamente insignificante. En todo caso se podrían aplicar barreras o pantallas entre la fuente emisora y el receptor en caso de necesidad, además de realizar un lógico mantenimiento de la maquinaria eliminando ruidos procedentes de elementos desajustados o desgastados que trabajan con altos niveles de vibración.

En el caso de voladuras se puede reducir cubriendo el cordón detonante con el detritus de perforación sobrante. No obstante, la voladura es en la mayoría de los casos inevitable y su impacto muy puntual en el tiempo, siendo digna de consideración sólo en grandes voladuras de desmonte, especialmente cuando el estéril es cuarcita.

7.1.2. Polvo

Constituye la fuente principal de contaminación de la atmósfera en la explotación de pizarra. Recordamos que se entiende por polvo las partículas en suspensión con diámetros comprendidos entre 1 y 1000 μ m. Respecto a los problemas

ambientales que puede generar, además de poder llegar a producir enfermedades a las personas afectadas por el mismo con frecuencia, se encuentran los efectos sobre la vegetación y el enturbamiento de las aguas, aparte del impacto paisajístico que puede producir.

A continuación se tratan las principales medidas de lucha contra el polvo en la explotación de pizarras.

a) Perforación

En relación a la perforación dos son las medidas que se pueden tomar contra el polvo: la instalación de captadores de polvo (ver Figura N° 28) y/o la perforación en húmedo.

b) Voladura

El principal impacto que debe tenderse a aminorar es la proyección de polvo lanzado al aire al proyectarse y desplazarse la roca, ya que los gases producidos por la reacción de los explosivos es de escasa relevancia en atmósferas abiertas.

Se puede disminuir la producción de polvo mediante la retirada del detritus de perforación y, ocasionalmente, el riego de las zonas que se verán afectadas por la voladura.

c) Arranque y carga

El polvo producido en el arranque y carga puede ser disminuido mediante regado. En la comarca de La Cabrera esta operación de regado no suele ser necesaria en buena parte del año debido al clima favorable.

d) Transporte

Constituye claramente la principal fuente de polvo relacionada con la producción de pizarras junto con la voladura, si bien esta última sólo afecta en momentos muy puntuales. El problema adquiere especial relevancia en las pistas de uso común debido al tráfico que soportan.

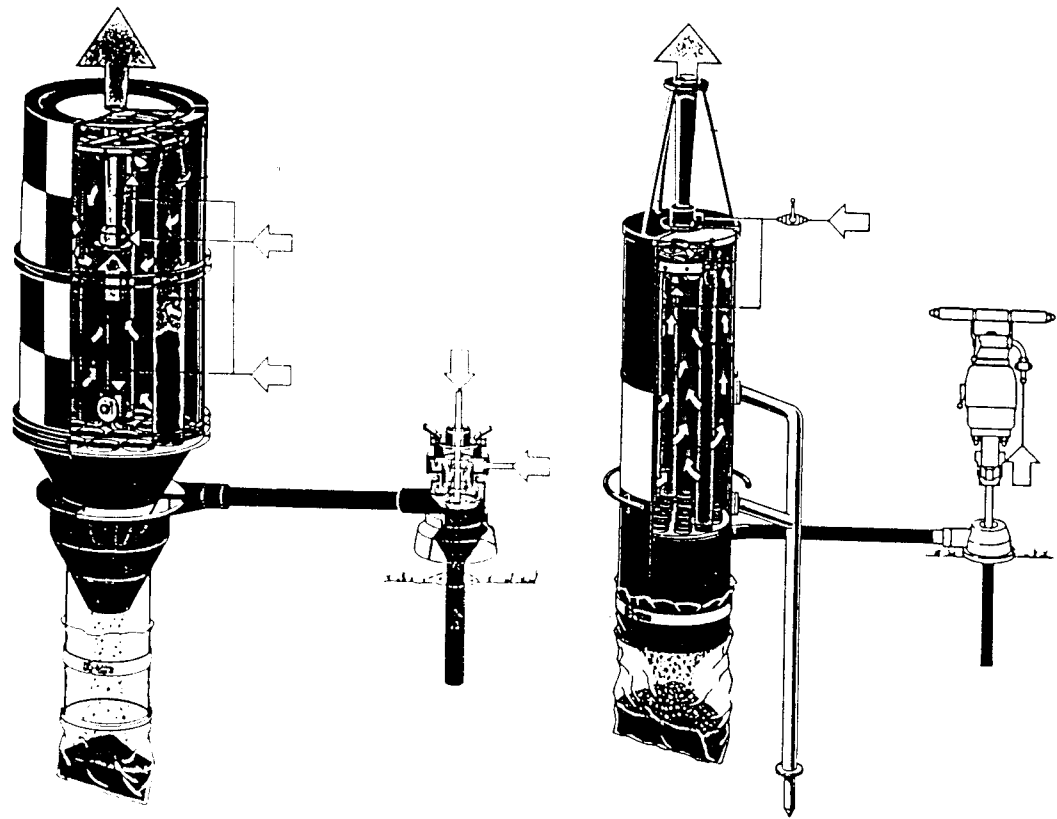


Figura N° 28.- Capatadores de polvo en equipos de perforación

Por un lado el peso de los vehículos de transporte produce la trituración de los materiales de las pistas y por otro los propios vehículos transportan barro que va cayendo durante el recorrido que, tras su secado, va a generar polvo al paso de volquetes, camiones o vehículos ligeros o cuando el viento tenga la suficiente fuerza. Hay que decir además que en tres muestras tomadas sobre el material que queda en la superficie de las pistas, los porcentajes de las fracciones comprendidas entre 1 y 1000 micras fueron siempre próximos o superiores al 60% (S-5, 66'4%; S-13, 65%, y S-16, 58%).

La forma más habitual de controlar la generación de polvo consiste en el regado periódico de pistas, generalmente con cisternas, especialmente en los periodos secos. En el caso de las pistas de uso común es recomendable la instalación de un firme asfáltico o de hormigón en cuyos accesos se deben instalar dispositivos que eviten que los vehículos lleguen llenos de barro, pues de lo contrario la caída del mismo a lo largo del recorrido obligaría a tomar medidas del tipo de las descritas anteriormente para pistas de tierra.

e) Tratamiento

El tratamiento se realiza esencialmente en las naves de serrado. La principal fuente de polvo en la elaboración de pizarras para techar la constituye el serrado. Las medidas a tomar en estas labores se centran en la utilización de agua en las máquinas de serrado.

En otras operaciones que se realizan en seco, tal como el corte de placas o el punzonamiento, deben utilizarse captadores de polvo a la salida de los aspiradores instalados.

7.1.3. Barro

El principal problema observado, tanto en la explotación de la pizarra en general como en la comarca de La Cabrera, relacionado con el barro lo constituye el ensuciamiento de las carreteras, llegando en ocasiones, como en el caso de la cantera y nave de Santa Lucia, a cubrirse totalmente el firme de la carretera en más de 100m.

Las medidas a tomar consisten esencialmente en la instalación de un tramo de

limpieza antes de acceder a la red vial. Estos tramos de limpieza consisten generalmente en una serie de perfiles metálicos colocados sobre un foso. Mediante el riego con manguera o con aspersores laterales se limpian los fondos y neumáticos de los vehículos. A la salida de estos fosos debe instalarse una balsa de decantación que se debe limpiar periódicamente.

7.1.4. Efluentes líquidos

Teniendo en cuenta que los sólidos en suspensión son la única fuente de contaminación de aguas producida por la explotación de pizarras en La Cabrera, las medidas contra efluentes líquidos han de ir dirigidas en el sentido de que los sólidos no lleguen a contaminar los cauces de ríos y arroyos.

Las medidas a tomar se pueden agrupar en dos grandes bloques. En primer lugar ha de evitarse en lo posible que el agua procedente de escorrentía penetre en canteras y escombreras. Para ello se han de crear canales de cintura en las canteras; igualmente deben protegerse las escombreras con canales perimetrales.

Un segundo bloque de medidas contra la contaminación física por sólidos en suspensión consiste en evitar que las aguas vertidas contaminen. Tanto para el hueco de explotación como para las escombreras deben instalarse balsas de decantación suficientemente dimensionadas para que se produzca la decantación. Estas balsas deben limpiarse periódicamente evitando su colmatación. En el caso de naves de labrado se deben tomar las mismas medidas que se acaban de citar, procurándose además trabajar en circuito cerrado para el agua, tanto por motivos técnico-económicos como ambientales. Según la producción de cada nave puede ser conveniente o incluso necesario la instalación de algún sistema que catalice la precipitación de los sólidos generalmente con floculantes y evite los largos tiempos de residencia en las balsas. Aunque en la actualidad no hay problemas de contaminación química de las aguas, se debe prestar atención a la contaminación que puede producir la utilización de determinados floculantes utilizados en grandes cantidades.

El principal problema relacionado con las aguas superficiales es, sin embargo, la intercepción de cauces. Cuando esta circunstancia sea inevitable dada la situación de las pizarras explotables, deben diseñarse un nuevo cauce para el río o arroyo que parta de un punto aguas arriba de la explotación y devuelva las aguas a su cauce

natural en el punto más cercano posible al lugar en que el medio deja de estar afectado por la explotación. Estos nuevos cauces deben estar suficientemente dimensionados e impermeabilizados, además de tener en cuenta otros parámetros tales como la pendiente, tipo de sección, trazado más adecuado, etc. Cuando se diseñan estos nuevos cauces es de vital importancia tener en cuenta si en la restauración se contemplan como definitivos o bien se pretende que el río o arroyo pase por el antiguo hueco tras la restauración, caso en el cual, además de diseñar el cauce definitivo, debe restaurarse el antiguo, generalmente con una restitución topográfica y revegetación, evitando la apertura de nuevas pistas para estas últimas labores.

Relativo a la contaminación química ha de prestarse cuidado a los cambios de aceite y otras labores de mantenimiento de la maquinaria, evitando vertidos indiscriminados y en lugares no adecuados para ello.

7.2. Criterios generales para la integración paisajística

Seguidamente se tratan los principales criterios de integración paisajística aplicables a la explotación en pizarras de La Cabrera agrupados según la fuente del impacto producido.

7.2.1. Edificios y naves

Las naves así como otras edificaciones, se encuentran emplazadas con mucha frecuencia en lugares de gran visibilidad, como por ejemplo la nave de San Roque (ver ANEXO I, ficha correspondiente a 101060905). Si bien en ocasiones esta circunstancia responde a motivos defendibles, debe tenderse a intentar buscar lugares menos visibles, especialmente desde carreteras y núcleos de población, o desde lugares de interés natural como son los dos Monumentos Naturales existentes en La Cabrera. No obstante, deben dominar, en cuanto a la elección del emplazamiento, los criterios establecidos para las escombreras de nave, dado el impacto genéricamente mucho más relevante de estas últimas.

Lo que en cualquier caso, y para todo emplazamiento, puede realizarse es la creación de pantallas visuales, generalmente de árboles, o un tratamiento de fachada que evite el alto contraste cromático con el entorno que se da en numerosas ocasiones. Un claro ejemplo de minimización del impacto visual lo constituye la nave de la

cantera de El Real , como puede verse en la ficha correspondiente (**ANEXO I**, clave 101060159), si bien en muchos casos bastaría con una correcta elección del color del exterior de las naves evitando así un alto contraste cromático.

Edificios y naves, al igual que otro tipo de instalaciones, se deben dismantelar y retirar una vez finalizado el uso para el que fueron realizados. Una excepción sería el caso de reutilizarse posteriormente para otros usos, circunstancia que si bien es posible en naves u otros cercanos a núcleos de población o vías de comunicación, difícilmente se da en naves a pié de cantera. Desde este punto de vista se puede considerar que producen un impacto temporal en la mayoría de los casos.

7.2.2. Nuevos viales

El problema de la alta visibilidad de muchos nuevos viales se debe, aparte de a su emplazamiento, a una incompleta o nula atención al citado problema. Los taludes artificiales deben revegetarse, tanto por temas de visibilidad como para evitar la erosión. En determinadas ocasiones procede la implantación de pantallas visuales con especies de porte arbustivo o arbóreo.

El trazado de estos nuevos viales debe evitar el paso por núcleos de población, así como elegir convenientemente su punto de unión a las carreteras de uso general.

Siempre que haya una concentración de canteras debe tenderse a la realización de viales de uso común, siendo conveniente la instalación de un firme asfáltico o de hormigón. Es el caso de la nueva pista que lleva a las canteras de la zona de La Baña, aunque allí no se ha instalado firme alguno.

Otro problema observado en las pistas de algunas canteras de La Cabrera es la realización de vertidos de escombros en los bordes de las pistas. Si bien puede utilizarse el estéril de pizarra en la realización de pistas o en obras de mantenimiento, los vertidos deben realizarse en las escombreras en todos los casos.

En cuanto a la restauración a realizar cuando los nuevos viales pierdan la utilidad para la que fueron creados, pueden darse varios casos. En ocasiones será más conveniente la restauración en sentido estricto de la zona afectada. En otros casos será más propicio adecuarlos a un nuevo uso que puedan tener.

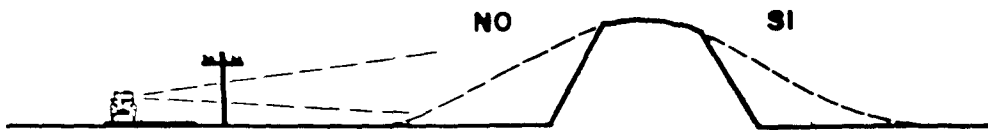
En las labores de investigación suele producirse la apertura de nuevas pistas que en muchos casos no se utilizan tras la investigación. La primera medida a tomar es una correcta planificación que evite la apertura de pistas innecesarias. Para las pistas que no sean de utilidad posterior se debe proceder a una restitución topográfica cuando sea posible y en todo caso a una revegetación que minimice el gran impacto visual que muchas veces producen.

7.2.3. Creación de huecos

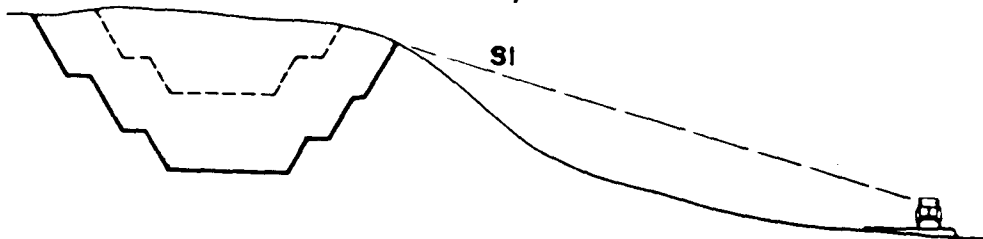
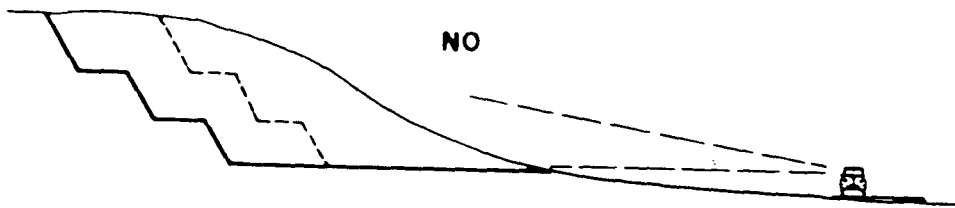
Dado que en la mayoría de los casos no procede un relleno del hueco, las medidas de restauración deben centrarse en las pantallas visuales cuando éstas puedan reducir la visibilidad, especialmente desde carreteras, núcleos de población y lugares de interés natural o cultural. Estas pantallas, que pueden situarse cerca de la fuente de impacto o de los lugares de observación, consistirán generalmente en plantaciones y se explican con más detalle en los apartados siguientes. Otra labor de restauración en este sentido consiste en la revegetación de las bermas para romper las formas del hueco (véase también el apartado de revegetación).

Es sin embargo la medida más efectiva para la integración paisajística el aprovechamiento de la topografía y vegetación del entorno. En cuanto a la topografía lo ideal sería proceder a la apertura de la cantera en zonas altas y con una geometría aproximadamente troncocónica, aprovechando el propio terreno como pantalla visual. En el caso de que las características del yacimiento lo permitan, también debe tenderse a abrir los frentes en las partes no visibles desde pueblos, carreteras o los Monumentos Naturales existentes en La Cabrera (ver Figura N° 29).

En cuanto al avance de los frentes, en el caso de las pizarras difícilmente se puede condicionar la dirección de avance de los frentes, dado que viene condicionado esencialmente por la geología. Sin embargo si se puede en muchos casos elegir el punto de apertura de las explotaciones posibilitando la restauración a medida que avanza la explotación. Tal es el caso de la cantera representada en la Figura N° 30, donde se aprecia que en el caso a) no se puede proceder ni al saneo definitivo de taludes ni a labor alguna de revegetación hasta el final de la explotación, mientras en el caso b) se pueden restaurar los taludes abandonados a medida que baja de cota la zona de frente activo minimizándose el impacto visual desde etapas muy tempranas de la explotación (ver Figura N° 31).



Localización de una cantera con respecto a un corredor visual.



Diseño del hueco de explotación para ocultar los taludes finales.

Figura N° 29.- Ubicación y ocultación natural de los huecos de explotación

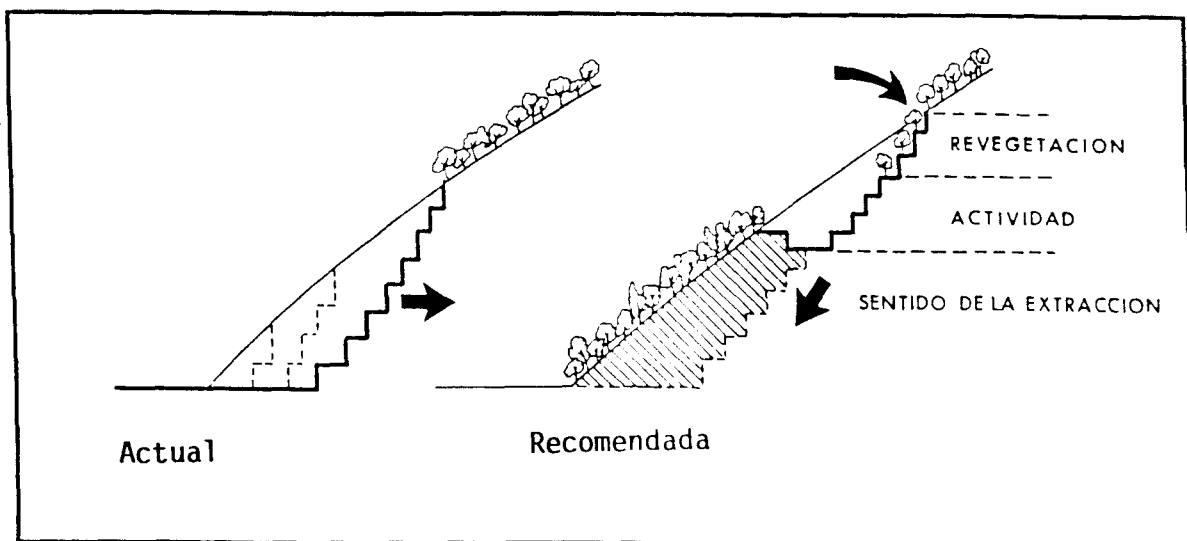


Figura N° 30.- Apertura y dirección de avance recomendado para realizar labores de restauración en el hueco simultáneamente con la explotación

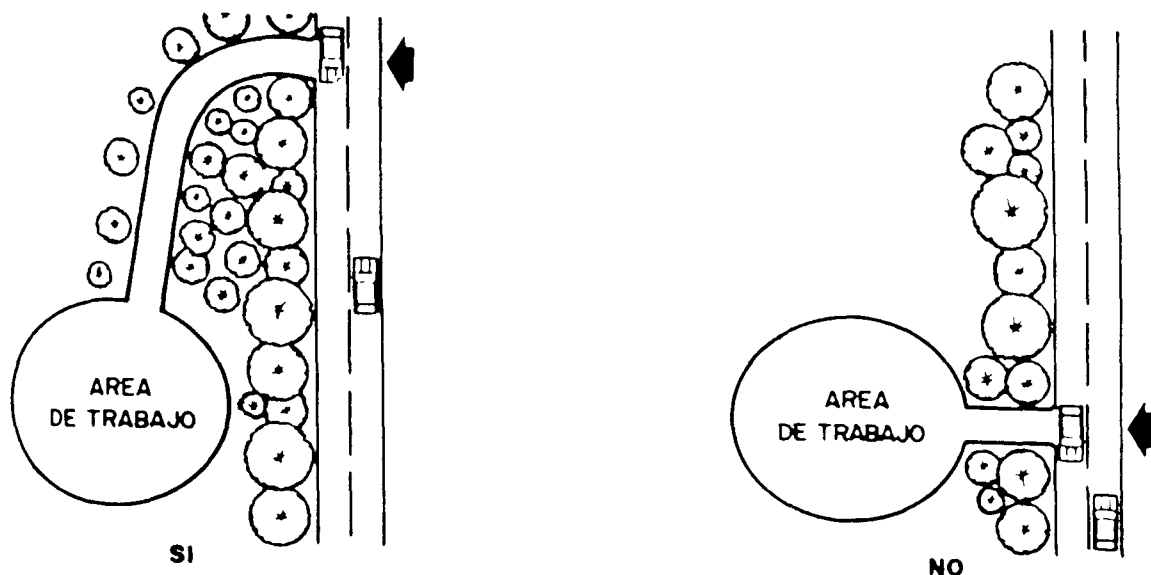


Figura N° 31.- Trazado de accesos a la explotación para minimizar el impacto visual

Otros criterios que facilitan la integración paisajística son los relativos a los accesos a las explotaciones. Los mismos deben diseñarse de manera que minimicen la visibilidad de la explotación desde los puntos de percepción. Generalmente se trata de conseguir que la propia topografía o la vegetación existente oculte la explotación.

7.2.4. Escombreras

El principal problema medioambiental que plantea la explotación de pizarras radica en las escombreras, tanto de cantera como de nave de labrado. A este respecto recuérdese que el estéril generado en cantera es del 50-60 % sobre la capa explotable de pizarra, a lo cual habría que sumar todo el estéril procedente del desmonte previo a alcanzar la capa explotable, y ya en nave se genera un 75-85 % de estéril sobre el ración que llega a la misma.

Es primordial elegir adecuadamente el emplazamiento así como el método constructivo empleado.

Partiendo del método de construcción de escombreras recomendado en el capítulo 6, ésto es por fases ascendentes superpuestas y retranqueadas, la restauración puede y debe comenzarse antes de la terminación de la escombrera (ver Figura N° 32). Generalmente se restaura una o dos fases superpuestas a la vez, posibilitando una integración paisajística sin necesidad de esperar al abandono de la escombrera.

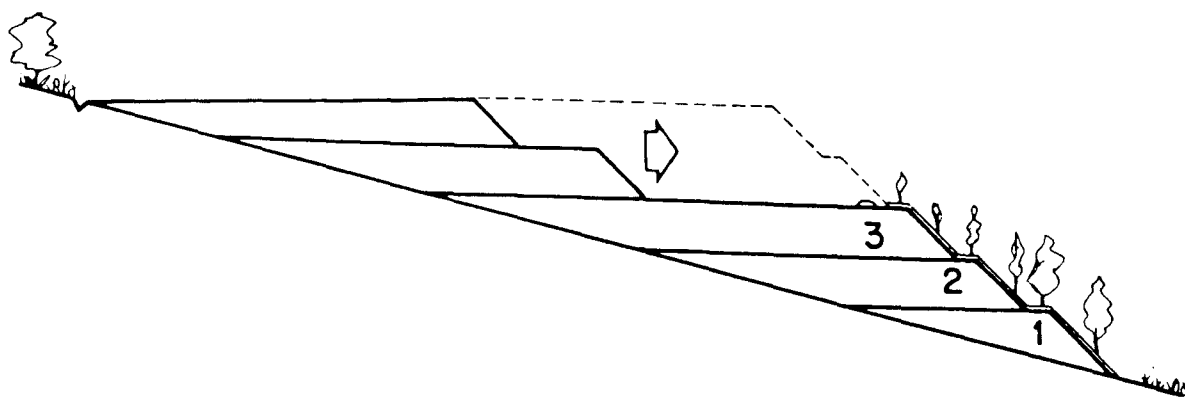


Figura N° 32.- Recuperación progresiva de escombreras

Desde el punto de vista de integración paisajística, la localización y geometría de escombreras es de vital importancia. La situación geográfica de la escombrera debe en todo momento evitar crear formas que destaquen del paisaje circundante. En este sentido deben evitarse, por ejemplo, escombreras que rompan las líneas de cumbres o que destaquen por sus formas singulares como sucede en varios casos en la zona de San Pedro de Trones. Lo dicho en el apartado anterior respecto a pantallas visuales es igualmente aplicable para las escombreras.

Las escombreras situadas en fondos de valle o que sigan el contorno natural de una ladera conseguirán una mejor integración paisajística, especialmente una vez revegetadas (ver Figura N° 33).

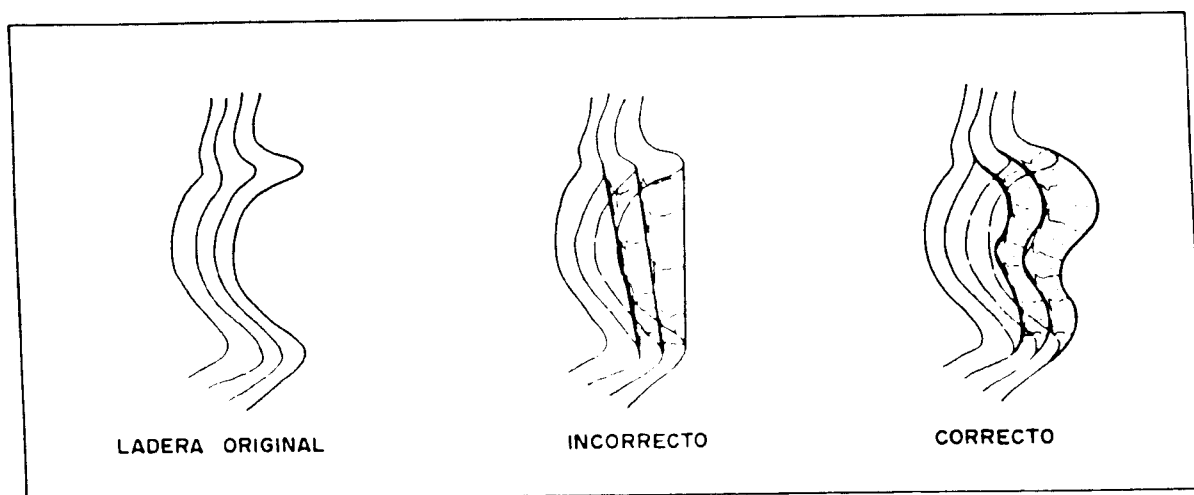


Figura N° 33.- Adaptación de las proyecciones en planta de los vertederos a la fisiografía

Otros criterios generales aplicables a toda escombrera pueden ser que los bordes de las mismas sean redondeados, que las bermas no atraviesen por completo las grandes escombreras o evitar la equidistancia y paralelismo entre bermas. En principio, debe tenderse a que las pendientes sean cercanas a las naturales del terreno, si bien esto disminuye el volumen de escombro almacenable con el consiguiente aumento de la superficie afectada produciéndose en muchos casos un mayor impacto visual y paisajístico; habrá de llegarse a una solución de compromiso para cada caso, si bien, especialmente en La Cabrera Baja, dada la topografía del entorno, será generalmente el criterio de menor superficie afectada el dominante.

En el caso de las escombreras de nave, todos estos criterios deben ser aplicados con anterioridad a la decisión definitiva respecto al emplazamiento de las naves cuando la escombrera se sitúe junto a las mismas, caso que es el más frecuente.

7.3 Restauración de los terrenos afectados

7.3.1. Orientaciones para el uso futuro de los terrenos afectados por la explotación minera

Independientemente de los aspectos edáficos y microclimáticos concretos de los que se hablará más adelante y que pueden condicionar puntualmente el uso del terreno, en términos generales será el factor topografía el de mayor peso. No obstante, hay una serie de características del substrato que podremos considerar presentes siempre en los materiales de partida:

- Baja o nula fertilidad.
- Ausencia de estructura.
- Muy elevada pedregosidad en escombreras. Por contra, textura desequilibrada con predominio de la fracción limo y arena fina en una capa de varios centímetros sobre la roca intacta en plazas de cantera y pistas.

Partiendo de que todos estos factores son mejorables, la topografía actúa como elemento más limitante.

En vista de la importancia que adquiere el factor topografía o forma del terreno efectuaremos un análisis individualizado de los diferentes usos basándonos en los criterios de Coppin and Bradshaw (1982) los cuales, con alguna modificación, son reflejados en el Cuadro LXVII.

Usos posibles	Huecos				Escombrera	
	Profundo		Superficial		Áreas en pendiente	Áreas niveladas
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco		
-Agrícola y ganadero		X		X		XX
-Forestal		X		XX	X	XX
-Piscícola	X		XX			
-Recreo intensivo, deportes	X	X	XX	XX		X
-Almacenamiento de agua	X		X			
-Recreo extensivo	X	XX	XX	XX	X	X
-Conservación de la naturaleza		X	X	X	X	X
-Vertedero de residuos		X		X		

Nota: La clave utilizada en el Cuadro es una cruz (X) cuando se considera que el uso es sencillamente posible y dos cruces (XX) cuando para el uso considerado existen, en principio, grandes posibilidades.

Cuadro LXVII.- Uso futuro de los terrenos afectados por las explotaciones mineras

Conviene hacer una serie de comentarios sobre la tabla. En cuanto a los huecos, las canteras de pizarra generan huecos profundos pues, independientemente del desnivel absoluto generado entre plaza de cantera y coronación del frente, lo que interesa es la relación entre éste y la superficie afectada. Por otro lado, han de considerarse secos, reservándose el apelativo húmedo a explotaciones que afectan al nivel freático. A pesar de que en ocasiones se producen áreas encharcadas en las plazas, esto es debido a la ausencia de drenajes perimetrales y a la mala nivelación, y por tanto se pueden considerar evitables y/o temporales.

Teniendo en cuenta estas puntualizaciones se puede ya, a partir de las características normalmente presentes, hacer una primera estimación de los diferentes usos que pueden ser recomendables para los terrenos.

Uso agrícola

Existen diversos valores máximos del valor de la pendiente que son considerados límites para el uso agrícola según los diferentes autores.

Cuando se repone la tierra vegetal y la pedregosidad es baja o nula superficialmente puede llegar a admitirse este uso sobre superficies con 7° de pendiente. Sin embargo, dadas las características de los suelos de La Cabrera, con alta pedregosidad y poco espesor, es de suponer que, incluso donde se aporte tierra vegetal, la pedregosidad superficial será también alta. Por tanto, seremos más exigentes y estableceremos el límite de pendiente según el valor más comunmente admitido de 5°. De todos modos, sería necesario considerar otros condicionantes como pueden ser la altitud y el clima en relación a ésta, junto con las superficies ocupadas por las zonas que puedan considerarse llanas o casi llanas. Incluso donde éstas superficies sean importantes (caso excepcional), el uso agrícola será marginal o estará muy próximo a serlo.

Por lo tanto, en términos generales, consideramos que la recuperación de terrenos para la agricultura ha de descartarse.

Pastizales y prados

La creación de pastizales y prados estará limitada a las zonas llanas o casi llanas de suficiente superficie, puesto que las pendientes parciales o totales de taludes de escombrera serán siempre excesivas (si tomamos un límite máximo de 15°).

En los casos en que un estudio más detallado determine la conveniencia de crear un medio apropiado para el pastoreo o la siega, en plazas de cantera o zonas niveladas de escombrera, se deberá primar el empleo de la tierra vegetal disponible en dichas superficies y prever una serie de mejoras edáficas adecuadas (encalado, fertilización, etc...)

Uso forestal

Normalmente suele admitirse un máximo de pendiente para establecer un aprovechamiento forestal de 35°.

Las escombreras de cantera y de nave actualmente tienen unas medidas de pendiente de 37° y 40° respectivamente. Según las características de diseño que se han recomendado anteriormente, el ángulo medio de pendiente será como máximo de 36°, pero con taludes de banco de 40°. Por tanto, y sobre todo si, como ya hemos comentado antes, hemos de ser restrictivos por la alta pedregosidad, el uso forestal no es recomendable en escombreras.

Solamente podrá plantearse en zonas de coronación más llanas o plazas de cantera cuando se disponga de una superficie mínima de 0,25 ha. En todo caso, dada la falta de costumbre en la práctica forestal en la zona no podemos, en términos generales, aconsejar este tipo de aprovechamiento.

Conservación de la naturaleza. Recuperación de vegetación autóctona.

Por todo lo que venimos comentando este será el objetivo más recomendable en todos los tipos de superficies a restaurar.

No obstante, hasta que se alcance una recuperación de la vegetación sobre los terrenos, será necesario utilizar prácticas agrícolas o forestales y promover, como primer paso una vegetación de pradera, aunque sobre ésta no se plantee aprovechamiento de ninguna clase.

La introducción de fauna va íntimamente ligada a la regeneración de la cubierta vegetal y es sin duda un magnífico indicador de la recuperación ecológica de los terrenos.

Puede favorecerse dicha introducción, si bien, consideramos que la generación de cierta variedad en el tipo de especies vegetales a promover, siguiendo como modelo la vegetación propia del lugar y del entorno, puede ser suficiente para alcanzar el objetivo perseguido.

Zonas de recreo

Los usos recreativos pueden diferenciarse en dos tipos que básicamente guardan relación con la superficie afectada y la proximidad a núcleos urbanos.

En explotaciones próximas a núcleos urbanos que no han de ser necesariamente de gran tamaño si tenemos en cuenta el tipo de poblaciones de La Cabrera, puede plantearse un uso recreativo **intensivo o deportivo** que vendría a paliar el enorme déficit existente en cuanto a instalaciones deportivas se refiere.

Evidentemente, el planteamiento de este tipo de usos ha de basarse en serios estudios de viabilidad, oportunidad, ubicación y población potencialmente beneficiada para no convertirse en objeto de agravio comparativo entre poblaciones.

Debería por tanto integrarse en planes mas amplios de promoción o desarrollo de equipamientos de esta clase.

Ni que decir tiene que una condición insalvable y que cerrará puertas a este planteamiento será el factor seguridad. Ha de exigirse un rigor extremo desde este punto de vista.

Para explotaciones de mayor tamaño, si bien es difícil establecer el mínimo adecuado, y no necesariamente próximas a núcleos urbanos, se puede plantear un uso recreativo **extensivo o educacional**. En este tipo de planteamiento cabe también cierta variedad de posibilidades que van desde la adecuación de zonas de descanso o de observación, zonas de acampada o albergue, u otras.

En términos generales han de estar enclavadas en proximidades de áreas de valor paisajístico o ecológico y, por tanto, sólo incluimos algunas explotaciones actuales pues las futuras deberán respetar este tipo de entornos. Sin embargo es posible que por su ubicación alguna futura explotación pueda ser utilizada según estos criterios cuando se considere apropiado (zonas de paso, proximidad a núcleos, etc...)

También en estos casos es recomendable la elaboración del Plan de Restauración dentro de un marco más amplio como puede ser un plan de desarrollo turístico en la zona con promoción de infraestructuras viarias y basándose en estudios detallados de adecuación así como en tratamientos estéticos más ambiciosos.

Vertederos de residuos

Cabe la posibilidad de que el hueco de determinada explotación ya inactiva

pueda ser utilizado para depositar escombros procedentes de otra explotación. Dicho depósito ha de hacerse de modo controlado siguiendo criterios constructivos como los ya comentados anteriormente.

Otro caso que puede plantearse es el empleo de los huecos como lugar de depósito de residuos sólidos urbanos. En principio las características de los materiales pizarrosos son apropiadas para este tipo de aprovechamiento temporal, pero será necesario estudiar en detalle la hidrología superficial y la posible existencia de surgencias o manantiales que puedan interferir, y todas las medidas encaminadas a controlar la entrada y salida de agua.

Otra serie de estudios previos necesarios son:

- Conveniencia o no, en función de la proximidad a núcleos urbanos y la accesibilidad.
- Evaluación de la capacidad, tipo de residuos, cantidades producidas, vida del vertedero, etc...

Será también necesario contemplar la necesidad de almacenar una cantidad remanente de escombros como material para recubrimientos intermedios y sellado final.

Con escombros de granulometría gruesa se puede proteger la entrada de animales a la vez que se permite la salida de gases.

Para el sellado definitivo interesará también conservar tierra vegetal.

Durante la explotación de los vertederos pueden realizarse mejoras infraestructurales y labores encaminadas a la ocultación visual y el tratamiento paisajístico.

7.3.2. Remodelación de los terrenos.

7.3.2.1. Huecos de explotación.

La creación de huecos constituye el segundo mayor problema ambiental

relacionado con la explotación de pizarras, por lo que ha de prestarse gran atención a la restauración de los mismos.

A nuestro juicio, el perfilado de los taludes finales del hueco no es la técnica de restauración más adecuada para el caso de las explotaciones de pizarra en La Cabrera. El mismo, además de complicado y muy costoso, implica la afección a una superficie mucho más elevada que la que constituye el propio hueco tras la explotación.

Las primeras labores de restauración deben consistir en un saneado de los frentes, así como la corrección de las inestabilidades que puedan darse. Las bermas deben conservarse para posibilitar la revegetación. La plaza de la cantera debe dejarse con una configuración que permita el uso futuro de ese suelo; en general se tratará de superficies horizontales, con pendientes y sistemas de drenaje que eviten el encharcamiento, y ocasionalmente pequeños taludes que habrán de tener la pendiente y otras características necesarias para su revegetación. Deben conservarse, además, los accesos necesarios para la restauración, al menos hasta que ésta haya sido realizada.

En el caso de cercanía de un frente de explotación a un hueco ya abandonado y en el que no se prevé volver a explotar, es recomendable el vertido del estéril rellenando dicho hueco abandonado. De esta forma, además de solucionar el problema de restauración de este último de una forma más satisfactoria, se logra solucionar el problema de emplazamiento de escombreras. En este caso se procederá a la restauración conforme a los criterios para escombreras.

7.3.2.2. Escombreras

La remodelación de terrenos en las escombreras será bastante sencilla si se ha aplicado el método constructivo descrito en el apartado 6.3. y se han seguido los criterios para la integración paisajística indicados en el apartado 7.2.

A medida que se construye la escombrera, al llegar al final del vertido en cada fase superpuesta, se suaviza la pendiente dejando la definitiva sobre la que realizaremos el vertido de tierras y la revegetación. También se cortarán las aristas tras el perfilado definitivo del talud con vistas esencialmente a romper la geometría

artificial de las escombreras. Las grandes bermas se mantendrán así como sus accesos para posibilitar labores posteriores de restauración.

7.3.3. El substrato y el microclima en las áreas alteradas

Tanto el substrato como el microclima van a depender del manejo que se haga con los diferentes materiales de los que se disponga y del tipo de superficie a recuperar (frente, plaza de cantera, escombrera o pista).

A su vez la posición con respecto a la topografía circundante y la exposición condicionarán también el microclima.

7.3.3.1. Características del medio en las explotaciones actuales

Lo habitual hasta ahora es el vertido libre de escombros, normalmente a pie de cantera o nave, así como la no retirada, acopio y reinstalación de la tierra vegetal. Las características del medio con estos supuestos son las que se describen a continuación.

Frentes

Los frentes suelen presentar superficies fuertemente inclinadas, a veces de gran altura y con un sólo banco. Normalmente presentan más irregularidades, grietas y puntos de acumulación de derrubios con los métodos tradicionales de arranque. Estas características que podrían ser relativamente favorables para el establecimiento de la vegetación pasan a un plano secundario ante la gran inclinación y altura de los frentes.

Otro aspecto a tener en cuenta es la orientación de los mismos, en relación a la insolación recibida.

Este tema merecería ser estudiado con detalle en cada caso concreto, pero en términos generales se puede pronosticar que las exposiciones SE, S y SO serán en cierto modo favorables al ser más frescas en verano y más cálidas en invierno, mientras que todas las demás exposiciones serán más frías, especialmente la orientación N.

No obstante, las variaciones diarias de temperatura serán muy grandes y las

derivadas de pequeñas irregularidades superficiales pueden tener enorme peso en la viabilidad de la implantación de la vegetación.

Estos frentes sólo admitirán tratamientos especiales encaminados a establecer vegetación mediante técnicas costosas con empleo de hidrosiembra. El éxito de tales tratamientos, en nuestra opinión, no está garantizado debido a las dificultades que presentan. Por ello, será siempre recomendable realizar pantallas de ocultación que minimicen el posible impacto visual.

Excepcionalmente, cuando una adecuada planificación y coordinación lo permitan, se podrán efectuar rellenos parciales o puntuales en explotaciones agotadas o sin viabilidad futura aprovechando estériles de explotaciones activas próximas.

Escombreras de cantera

Las escombreras de cantera se caracterizan en términos generales por su granulometría extendida con granoselección derivada del vertido libre en pendiente lo que provoca un mayor predominio de piedras y bloques grandes en las zonas bajas. Las pendientes son fuertes (37° de media), sin embargo este aspecto no se convierte en un factor tan limitante como en los frentes desde el punto de vista microclimático. La razón es la variabilidad natural de la zona tanto en lo que se refiere a situaciones reales de exposición como de especies vegetales capaces de adaptarse a las mismas.

Lo corriente es que predominen las pizarras sobre materiales de diferente litología. En algún caso los materiales de recubrimiento son vertidos con posterioridad a los estériles de cantera y esto puede ser beneficioso para la instalación de la vegetación.

Para conocer aunque sea de un modo muy somero las características de los materiales de escombrera, se realizaron algunos muestreos cuyos resultados comentamos a continuación.

En una primera campaña se pretendió conocer si se producía alguna diferenciación significativa entre diferentes muestras superficiales y otras tomadas en un perfil de 1 m de espesor. Se escogió una escombrera de cantera abandonada hace tiempo (111150227, Truchillas) con objeto de dar más oportunidades a la

diferenciación en profundidad.

Los resultados se exponen en las Cuadros LXVIII y LXIX, siendo S-1, S-2, S-3 y S-4.1 muestras superficiales y el resto profundas.

La apariencia externa a diferentes profundidades en el perfil S-4 era la misma; de modo semejante ocurría en superficie, siendo toda ella una zona llana aunque muy próxima a un cambio brusco de pendiente en el punto S-4. En todas ellas se apreciaba falta de estructura salvo por la existencia de pequeños aterronamientos friables y muy débiles.

Prof.	Muestra	pH _{H₂O}	Ar	L	Ac	Textura	E.G.%
≈ 0-10 cm	S-1	6,41	58,79	36,26	4,95	Fr-Ar	56,35
≈ 0-10 cm	S-2	5,94	61,98	34,20	3,82	Fr-Ar	56,54
≈ 0-10 cm	S-3	6,02	55,62	43,93	0,45	Fr-Ar	55,34
0-10 cm	S-4.1	6,41	75,73	20,84	3,43	Ar-Fr	65,68
10-20 cm	S-4.2	6,48	68,27	29,03	2,70	Fr-Ar	58,84
20-30 cm	S-4.3	6,46	64,89	32,42	2,69	Fr-Ar	59,78
30-40 cm	S-4.4	6,28	65,37	31,98	2,65	Fr-Ar	69,42
40-50 cm	S-4.5	6,13	66,91	30,41	2,68	Fr-Ar	63,52

Cuadro LXVIII.- Característica de los materiales de escombrera

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	PPC
S-1	53,43	23,00	10,040	0,169	0,988	0,056	3,176	2,268	1,335	0,137	5,40
S-2	53,23	22,88	10,264	0,136	0,987	0,055	3,262	2,283	1,281	0,140	5,48
S-3	53,46	22,88	10,042	0,165	1,004	0,057	3,290	2,297	1,254	1,136	5,42
S-4.1	55,55	21,84	9,63	0,123	0,947	0,053	3,174	2,135	1,166	1,132	5,25
S-4.2	53,82	22,81	9,24	0,123	0,993	0,056	3,368	2,186	1,228	0,136	5,34
S-4.3	53,73	22,79	9,99	0,129	0,999	0,050	3,436	2,235	1,146	0,136	5,36
S-4.4	53,46	23,01	10,052	0,114	1,015	0,053	3,482	2,236	1,092	0,136	5,35
S-4.5	53,63	22,82	10,016	0,143	1,018	0,046	3,540	2,291	1,092	0,136	5,27

Cuadro LXIX.- Porcentaje de óxidos que aparecen en los materiales de escombrera

De la observación de los resultados no se puede inferir la existencia de variación significativa de las características analizadas con la profundidad, salvo tal vez un ligero descenso del pH.

En términos generales tendremos un pH variable dentro del rango 5,9-6,5 que es francamente favorable. La textura es Franco-Arenosa salvo en la muestra S-4.1 donde es Arenoso-Franca debido seguramente al arrastre originado por la posición que ocupa.

Los elementos gruesos ($\varnothing > 2 \text{ mm}$) son, como era de esperar variables, aunque siempre predominantes ($> 55\%$ en todos los casos).

En cuanto a la composición de óxidos la más importante variación detectada en el aumento del contenido en SiO_2 de S-4.1 con respecto al resto. Tal aumento se ve compensado prácticamente con el descenso en los contenidos de los sesquióxidos y los óxidos de K y Mg. Esto podría guardar relación con la variación textural y un cierto lavado aunque no puede ser tomado como seguro.

En una segunda campaña de muestreo se obtuvieron las muestras superficiales de escombrera:

- S-8 y S-9 en la cantera 101020111 (Las Fuentes)
- S-11 y S-12 en la cantera 101060163 (Armadilla)
- S-14 y S-15 en la cantera 101050123 (Las Arcas)
- S-17 y S-18 en la cantera 101120208 (Fui de Malo)

En el Cuadro LXX se muestran algunas características de los puntos donde se tomaron las muestras.

Muestra	Observaciones
S-8	Zona en pendiente irregular. Brezos dispersos. Regueros de erosión.
S-9	Zona en pendiente fuerte e irregular. Sin vegetación.
S-11	Zona de pendiente fuerte. Materiales de recubrimiento. Sin vegetación. En puntos cercanos donde previsiblemente se aportaron dichos materiales antes, aparece vegetación dispersa.
S-12	Zona de borde de vertido muy pisoteada.
S-14	Acopios a borde de talud para ser vertidos.
S-15	Acopios a borde de talud para ser vertidos. Se supone que son materiales de recubrimiento superficial.
S-17	Zona de pendiente fuerte (parte inferior). Materiales procedentes de coluviones de recubrimiento.
S-18	Zona de pendiente fuerte.

Cuadro LXX.- Características de las zonas donde se recolectaron las muestras

Los resultados analíticos obtenidos con estas muestras se reflejan en los Cuadros LXXI y LXXII. Como puede verse, en el primero de ellos se exponen los resultados del análisis granulométrico y la clasificación textural. En el siguiente aparecen algunos de los parámetros químicos que se consideró más interesante medir.

Muestra	Arena	Limo	Arcilla	Textura	Elementos gruesos %
S-8	71,00	28,40	0,60	Fr-Ar	68,37
S-9	69,22	30,11	0,67	Fr-Ar	59,41
S-1	57,79	35,54	6,67	Fr-Ar	64,13
S-12	69,46	30,23	0,11	Fr-Ar	74,8
S-14	60,67	37,72	1,61	Fr-Ar	83,67
S-15	47,18	46,48	6,34	Fr-Ar	48,07
S-17	67,50	30,15	2,35	Fr-Ar	69,92
S-18	55,85	41,55	2,60	Fr-Ar	58,09

Cuadro LXXI.- Resultados obtenidos en los análisis granulométricos realizados a muestras de escombrera

Muestra	pH	M.O. %	Cationes de cambio (meq/100 g)						% Saturación de bases
			Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	
S-8	6,00	0,12	0,1457	0,0618	0,8321	0,2008	0,25	0,20	73%
S-9	5,98	0,09	0,0802	0,0516	0,7793	0,2053	0,15	0,10	83%
S-11	6,53	0,06	0,0466	0,0878	5,4532	2,4382	0,15	0,20	96%
S-12	7,46	0,02	0,1033	0,0556	0,0605	0,1810	0,15	0,0	73%
S-14	7,62	0,02	0,0501	0,0827	2,8898	0,7515	0,25	0,0	94%
S-15	7,6	0,02	0,0710	0,0528	2,9522	0,9907	0,15	0,0	96%
S-17	7,45	0,01	0,0507	0,0596	1,0059	0,4028	0,15	0,10	86%
S-18	7,08	0,08	0,0355	0,0463	1,5270	0,4383	0,15	0,0	93%

Cuadro LXXII.- Parámetros químicos obtenidos en análisis realizados a muestras de escombrera

En todos los casos la textura de la tierra fina resultó ser Franco-Arenosa con porcentajes de elementos gruesos ($\varnothing > 2$ mm) muy altos. Dado que se muestreó en puntos donde era posible hacerlo normalmente y de relativamente fácil acceso, habremos de tener en cuenta que en las partes más bajas de las escombreras estos porcentajes subirán más. Esto supone un impedimento muy fuerte para la introducción de vegetación, (se suele estimar un mínimo necesario de tierra fina del 20%). Se puede afirmar con toda seguridad que en esas partes bajas normalmente será menor.

En cuanto a las propiedades químicas destacan la gran escasez de materia orgánica y la pobreza del complejo de cambio junto con unos valores de pH y saturación de bases favorables. Los pHs son superiores a los de los suelos naturales aunque en esteriles que llevan más tiempo expuestos el lavado va reduciendo los valores.

Los resultados no explican el hecho de que se observen una mayor colonización vegetal, aunque muy incipiente, sobre los aportes de coluvión. Puede ser porque a pesar de que en estos materiales el porcentaje de elementos gruesos es también muy alto, los tamaños de los bloques nunca llegan a ser tan grandes como en el caso de los subproductos de cantera, permitiendo una mayor homogeneidad superficial donde son vertidos. Por otro lado, el hecho de que en ellos se incluya tierra vegetal puede permitir puntualmente unas condiciones mejores y el aporte de semillas.

Otro aspecto que no se ve reflejado en los análisis pero que conviene diferenciar es el tamaño de los elementos gruesos entre plataformas superiores de escombrera y taludes. En las plataformas debido al movimiento de maquinaria se produce alteración mecánica originando predominantemente gruesos de tamaño gravilla y pequeñas esquirlas con algún bloque suelto perdido en los trayectos, mientras que en los taludes predominan estos últimos. Sin embargo, por el mismo hecho del movimiento de maquinaria la compactación es muy alta superficialmente.

Escombreras de nave

Como sabemos, son de menor tamaño que las de cantera, pero sin embargo presentan taludes de mayor pendiente (40° de media). La granulometría es menos variada y las formas de los elementos individuales son planas y paralelepípedicas, lo que ha de influir en la presencia de una mayor proporción de huecos internos.

Sólo se producen elementos menores en las plataformas superiores por alteración mecánica. En los taludes los elementos finos estarán en una proporción menor aun que en las escombreras de cantera.

No se tomaron muestras en este tipo de escombreras salvo para caracterizar la textura de los lodos decantados derivados del proceso de elaboración. En cualquier caso es previsible una muy baja o nula fertilidad así como la capacidad de intercambio catiónico; también la ausencia de estructura edáfica es claramente previsible.

Las muestras se tomaron en áreas deprimidas donde son vertidos los lodos de nave. Suelen desprenderse como una costra blanda superficial seca y agrietada que se asienta sobre una masa algo más húmeda.

En el Cuadro LXXIII se exponen los resultados del análisis granulométrico y las texturas.

Muestra	Cantera	Textura	Arena	Limo	Arcilla	Elementos gruesos (%)
S-6	101050124	Fr-L	29,56	62,00	8,44	13,71
S-7	101050122	Fr-L	17,83	77,33	4,84	2,94
S-10	101020111	L	0,82	97,18	2,00	0,06

Cuadro LXXIII.- Resultados obtenidos en análisis granulométricos realizados a muestras de escombreras a nave

Destaca el carácter más limoso de estos lodos especialmente en la muestra S-10. Esto indica que el vaciado y vertido de los lodos por el talud de la escombrera puede no ser conveniente pues, salvo la proporción que penetre en los huecos, el resto es altamente erosionable por el aire y el agua y será normalmente arrastrado. Es posible que si el agua limpia los elementos gruesos en las escombreras de los lodos vertidos sobre ellos, éstos no alcancen cauces y queden en la misma o más abajo. En cualquier caso se corre el riesgo de que se pierdan al verterlos y sin embargo no mejoran sustancialmente las propiedades en superficie, dado su carácter y su proporcionalmente pequeña cuantía.

Plaza de cantera

No se tomaron muestras en plazas de cantera. Sin embargo, en ellas puede observarse una capa cuya textura tiende a ser limosa en las canteras activas, la cual se convierte en un auténtico barrizal en el periodo lluvioso.

En las canteras abandonadas sin embargo, predominan los elementos gruesos de tamaño gravilla, posiblemente por arrastre o percolación de los más finos.

El mayor impedimento es la proximidad de la roca a la superficie por lo que en ellas sería necesario engrosar la capa susceptible de permitir el enraizamiento.

Pistas

Las pistas presentan unas condiciones similares a las plazas con una capa a veces decimétrica de polvo o barro fino sobre la roca. En muchos pasos perderán toda utilidad al finalizar la explotación y convendrá restaurarlas.

Las texturas y la proporción de elementos gruesos de muestras tomadas en pistas aparecen en el Cuadro LXXIV.

Muestra	Localización zonas	Ar	L	Ac	Textura	Elementos gruesos (%)
S-5	S.P. de Trones	52,75	43,95	3,30	Fr-Ar	20,37
S-13	S.P. de Trones	57,22	39,67	3,02	Fr-Ar	23,79
S-16	La Baña	60,20	34,80	5,00	Fr-Ar	30,29

Cuadro LXXIV.- Resultados obtenidos en análisis granulométricos realizados a muestras recolectadas en las pistas

En todos los casos, la textura fue Franco-Arenosa, próxima a Franco-Limosa con elementos gruesos de pequeño tamaño.

En principio, y salvo por la ausencia de fertilidad y el impedimento a las raíces, no son demasiado desfavorables.

7.3.3.2. Características del medio en las futuras explotaciones

Si se siguen las recomendaciones de diseño que se han hecho en capítulos anteriores, las únicas diferencias destacables en lo que respecta a la regeneración de un medio favorable serán:

- Los frentes dispondrán de bermas sobre las que será posible realizar mejoras edáficas y revegetación generalmente de modo manual.
- Las escombreras tendrán una granulometría más homogénea en toda su superficie y al disponer siempre de bermas permitirán labores de mejora y revegetación.

Mejoras edáficas y manejo de la tierra vegetal

La preservación de la tierra vegetal extraída de labores de desmonte para apertura de frentes o en la base donde se ubicarán las futuras escombreras es imprescindible para asegurar, aunque sólo sea parcialmente, una cobertura vegetal posterior. Por lo tanto, siempre deberá planificarse la retirada de la misma y de

cualquier otro material que aporte finos (coluviones, pizarras alteradas...) para las labores de revegetación.

Según hemos visto las características más desfavorables guardan siempre relación con la baja fertilidad, la ausencia de estructura, la abundancia de materiales gruesos o presencia de capas duras.

Será imprescindible siempre aportar importantes cantidades de materia orgánica para aumentar la agregación en vista de las fracciones arenosas y limosas predominantes y mejorar la capacidad de intercambio catiónico.

El aporte de fertilizantes inorgánicos deberá basarse en la previsión de necesidades de la vegetación a implantar y en análisis puntuales completos.

Los pHs no necesitan enmendarse salvo cuando se pretenda modificar los de la tierra vegetal en puntos donde se vaya a introducir una pradera y siempre en base a datos analíticos.

En muchos casos se hará necesario descompactar o romper superficialmente las capas duras (plazas, pistas...) o por el contrario aportar suficiente espesor de materiales granulares (>25 cm).

Con respecto al manejo de la tierra vegetal en el futuro recomendamos lo siguiente:

- Realizar estudios previos para reconocer los diferentes horizontes y sus espesores, evaluar volúmenes y planificar el arranque, mantenimiento y reinstalación.
- Intentar siempre separar los horizontes superficiales más ricos en materia orgánica de los profundos.
- No superar en los acopios alturas de 2,5 m para evitar la destrucción de la estructura y minimizar el deterioro biológico.
- Analizar las propiedades de la tierra vegetal antes y durante el acopio para diseñar un sistema de mantenimiento adecuado. Del mismo modo, se deberá actuar con cualquier otro tipo de material del que se pueda disponer.
- Planificar las diferentes labores de modo que los acopios de tierra vegetal no

permanezcan más de doce meses.

- Realizar las labores de arranque en épocas secas. Las labores de extendido deberán hacerse un poco antes de las siembras en época favorable para la nascencia e implantación de la vegetación.

7.3.4. Revegetación

7.3.4.1. Consideraciones previas

La vegetación natural presente en la comarca de La Cabrera ofrece, en nuestra opinión, enormes posibilidades para proporcionar especies interesantes para su empleo en prácticas de revegetación. Destacan fundamentalmente la gran variedad de matorrales y de plantas rupícolas, pero también, algunas especies arbóreas.

Sin embargo, nos encontraremos en muchos casos una falta de existencias de planta o semilla comercial, lo que por otro lado es habitual cuando se trata de vegetación autóctona.

De todos modos, cuando tengamos conocimiento de que existe alguna referencia expresa en algún trabajo o proyecto sobre la adquisición de determinada especie, o cuando la hayamos encontrado en algún catálogo, lo señalaremos. Evidentemente, existirán otras especies comerciales de interés ya sean o no propias del medio y que en casos concretos podrían ser empleadas, pero nosotros nos limitaremos a recomendar especies silvestres o de cultivo presentes en el área de estudio.

En algún caso por tanto, se hará necesario llevar a cabo campañas de recogida de semilla o incluso planes más o menos ambiciosos de cría y mejora de plantas para cubrir las necesidades de proyectos concretos. Del mismo modo, es conveniente siempre la realización de ensayos previos que acompañarán a los que deban hacerse en relación al manejo o la corrección del suelo.

Un programa básico de recuperación de los terrenos alterados debe pasar por las siguientes fases:

- Reconocimiento de la/s formación/es vegetales afectadas o vegetación potencial climatófila.
- Preselección de especies partiendo de la información anterior y según

sean los objetivos y condicionantes puntuales (microtopografía, substrato, mejoras edáficas previstas, etc...).

- Ensayos, experiencias.
- Elaboración del programa de revegetación por fases.

7.3.4.2. Análisis de la vegetación potencial

Cuando se plantea un proyecto de revegetación, y siempre que el objetivo sea la regeneración de la vegetación natural, se suelen seleccionar especies a partir de inventarios florísticos más o menos completos, pero muchas veces no se llega a captar el aspecto dinámico o sucesional.

Para evaluar las potencialidades de recuperación, y dejando de momento a un lado los aspectos edáficos, se han de considerar las series de vegetación involucradas. Dichas series son las unidades dinámicas representativas de todas las comunidades vegetales relacionadas en la escala de menor a mayor madurez.

Un primer y valioso instrumento, aparte lógicamente de las observaciones de campo, es la cartografía de unidades fisionómicas y la de pisos ombroclimáticos, ambas aportadas en este estudio.

El conocimiento de la situación de una determinada explotación y la o las unidades vegetales a las que afecta puede permitirnos conocer la serie involucrada, y a partir de ella, seleccionar ya grupos de especies.

Las canteras y naves de labrado presentes en la comarca abarcan la práctica totalidad de la gama de altitudes posibles a excepción del piso bioclimático oromediterráneo. Es decir, que salvo la serie del enebro rastrero y las comunidades de gleras y roquedos oromediterráneos, el resto de comunidades pueden verse afectadas por los impactos derivados de la extracción o elaboración.

En el Cuadro LXXV se muestran las series de vegetación a las que generalmente corresponderá una unidad fisionómica visualizada en el correspondiente mapa. En dicho cuadro se detallan además las especies indicadoras de las distintas etapas de evolución.

La identificación de una unidad de vegetación correspondiente a una serie puede

ayudarnos en gran medida a preseleccionar especies interesantes para las prácticas de revegetación.

Nombre de la Serie	Salmantino-leonesa subhúm. del melojo	Salmantino-leonesa silicíc. de la encina	Carpetano occid. leonesa hum. del melojo	Acidófila orocantábrica
Arbol dominante	<i>Quercus pyrenaica</i>	<i>Quercus rotundifolia</i>	<i>Quercus pyrenaica</i>	<i>Betula celtiberica</i>
Nombre Fitosociol.	<i>Genisto falcatae-Querceto pyrenaicae sigmetum</i>	<i>Genisto hystricis-Querceto rotundifoliae sigmetum</i>	<i>Holco mollis-Querceto pyrenaicae sigmetum</i>	<i>Luzulo henriquesii-Betuleto celtibericae sigmetum</i>
I. Bosque	<i>Quercus pyrenaica</i> <i>Genista falcata</i> <i>Luzula forsterii</i> <i>Teucrium scorodonia</i>	<i>Quercus rotundifolia</i> <i>Genista hystrix</i> <i>Daphne gnidium</i> <i>Hyacinthoides hispanica</i>	<i>Quercus pyrenaica</i> <i>Holcus mollis</i> <i>Phisospermum cornubiense</i> <i>Omphalodes nitida</i>	<i>Betula celtiberica</i> <i>Quercus petrae</i> <i>Sorbus aucuparia</i> <i>Saxifraga spathularis</i> <i>Luzula sylvatica</i>
II. Matorral denso	<i>Cytisus scoparius</i> <i>Cytisus multiflorus</i> <i>Genista florida</i> <i>Pteridium aquilinum</i>	<i>Genista hystrix</i> <i>Cytisus multiflorus</i> <i>Cytisus scoparius</i> <i>Retama sphaerocarpa</i>	<i>Cytisus striatus</i> <i>Cytisus scoparius</i> <i>Genista florida</i> <i>Pteridium aquilinum</i>	<i>Genista obtusiramea</i> <i>Genista florida</i> <i>Erica arborea</i> <i>Pteridium aquilinum</i>
III. Matorral degradado	<i>Echinopartum ibericum</i> <i>Cistus laurifolius</i> <i>Calluna vulgaris</i> <i>Santolina semidentata</i>	<i>Cistus ladanifer</i> <i>Halimium ocnoides</i> <i>Helichrysum serotinum</i> <i>Lavandula sampaiana</i>	<i>Erica aragonensis</i> <i>Erica cinerea</i> <i>Halimium alyssoides</i> <i>Genistella tridentata</i> <i>Erica umbellata</i>	<i>Erica aragonensis</i> <i>Scorzonera humilis</i> <i>Daboecia cantabrica</i> <i>Halimium alyssoides</i>
IV. Pastizal	<i>Agrostis castellana</i> <i>Dactylis hispanica</i> <i>Aira praecox</i>	<i>Stipa gigantea</i> <i>Agrostis castellana</i> <i>Poa bulbosa</i>	<i>Avenula sulcata</i> <i>Agrostis durieui</i> <i>Sedum forsteranum</i> <i>Sedum pyrenaicum</i> <i>Sedum brevifolium</i>	<i>Agrostis duriensis</i> <i>Avenula sulcata</i> <i>Galium saxatile</i> <i>Sedum pyrenaicum</i> <i>Sedum brevifolium</i>

Cuadro LXXV.- Series de vegetación y especies indicadoras de las distintas etapas de evolución

Cabría plantearse en este momento si merece la pena promover especies cabecera de las series. Evidentemente las formaciones climax presuponen un medio edáfico no degradado que está muy lejos del que encontramos en los frentes, plazas de cantera y escombreras, e incluso del que se extiende en gran parte del territorio de La Cabrera.

En cualquier caso, se habrá ganado mucho si se conserva, mantiene y redistribuye la tierra vegetal, proceso del que ya hemos hablado y que daremos por

supuesto en la mayoría de los casos en los que sea posible.

Aun así, las nuevas condiciones originadas en el proceso de rehabilitación pueden condicionar un futuro estado climax distinto del original.

Por otro lado, se sabe que para que una formación boscosa sea estable debe tener un área mínima y un mínimo número de componentes. Sin embargo, no contamos con guías para establecer tales mínimos. Por ello, puede no tener demasiado sentido, desde este punto de vista, promover especies de bosque que formen parte de la cabeceras de las series cuando el área de la explotación es muy pequeña o se encuentra rodeada de fases más degradadas.

Creemos que lo más práctico es seleccionar especies en función de sus capacidades adaptativas frente a los factores edáficos y climáticos concretos de cada punto, aunque no obstante, el hecho de buscar la adaptabilidad puntual puede llevarnos a la selección de especies arbustivas o arbóreas.

A las especies propias de las series climatófilas habría que añadir aquellas de carácter edafófilo, fundamentalmente las que son propias de márgenes y riberas, y que pueden tener gran interés para estabilizar y embellecer márgenes en vías de drenaje. Conocemos algunas experiencias de revegetación en las que se han empleado algunas de estas especies.

En el Cuadro LXXVI se muestran las series edafófilas de vegetación de La Cabrera destacándose las especies más características.

SERIE	ESPECIES
<i>Aro maculati-Ulmeto minoris sigmetum</i>	<i>Ulmus minor, Rubus ulmifolius, Rosa canina, Crataegus monigina, Prunus spinosa.</i>
<i>Populo nigrae-Saliceto neotrichae sigmetum</i>	<i>Populus nigra, Salix neotricha.</i>
<i>Galio broterianae-Alneto glutinosae sigmetum</i>	<i>Alnus glutinosa, Fraxinus angustifolius, Ulmus minor, Populus nigra, Frangula alnus, Acer pseudoplatanus, Fraxinus excelsior.</i>
<i>Saliceto lambertiano-savifoliae sigmetum</i>	<i>Salix savifolia, Salix discolor, Salix multidentata, Salix x erythroclados.</i>

Cuadro LXXVI.- Series edafófilas y especies más características de vegetación de La Cabrera

7.3.4.3. Preselección de especies de interés

Prácticamente no existen experiencias de revegetación documentadas sobre el tipo de minería que nos ocupa. Únicamente conocemos un trabajo al respecto en el que se aborda específicamente la problemática de las escombreras de pizarra en el norte de Gales (Sheldon and Bradshaw, 1975; in Bradshaw and Chadwick, 1980).

Los autores describen como, a semejanza de lo que ocurre en La Cabrera actualmente, en Gales existen escombreras de pizarra donde predominan los elementos gruesos sobre los finos y los que se producen se cuelan o pierden. En estas condiciones, las semillas no pueden verse arrojadas y las plantas tienen que soportar la desecación total en los meses secos debido a la abundancia de huecos. Sin embargo, se consiguieron establecer ejemplares de roble (*Quercus petraea*) y de abedul (*Betula pubescens*), ambas presentes en nuestra zona, las cuales pueden alcanzar capas húmedas en profundidad gracias al potente sistema radicular.

Los mismos autores (Bradshaw and Chadwick, 1980), refiriéndose a la problemática más amplia de las canteras de rocas ácidas, sobre las que se presupone un medio muy pobre, sugieren una serie de especies de las que recogemos a continuación algunas presentes en La Cabrera.

Cuando el substrato es extremadamente pobre, ya sea en frentes o escombreras: *Calluna vulgaris*, *Deschampsia flexuosa* y *Vaccinium myrtillus*. Si el substrato es ligeramente más rico o se añaden finos y algo de fertilidad: *Rumex acetosa*, *Teucrium scorodonia* y *Betula pubescens*.

De éstas podemos destacar la brechina (*Calluna vulgaris*) por su capacidad de colonizar zonas umbrosas y su poder tapizante; también el género *Rumex* que promueven la fijación de nitrógeno atmosférico a través de simbiosis rizosféricas, y por último, la *Deschampsia flexuosa* que hemos podido ver espontánea en todas las escombreras donde se aportaron materiales de recubrimiento (coluviones, pizarras con laminaciones).

Otras plantas que pueden ser interesantes entre las naturales de la zona serían aquellas especies leñosas con buena capacidad para rebrotar de raíz y por ello, comunmente reconocidas para la fijación y estabilización de terrenos: el serbal de cazadores (*Sorbus aucuparia*), el mostajo (*Sorbus aria*), el arce (*Acer pseudoplatanus*), el majuelo (*Crataegus monogyna*), el endrino (*Prunus spinosa*) y el mismo melojo (*Quercus pyrenaica*).

También citaremos un género que suele funcionar muy bien en la estabilización en pendiente mediante la plantación de varetas en grandes cantidades, se trata de *Salix*.

Para la creación de pantallas visuales interesarán especies de gran porte como el castaño (*Castanea sativa*) y el roble (*Quercus petraea*).

Como mejorantes de la fertilidad del suelo, por la capacidad de fijar nitrógeno en asociación, ya sea actinorriza o bacteriorriza, estarían: el aliso (*Alnus glutinosa*) y las leguminosas arbustivas y herbáceas que aparecen al final en los cuadros LXXVII y LXXVIII (junto con todas las que venimos comentando y algunas otras).

En el Cuadro LXXVII se incluye una serie de ericáceas que si bien pueden utilizarse puntualmente, no recomendamos para un uso extensivo. Esto es debido a la competencia que ejercen y por ello al freno a la evolución que suponen, además de la influencia negativa sobre el suelo.

Por último interesa destacar el papel mejorador de las propiedades edáficas que tienen las gramíneas en asociación con leguminosas: *Poa*, *Phleum*, *Lolium*, *Dactylis*, etc...

Queremos terminar este apartado insistiendo en la necesidad de realizar experiencias con estas u otras especies, de manera que se consiga adquirir una experiencia que actualmente no se tiene, y que permitirá a su vez convertir la recuperación de los terrenos en algo sencillo y económico.

ESPECIES (por familias)	OBSERVACIONES
<i>Leguminosae</i>	
<i>Adenocarpus complicatus</i>	I, II, III, a, N
<i>Chamaespartium tridentatum</i>	I, II, III, a, N
<i>Cytisus multiflorus</i>	I, II, a, m, C, P, S
<i>Cytisus scoparius</i>	I, II, III, a, m, N, C, P, S
<i>Cytisus striatus</i>	I, III, a, m, N
<i>Echinopartum lusitanicum</i>	I, II, N, a, m
<i>Genista falcata</i>	I, m, N
<i>Genista polygaliphylla</i>	I, III, IV, m, N
<i>Genista histrix</i>	II, m, N
<i>Genista micrantha</i>	I, II, m, N
<i>Genista obtusiramea</i>	IV, m, N
<i>Genistella tridentata</i>	I, III, m, N
<i>Retama sphaerocarparpa</i>	II, a, m, N, C, P
<i>Labiatae</i>	
<i>Lavandula stoechas</i>	II, m, C, P, S
<i>Teucrium scorodonia</i>	I, m
<i>Thymus mastichina</i>	II, m, C, P, S
<i>Thymus pulegioides</i>	I, II, III, m, fisuras, pedregales
<i>Thymus zygis</i>	I, II, m

Nota: Las claves empleadas en el Cuadro LXXVII se exponen a continuación.

- I: Serie Salmantino-leonesa subhúmeda del melojo
- II: Serie Salmantino-leonesa silicícola de la encina
- III: Serie Carpetano occidental y leonesa húmeda del melojo
- IV: Serie Acidófila orocantábrica del abedul
- V: Serie edafófila del olmo (olmedas)
- VI: Serie edafófila del álamo (alamedas)
- VII: Serie edafófila del aliso (alisedas)
- VIII: Serie edafófila del sauce (saucedas)
- A: Arbol
- a: arbolillo, arbusto
- m: mata
- gp: gran porte
- N: fija nitrógeno atmosférico en asociación
- C: comercial (es posible encontrarla en el mercado)
- P: normalmente vendida como planta
- S: normalmente vendida como semilla

Cuadro LXXVII.- Especies leñosas

ESPECIES (por familias)	OBSERVACIONES
<i>Polygonaceae</i>	
<i>Rumex acetosa</i>	N, Roquedos, pedregales
<i>Rumex acetosella</i>	N, Roquedos, pedregales
<i>Leguminosae</i>	
<i>Anthyllis vulneraria</i>	N, C, P
<i>Lathyrus montanus</i>	N
<i>Lotus corniculatus</i>	N, zonas húmedas
<i>Lupinus angustifolius</i>	N, fisuras, pedregales, pionera, C, S
<i>Trifolium pratense</i>	N, prados y pastizales, C, S
<i>Trifolium repens</i>	N, prados y pastizales, C, S
<i>Trifolium subterraneum</i>	N, prados y pastizales, C, S
<i>Vicia hirsuta</i>	N, prados y pastizales, C, S
<i>Vicia lutea</i>	N, prados y pastizales
<i>Vicia sativa</i>	N, prados y pastizales, C, S
<i>Gramineae</i>	
<i>Agrostis capillaris</i>	
<i>Agrostis castellana</i>	
<i>Agrostis durieni</i>	
<i>Agrostis truncatula</i>	Fisuras, pedregales
<i>Avenula sulcata</i>	Zonas frías
<i>Cynosurus cristatus</i>	
<i>Cynosurus elegans</i>	C, S
<i>Deschampsia flexuosa</i>	
<i>Deschampsia hispanica</i>	
<i>Festuca elegans</i>	
<i>Festuca indigesta</i>	Fisuras, pedregales
<i>Festuca rubra</i>	C, S
<i>Holcus mollis</i>	
<i>Lolium perenne</i>	C, S
<i>Phleum pratense</i>	C, S
<i>Poa annua</i>	Pionera
<i>Poa bulbosa</i>	Orientaciones sur
<i>Poa pratensis</i>	Prados y pastizales, C, S

Nota: Las claves empleadas en el Cuadro LXXVIII se exponen a continuación.

-N: fija nitrógeno a través de simbiosis rizosférica o bacteriorrizo

-C: comercial (es posible encontrarla en el mercado)

-P: normalmente vendida como planta

-S: normalmente vendida como semilla

Cuadro LXXVIII.- Especies herbáceas

ESPECIES (por familias)	OBSERVACIONES
<p>Fagaceae <i>Castanea sativa</i> <i>Quercus petraea</i> <i>Quercus pyrenaica</i> <i>Quercus rotundifolia</i></p>	<p>III, IV, A, gp, C, P III, IV, A, gp, C, P I, III, A, a, C, P II, A, a, C, P</p>
<p>Betulaceae <i>Alnus glutinosa</i> <i>Betula celtiberica</i></p>	<p>VII, A, a, N, C, P IV, A, C, P</p>
<p>Cistaceae <i>Cistus ladanifer</i> <i>Cistus laurifolius</i></p>	<p>I, II, III, a, C, P I, a, C, P</p>
<p>Salicaceae <i>Populus nigra</i> <i>Salix atrocinerea</i> <i>Salix discolor</i> <i>Salix salvifolia</i> <i>Salix secalliana</i></p>	<p>VII, A, C, P VII, a VIII, a VIII, a, C, P VIII, a</p>
<p>Ericaceae <i>Calluna vulgaris</i> <i>Erica aragonensis</i> <i>Erica arborea</i> <i>Erica cinerea</i> <i>Erica tetralix</i> <i>Erica umbellata</i> <i>Vaccinium myrtillus</i></p>	<p>I, III, m, a, umbrías I, III, IV, a I, III, IV, a, umbrías I, III, m I, II, III, a, depresiones I, II, III, a I, III, a, C, P</p>
<p>Rosaceae <i>Crataegus monogyna</i> <i>Prunus spinosa</i> <i>Rosa canina</i> <i>Rubus ulmifolius</i> <i>Sorbus aria</i> <i>Sorbus aucuparia</i></p>	<p>V, a, C, P V, a, C, P V, a, C, P I, III, V, a I, II, III, A, a, C, P I, III, IV, A, a, C, P</p>
<p>Oleaceae <i>Fraxinus angustifolius</i> <i>Fraxinus excelsior</i></p>	<p>VII, A, C, P VII, A, C, P</p>
<p>Aceraceae <i>Acer pseudoplatanus</i></p>	<p>VII, A, C, P, invasor, solanas</p>

7.3.4.4. Tratamientos de revegetación

Básicamente se pueden realizar dos tipos de tratamientos encaminados a la introducción de la vegetación y que, a su vez, dependerán de las prácticas de manejo de los materiales que van a servir de substrato y de las condiciones topográficas:

- Siembra
- Plantación

La siembra, lógicamente, requiere un medio apropiado a la germinación, poroso y no compacto, que preserve humedad, pero permita la aireación. Cuanto más regular sea en el espacio, más uniforme será la formación vegetal introducida.

Este medio no se encontrará en ninguna de las superficies a tratar. Pensamos que actualmente lo más parecido son las zonas donde se han aportado productos de la excavación de los recubrimientos, especialmente si se trata de coluviones. Aun así será un medio muy erosionable en pendiente, sin estructura ni fertilidad.

Cabe pensar que se obtendría una sustancial y rápida mejora con un aporte de materia orgánica, elementos nutritivos y tal vez algún acondicionador de suelos, para sembrar inmediatamente después.

Evidentemente mejor sería el aporte de tierra vegetal siempre y cuando se hubieran mantenido convenientemente sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

En cualquier caso, la generación de un medio favorable al establecimiento de las semillas ha de basarse en el estudio puntual de:

- las características de los materiales disponibles
- los volúmenes de cada tipo de material, si es que la planificación del proceso extractivo ha permitido un manejo por separado de la tierra vegetal, los recubrimientos, etc...
- la estimación de materiales necesarios para la mejora edáfica (enmiendas orgánicas, fertilizantes, mulches, acondicionadores, enmienda caliza, o lo que convenga)

- los objetivos, por ejemplo primando el aporte de tierra vegetal y fertilizantes donde interese crear un pastizal.

De todos modos, será siempre necesario aplicar una siembra de pratenses para proteger superficies contra la erosión, mejorar las propiedades del suelo, reducir el impacto visual o mantener en vivo las propiedades de la tierra vegetal. Por ello vamos a recomendar una mezcla polivalente de semillas, elegida según los siguientes criterios:

- diversidad para buscar amplia adaptación dentro de las condiciones propias de la zona
- equilibrio entre gramíneas y leguminosas
- rusticidad en términos generales
- presencia habitual en el mercado
- rapidez de implantación
- capacidad para ser utilizada en siembra convencional o hidrosiembra.

La dosis ha de considerarse fuerte en nuestra opinión y queda constituida como sigue para una hectárea: *Festuca rubra* (6 kg), *Dactylis glomerata* (10 kg), *Poa pratensis* (6 kg), *Phleum pratense* (10 kg), *Lolium perenne* (15 kg), *Trifolium repens* (5 kg), *Trifolium pratense* (5 kg), *Vicia sativa* (20 kg) y *Lotus corniculatus* (13 kg).

Por supuesto existirían infinidad de variantes posibles incluyendo o eliminando especies, o potenciando unas sobre otras. Por ejemplo en puntos más fríos incrementar la dosis de *Phleum pratense*, o con mayor fertilidad incrementar los tréboles (*Trifolium*) y el vallico (*Lolium perenne*).

Lógicamente, cualquier otra clase de semillas servirían siempre que sean adecuadas, se disponga de semilla y de un medio de germinación apropiado.

Dadas las características que han de tener las superficies a restaurar, lo normal será hacer siembra mecánica sobre bermas de escombrera, plazas de cantera y acopios de tierra vegetal de suficiente superficie, si bien, en estos últimos puede ser mejor la siembra manual para compactar lo menos posible.

En los taludes de las escombreras, siempre que se sigan los criterios

constructivos recomendados en este estudio, se deberá hidrosebrar (ver Figura N° 34).

Debido a las características de pendiente, longitud de la misma, alta pedregosidad y condiciones climáticas adversas según la orientación, recomendamos el aporte para el caso más general de:

- semilla
- fertilizante
- enmienda orgánica o acondicionador del suelo
- elemento adherente
- mulch.

Cuando sea posible cubrir los taludes con tierra vegetal se pueden suprimir o reducir opcionalmente la enmienda, el mulch y el fertilizante; siempre, por supuesto, en función de las propiedades de la tierra vegetal. Exactamente lo mismo se puede decir para el caso en que se aporten materiales de recubrimiento.

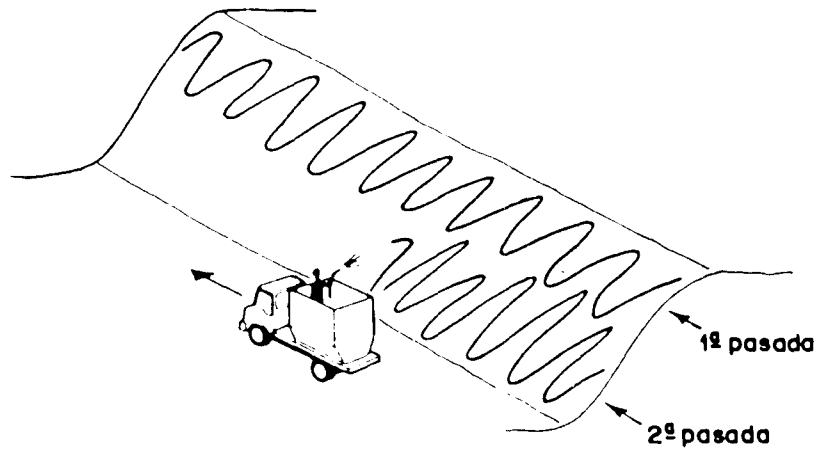
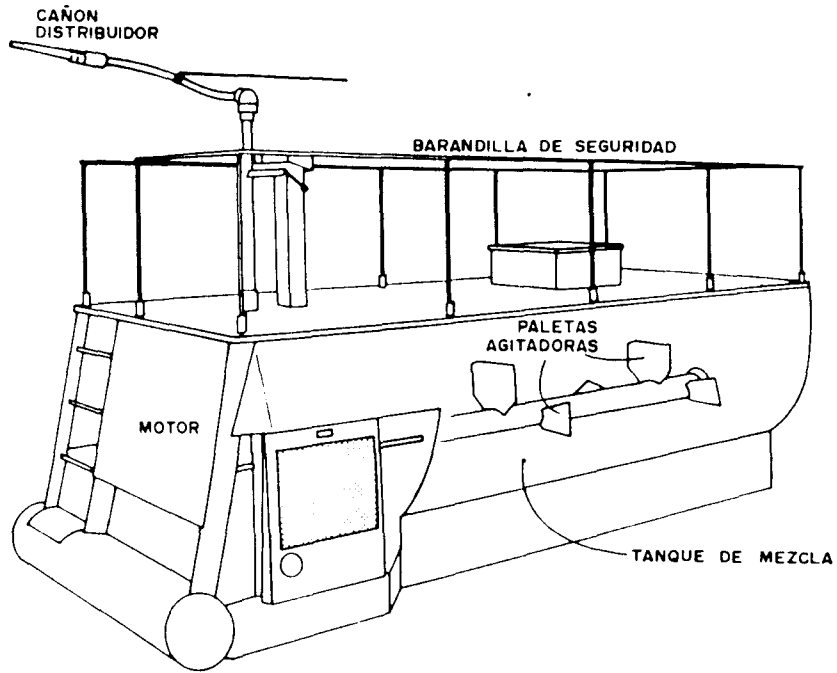
Si se adiciona tierra vegetal sobre los taludes, la hidrosiembra deberá llevarse a cabo inmediatamente después, pues el riesgo de erosión aumentará considerablemente. Sería verdaderamente lastimoso que después de haber retirado, mantenido y reinstalado la tierra vegetal ésta se pierda.

También nos parece necesario advertir que si se tiene planteado llevar a cabo plantaciones en las bermas, éstas se hagan pasado un año de crecimiento de las pratenses en los taludes y en las mismas bermas. De este modo se podrá realizar un mantenimiento de las siembras en las épocas secas, fundamentalmente algún riego ligero.

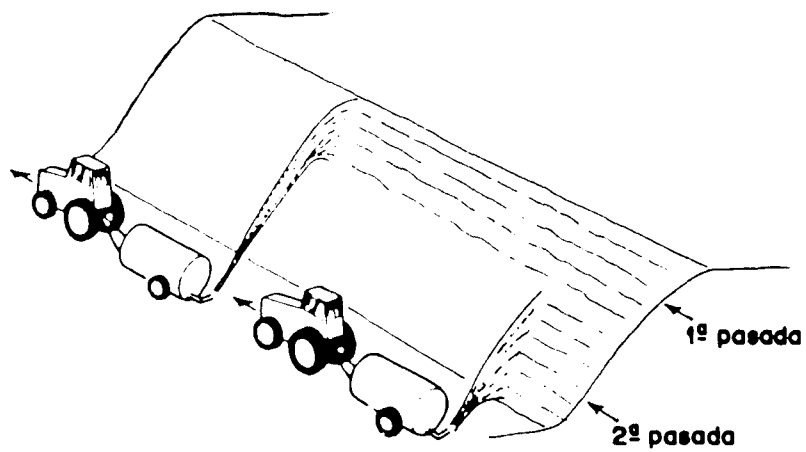
En cuanto a las plantaciones, podemos distinguir diversas situaciones en función de los diferentes aspectos a considerar.

En lo referente al tipo de superficie vamos a distinguir plantaciones en pendiente y, por el contrario, en posición culminante o llano.

Entendemos que las plantaciones en pendiente serán excepcionales, limitadas a aquellos casos en los que las pendientes de las superficies a tratar no superen los 30°. Sin embargo, por si se diera el caso, creemos que merece la pena comentarlo.



UNA UNICA HIDROSEMBRADORA CON MANGUERA MOVIL



DOS HIDROSEMBRADORAS CON MANGUERA FIJA

Figura N° 34.- Hidrosembradora y método de hidrosiembra en taludes

A su vez, las plantaciones en pendiente pueden tener dos objetivos. Uno de ellos será el de participar en la estabilización de los taludes cuando el substrato no ofrezca demasiados inconvenientes. Es decir, que sin ser un medio favorable para la germinación y con pocas posibilidades de mejora, tampoco sea excesivamente desfavorable (granulometría extendida, pero con no demasiados bloques).

Se trata de realizar cordones perpendiculares a la línea de máxima pendiente, para lo cual es necesario disponer de abundante material vegetal consistente en varetas de más de 50 cm de largo (10-20/m) de especies con gran capacidad de producir raíces adventicias (ver Figura N° 35).

Lo ideal es mezclar varias especies e incluso, con ramas de material muerto obtenido en labores de desmonta.

Otros requerimientos son la necesidad de aportar abono y la obligatoriedad de realizar la plantación en época de dormición.

El otro caso de plantación en pendiente es aquel en el que se busca la introducción de especies en zonas ya cubiertas de vegetación. En esencia no difiere de una plantación normal con apertura de hoyos individuales en los que se introducen mejoras edáficas y plantas en cepellón, pot o a raíz desnuda (ver Figura N° 36).

La plantación en zonas llanas o culminantes (bermas, plataformas, plazas de cantera, cordones para minimizar el impacto visual), se debe regir siempre por el mismo principio. Esto es, crear un medio favorable suficiente para el desarrollo de los primeros dos o tres años mediante la apertura de un hoyo de dimensiones generosas en relación al tamaño de la planta.

Después se debe confiar en la extensión del sistema radicular fuera de los límites del hoyo y en la capacidad de la especie para sobrevivir.

7.3.4.5. Recomendación sobre la realización de los trabajos de revegetación.

Para terminar este apartado solamente queremos hacer una recomendación en relación a la planificación de los trabajos.

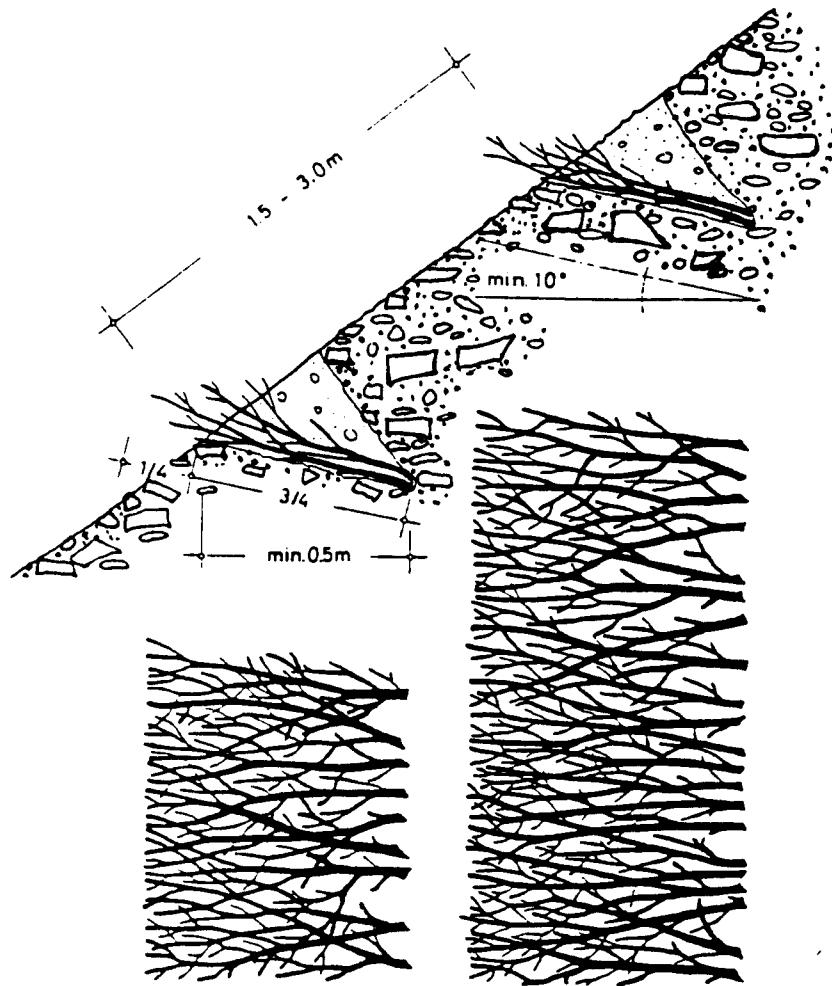


Figura N° 35.- Esquema en perfil y planta de plantación de cordones de material leñoso en pendiente (basado en Schiechtl, 1980)

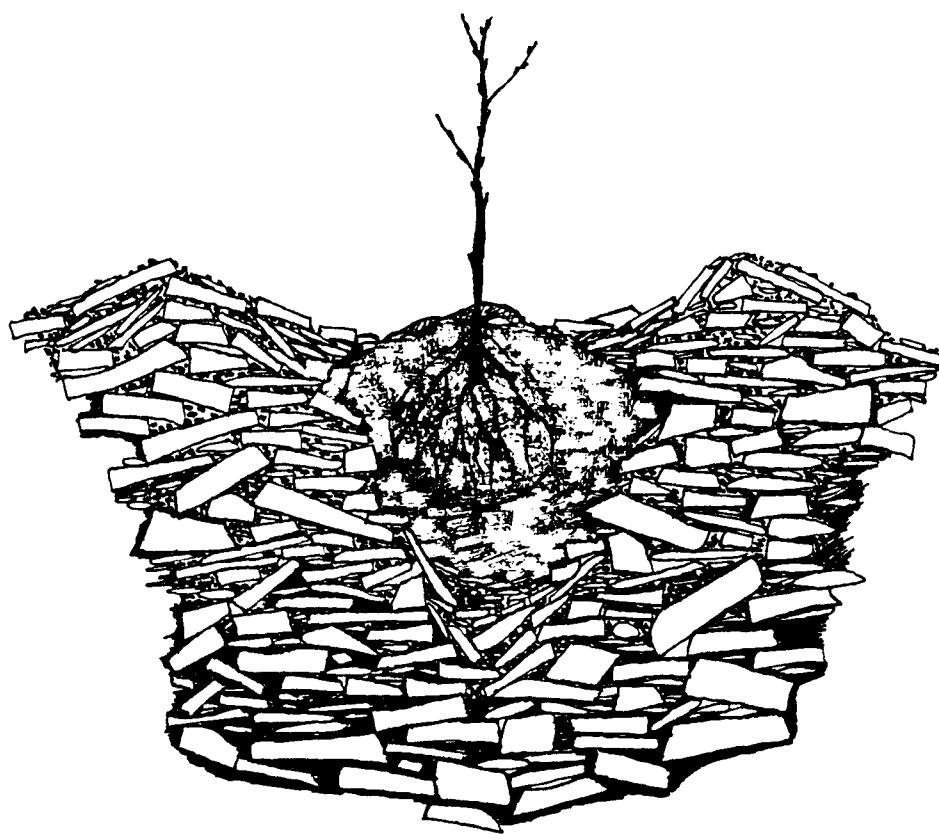


Figura N° 36.- Ilustración donde se representa la plantación de plantas en cepellón o a raíz desnuda en hoyos individuales con aporte de mejoras edáficas y tierra vegetal en el hueco creado (basado en Sheldon and Bradshaw, 1975)

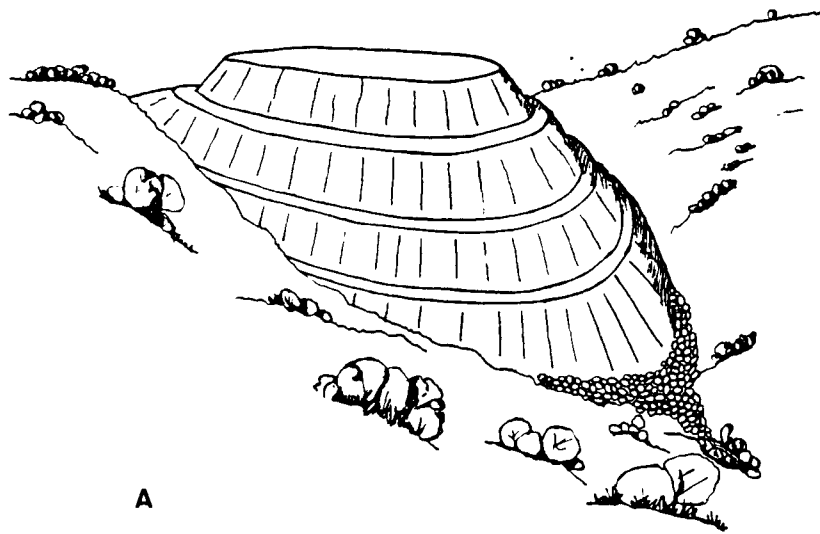
La construcción de las escombreras permitirá, si se sigue el modelo propuesto, ir adelantando los trabajos de revegetación sobre las fases ya terminadas.

Será muy conveniente hacerlo pues permitirá conocer la respuesta de la vegetación y disminuir el impacto paisajístico desde las primeras fases, a la vez que ir renovando los acopios de tierra vegetal.

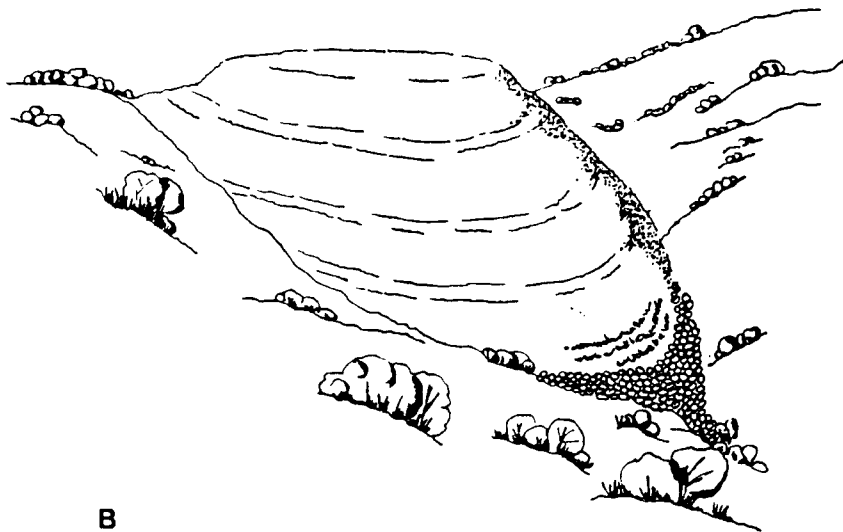
Del mismo modo, todas las medidas previstas para apantallar deberán planificarse para que se puedan realizar desde las primeras fases de explotación.

Se ilustran los efectos que podrían conseguirse con las labores de revegetación a través de las figuras que siguen. En ellas no está representada una secuencia del todo correcta, pues como acabamos de decir, determinadas labores pueden iniciarse en fases anteriores de explotación de las escombreras.

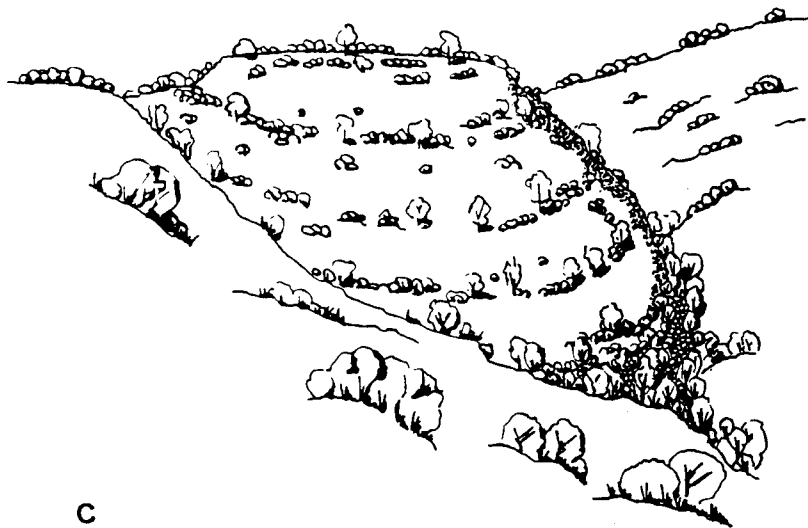
La Figura N° 37 muestra la evolución de la integración paisajística con la revegetación de una escombrera tipo y en la Figura N° 38 se ejemplifica lo mismo en un frente y plaza de cantera.



A

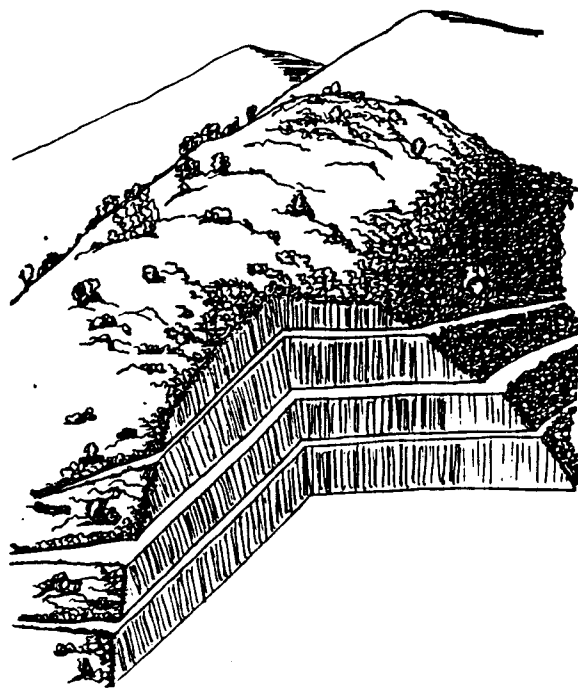


B

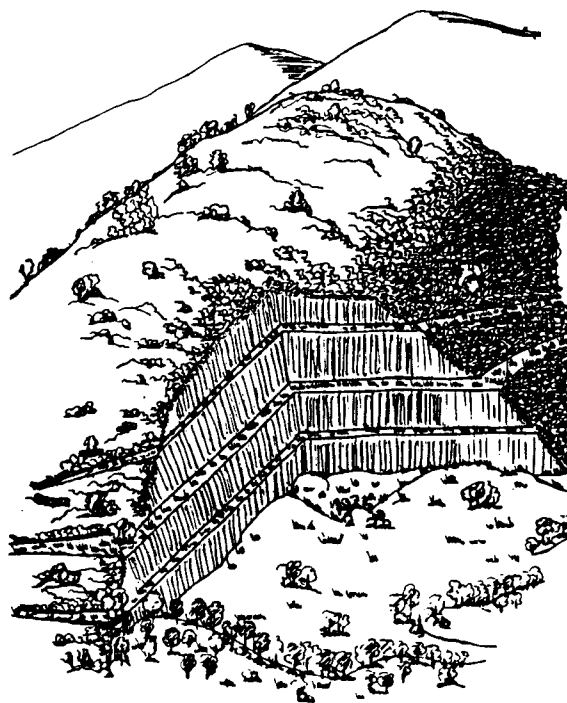


C

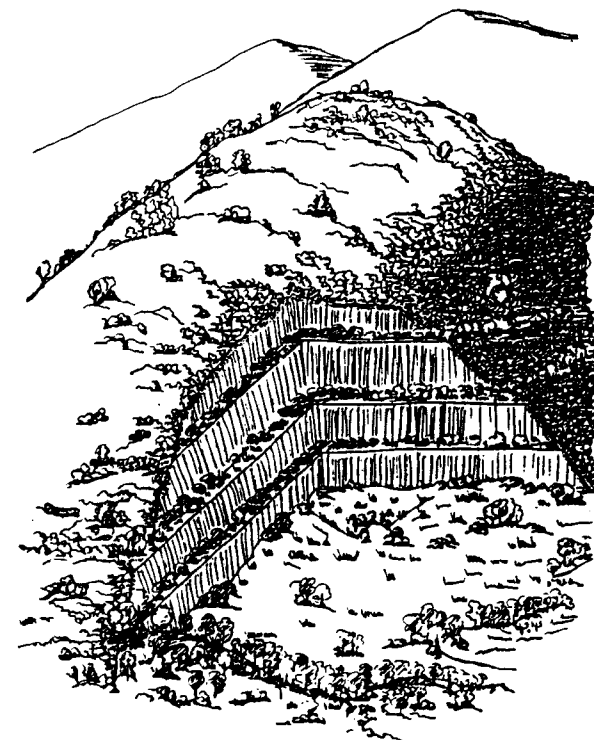
Figura N° 37.- Evolución del proceso de integración paisajística de una escombrera con la revegetación



A



B



C

Figura N° 38.- Evolución del proceso de integración paisajística en frentes y plazas de cantera.

GLOSARIO DE TÉRMINOS GEOLÓGICOS

EXPLICACIÓN GEOLOGICA DE ALGUNOS DE LOS TERMINOS DEL ARGOT MINERO, UTILIZADOS EN EL SECTOR DE LA PIZARRA

Se acompaña una breve explicación de la terminología de uso común utilizada en el sector de la pizarra.

Bregada: Kink-bands de cualquier dimensión.

Burro: Masa de pizarra inexplorable, por diversas causas, entre pizarra explotable.

Clavos: Nódulos cuarcíticos centimétricos intercalados en la pizarra, y que producen abultamientos en las superficies de las placas.

Cortes: Diaclasas cerradas en las masas de pizarra.

Febra o hebra: Lineación de intersección entre la estratificación (S_o) y la foliación principal (S_p). A veces también se indica con este término el sentido de buzamiento de la estratificación.

Ferreño: Cuarcitas o areniscas compactas.

Panila: Efecto suave de la crenulación (S_c) produciendo una ondulación en los planos de foliación principal (S_p) sin llegar a romperlos.

Rayela: Cuando la crenulación (S_c) es intensa y rompe los planos de foliación (S_p).

Rucio: Laminaciones arenosas intercaladas en las pizarras.

Quemada: Pizarra que presenta planos de fisibilidad ondulados y de aspecto brillante.

Xeixo: Venas o diques de cuarzo.