



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

EL GRANITO. PROCESO DE EXTRACCIÓN

Alumno: Luis José Rodríguez López

Tutor: Mario Miró Barnés

Depto.: Ingeniería Mecánica y Minera

Junio, 2.019



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**EL GRANITO. PROCESO DE
EXTRACCIÓN**

Alumno: Luis José Rodríguez López

Tutor: Mario Miró Barnés
Depto.: Ingeniería Mecánica y Minera

RODRIGUEZ
LOPEZ LUIS
JOSE -
26256892T

Firmado digitalmente
por RODRIGUEZ
LOPEZ LUIS JOSE -
26256892T
Fecha: 2019.06.29
17:39:41 +02'00'

MIRO
BARNES
MARIO -
26219341P

Firmado digitalmente por MIRO
BARNES MARIO - 26219341P
Nombre de reconocimiento
(DN): c=ES,
serialNumber=26219341P,
sn=MIRO BARNES,
givenName=MARIO, cn=MIRO
BARNES MARIO - 26219341P
Fecha: 2019.07.08 11:22:07
+02'00'

Junio, 2.019

INDICE

1.DEFINICIÓN DE ROCA Y CLASIFICACIÓN.	5
1.1.- Definición de Rocas.	5
1.2.- Características de las Rocas:	5
1.3.- Clasificación de los tipos de Rocas:	6
2. LA ROCA ORNAMENTAL EN LA HISTORIA.	8
2.1.- Introducción.	8
2.2.- El legado de la era prehistórica.	8
2.3.- Las técnicas de extracción en el antiguo Egipto.	10
2.4.- Grecia y Roma. El lujo de la piedra.	11
2.5.- La importancia en la península ibérica antigua.	16
2.6.- La influencia de las épocas de transición. La aparición del románico.	18
2.7.- La invasión árabe.	20
2.8.- El desarrollo de la arquitectura religiosa.	22
2.9.- El máximo apogeo de la piedra.	24
2.10.- La arquitectura real.	27
2.11.- Decadencia en favor de la funcionalidad.	28
2.12.- Siglo XXI.	29
2.13.- Arte funerario. El recuerdo en piedra.	30
2.14.- Situación de canteras y épocas de explotación.	32
3.- POTENCIAL GEOLÓGICO DE GRANITOS EN ESPAÑA.	41
3.1.- Introducción.	41
3.2.- Tipos de Granitos Ornamentales	44
3.3.- Factores que controlan la explotabilidad de los Granitos Ornamentales	46
3.4.-Yacimientos de Granitos Ornamentales en España.	48
3.4.1.- Encuadre general.	48
3.4.2.- Galicia.	49
4.4.3.- Zona Central.	56
4.4.4.- Extremadura.	58
4.4.5.-Otras zonas.	66
4.-DOCUMENTACIÓN NECESARIA PARA LA EXPLOTACIÓN DE LA CANTERA.	69
4.1.- Fase I: Recopilación de Información.	69
4.2.- Fase II: Exploración de Campo a Escala 1:50.000.	70

4.3.- Fase III: Investigación Previa a Escala 1:25.000.	75
4.3.1.- Características geológicas del yacimiento.	75
4.3.2.- Calidad de la roca.	79
4.3.3.-Viabilidad de explotación minera.	85
4.4.4.-Valoración de áreas.	85
4.4.- Fase IV: Investigación de Detalle a Escala 1:10.000 o 1:1.000.	86
4.5.- Fase V: Proyecto de Explotación y Apertura de la Cantera.	86
5.-EXPLOTACIÓN DE LA CANTERA.	87
5.1.- Aire comprimido.	88
5.1.1.-Introducción.	88
5.1.2.-Características Generales del Compresor.	91
5.1.3.-Características Técnicas del Compresor Bético RD 1000.	92
5.1.4.-Instalación de la Red.	93
5.1.5.-Cálculo de las Tuberías. Pérdida de Presión.	94
5.1.6.-Elementos Auxiliares.	96
5.2.- Perforación.	98
5.3.- Voladuras.	101
5.3.1.-Introducción.	101
5.3.2.-Iniciación de la voladura.	103
6.- MEDIDAS DE SEGURIDAD.	106
7.- MAQUINARIA.	109
7.1.-Transmisión.	109
7.2.-Capacidades.	110
7.3.-Cuchara.	110
8.- PREVENCIÓN Y CONTROL DEL POLVO.	111
8.1.-El polvo en las Canteras.	111
8.2.-Perforación.	111
8.3.-Voladuras.	112
8.4.-Extracción y carga.	112
8.5.-Transporte.	112
8.6.-Taludes y escombreras.	113
9.- PLAN DE RESTAURACIÓN.	114
9.1.-Situación geográfica.	114
9.2.-Geología.	114

9.3.-Hidrología e hidrogeología.	116
9.4.-Clima.	116
9.5.-Vegetación y Fauna.	117
9.6.-Paisaje.	117
9.7.-Descripción de las características del aprovechamiento.	116
9.8.-Identificación y predicción de impactos.	116
9.8.1.-Sobre la atmósfera.	118
9.8.2.-Sobre el agua superficial.	119
9.8.3.-Sobre las aguas subterráneas.	119
9.8.4.-Sobre el suelo.	116
9.8.5.-Sobre la flora y la fauna.	119
9.8.6.-En los procesos (Riesgos Geofísicos).	120
9.8.7.-Sobre la morfología y el paisaje.	120
9.9.-Características de los impactos.	120
9.10.-Alteraciones en la atmósfera y medidas correctoras.	116
9.10.1.-Partículas sólidas y líquidas, gases y vapores.	124
9.11.-Control y prevención de la contaminación del agua.	116
9.12.-Control de vibraciones y onda aérea producidas por voladuras.	116
9.12.1.-Carga máxima por microrretardo en función de la distancia.	129
9.13.-Control de la erosión y sedimentación.	132
9.14.-Estudio cuantitativo del impacto ambiental.	134
9.15.-Medidas previstas para la restauración del espacio natural.	134
9.15.1.-Efectos sobre el uso del suelo.	154
9.15.2.-Flora y Fauna.	154
9.15.3.-Paisaje.	155
9.15.4.-Calidad de las aguas.	155
9.15.5.-Polvo contaminación atmosférica y ruidos.	155
10.- EJECUCIÓN PLAN DE RESTAURACIÓN.	156
10.1.-Acondicionamiento de la superficie del terreno.	156
10.2.-Medidas para evitar la erosión.	156
10.3.-Protección del paisaje.	156
10.4.-Revegetación.	156
11.- OTROS MEDIOS DE EXPLOTACIÓN.	158
11.1.-Corte con hilo.	158

11.2.-Corte con rozadora de brazo.	162
11.3.-Corte con chorro de agua.	164
12.-BIBLIOGRAFÍA.	166
12.1.-Libros.	166
12.2.-Artículos y documentación en línea.	167
12.3.-Páginas web.	167
12.4.-Visitas a empresas del sector.	167
ANEXO N°1.-MAPAS.	169

1.DEFINICIÓN DE ROCA Y CLASIFICACIÓN.

1.1.- Definición de Rocas.

Las rocas son agregados naturales presentes en la Tierra en masas de grandes dimensiones. Estas rocas están formadas por uno o más minerales. En cualquier roca pueden existir minerales principales, por los cuales se clasifican, y otros accesorios, cuya presencia no es decisiva para dicha clasificación. También tenemos rocas compuestas por un solo mineral. Existen diferentes tipos de rocas que pueden ser divididas o clasificadas en tres grandes grupos según su origen: ígneas, metamórficas y sedimentarias.

1.2.- Características de las Rocas:

Las rocas son los materiales primordiales de los que están hechos el manto y la corteza terrestre y las partes equivalentes de otros cuerpos planetarios semejantes. Las rocas están formadas generalmente por varias especies mineralógicas (rocas compuestas), y rocas constituidas por un solo mineral (rocas monominerálicas). Las rocas suelen ser duras, aunque también pueden ser blandas, como las rocas arcillosas o las arenas.

La composición de las rocas puede estar determinada por los minerales esenciales o los minerales accesorios. Los minerales esenciales son aquellos que caracterizan la composición de determinada roca, los que tienen en mayor abundancia. Un ejemplo es el granito, que siempre tiene cuarzo, feldespato y mica. Por otro lado, los minerales accesorios son los que aparecen en pequeña proporción en la roca o pueden estar ausentes, por lo que no alteran la clasificación de esta. Por ejemplo, el granito puede contener zircón y apatito en menor proporción.

Para la clasificación de las rocas se pueden tomar criterios como la composición química, la textura, la permeabilidad, entre otros, aunque el criterio más utilizado es el origen de estas, o sea, la manera en que se formaron.

1.3.- Clasificación de los tipos de Rocas:

Existen tres grupos o tipos de rocas en los que pueden ser divididas según su origen. Las rocas están clasificadas en:

- Ígneas: se forman cuando el magma (rocas fundidas) se enfría. Esto puede ocurrir rápidamente en la superficie o lentamente en el interior de la corteza terrestre cuando hay actividad volcánica. Esto origina grandes masas de rocas llamadas plutónicas.
 - Rocas plutónicas: se forman al enfriarse el magma lentamente en el interior de la Tierra. Como el enfriamiento del magma es muy lento los minerales disponen de tiempo para crecer, por lo que las rocas presentan cristales relativamente grandes. Son rocas densas y sin huecos. Los granitos son las rocas plutónicas (Imagen 1.1), más comunes, compuestas de los minerales cuarzo, feldespato y micas.

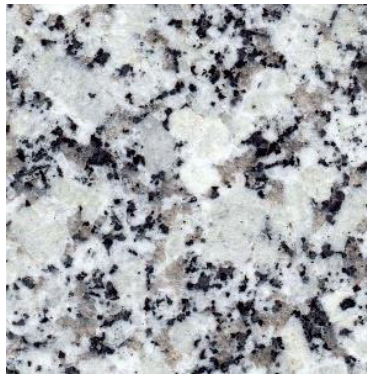


Imagen 1.1: Granito, roca plutónica.

- Rocas volcánicas: se forman cuando el magma se enfría en la superficie de la Tierra, a baja temperatura y presión. Como el enfriamiento es muy rápido los cristales no tienen mucho tiempo para formarse y crecer, por lo que las rocas están constituidas por una masa de cristales de pequeño tamaño o bien materia amorfa sin cristalizar. Tienen un aspecto esponjoso. Un ejemplo común es el basalto.
- Rocas filonianas: estas pueden cristalizar en el interior de grietas o fracturas en las que las presiones y temperaturas no son tan elevadas

como las que soportan las rocas plutónicas durante su formación, ni tan bajas como las de las rocas volcánicas.

- Metamórficas: están formadas a partir de otras rocas. Se forman por la acción de extraordinarias presiones y temperaturas que las transforman.
- Sedimentarias: se forman en la superficie terrestre cuando los materiales se depositan formando capas o estratos. Se les conoce como detríticas cuando se forman a partir de trozos de otras rocas, y químicas y orgánicas si son formadas a partir de precipitación de compuestos químicos o acumulación de restos de seres vivos.
 - Detríticas: se forman a partir de la sedimentación de trozos de otras rocas después de una fase de transporte. Se clasifican de acuerdo a los tamaños de los trozos que las componen.
 - Conglomerados: están constituidas por trozos de tamaño grande.
 - Areniscas: poseen granos de tamaño intermedio.
 - Limos y arcillas: poseen trozos muy pequeños.
 - Químicas y orgánicas: se forman a partir de la precipitación de determinados compuestos químicos en soluciones acuosas o bien por acumulación de sustancias de origen orgánico (Imagen 1.2). Un ejemplo de esta roca es la roca caliza, formada en su mayor parte por restos de organismos como corales, algas, etc. Los carbones y petróleos son rocas sedimentarias orgánicas, originadas a partir de la acumulación de restos de materia orgánica.

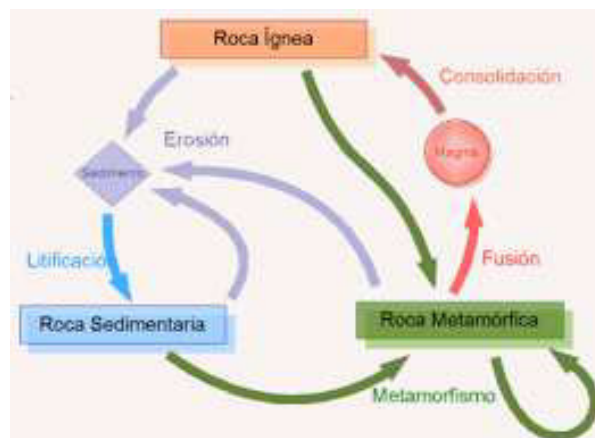


Imagen 1.2: Ciclo de formación de rocas.

2. LA ROCA ORNAMENTAL EN LA HISTORIA.

2.1.- Introducción.

El protagonismo de la piedra natural a lo largo de la evolución histórica de la Humanidad es de tal magnitud que está en la base de todas las culturas clásicas. Las construcciones, erigidas a lo largo de los tiempos, han tenido a la roca como material inmediato de trabajo. Y es que la roca, en la que lentamente se graba la historia, es más duradera que las civilizaciones que las han utilizado y, por ello, se le asocia un sentido de supervivencia eterna. En un sentido más práctico, la piedra ha conseguido la coexistencia de dos constantes que se han mantenido en la Historia del Arte: el gusto por las grandes formas y, en contraste, el cultivo del delicado y profuso ornato.

2.2.- El legado de la era prehistórica.

La piedra natural es, desde el punto de vista de la investigación histórica, el material en que queda registrada la historia del hombre, por ello la historia de la primera y del segundo están íntimamente unidas. El estudio de una es también el de la otra, con una particularidad muy especial, consistente en que, desde los albores de la Humanidad, la piedra ha tenido también un sentido mágico-religioso. La erección de una columna de piedra en las culturas paleolíticas era una forma de simbolizar la relación entre la tierra y el cielo. La columna megalítica, el menhir, es quizás la primera manifestación religiosa de la arquitectura, símbolo de adoración y elemento votivo y sacro proclive a la conexión entre los más allá, y lo terreno. Y es también sobre la roca desnuda donde el hombre primitivo pintaba, muchísimo antes, aquellos animales que lo rodeaban en las escenas de caza, representadas en el arte rupestre.

El salto más importante en la utilización de las rocas ornamentales se produjo mucho antes, hacia el año 8.000 a. de C., en la zona natufiense de Palestina y Siria, y a lo largo de la cordillera de Zagros entre Iraq e Irán. Fueron empleadas simplemente como sencillos materiales de construcción destinados al alzado de cabañas, con una arquitectura basada en

un fundamento circular de piedra y una superestructura de ramas y barro. Por aquel tiempo, también se empezaba a utilizar la piedra para hacer pequeñas esculturas, como las figuras gravitenses de Europa Central. Entre estas es famosa la Venus de Willendorf (Austria).

Posteriormente comenzó la construcción de los primitivos abrigos totalmente en piedra con formas abovedadas, como los que hasta principios de siglo aun construían los pastores en algunas regiones manchegas. Sin embargo, no sería hasta el período comprendido entre los años 5.000 y 3.000 a. de C. cuando las rocas comenzaron a utilizarse como ornamento. Existen multitud de ejemplos como son las tumbas megalíticas de la Península Ibérica, los conos de piedra embebidos en yeso que se utilizaban para decorar las fachadas en Mesopotamia, los revestimientos de caliza del poblado fortificado de Dimini en Grecia, o las tumbas mastaba con paramentos externos de piedra de los faraones de la I Dinastía.

De los Dólmenes, primeros ejemplos de la arquitectura megalítica se conservan muchos y muy diversos ejemplos en España, desde los Tolois de cámara circular que pueden encontrarse en los Millares (Almería) y el de La Aceña en Valencia de Alcántara, o los de corredor o galería, como pueden ser el Dolmen de Sotl, en Huelva, o la Cueva de Menga, en Málaga. También pueden encontrarse menhires como el de Moraña. En todos los casos, eran monumentos funerarios, situados casi siempre en los plenaltos y quizá señalando lindes tribales. Algunos tienen restos de grabados o pinturas, y no pocos tienen piedras de dintel que pesan más de treinta toneladas.

Asociada a esta utilización de la piedra está evidentemente la localización de los puntos de extracción. Dejando de lado las primitivas explotaciones de los horizontes que contenían sílex, hay que remontarse en algunos países, hasta el paleolítico, para encontrar las primeras canteras de roca de las que se tiene conocimiento. Indudablemente, éstas tuvieron su origen cuando el hombre consideró necesario erigir monumentos ciclópeos, bien con fines astronómicos, o simplemente como templos para sus divinidades o lugares para enterrar a sus muertos. Hoy día la mayoría de los sitios están rodeados de una aureola de misterio, magia y supersticiones, pero desde un plano objetivo e independiente del sentido y la finalidad que en el momento de su nacimiento tuvieron todas estas construcciones, la cultura megalítica debió obligar a la apertura de no pocas canteras de las que extraer los bloques, en muchos casos de elevado número de toneladas.

2.3.- Las técnicas de extracción en el antiguo Egipto.

La verdadera explotación de canteras a gran escala tuvo lugar hacia el año 2600 a.C., cuando el rey egipcio Zócer decidió establecer su residencia eterna en Saqqara. El proyecto se atribuye tanto a Zócer como a su visir Imhotep, y para conseguir el abastecimiento de la materia prima necesaria, fue preciso hacer expediciones geológicas que permitieron descubrir toda clase de rocas, coloreadas o veteadas, al gusto de la época, y tales como brechas, pizarras, calizas arenosas, granito, diorita, pórfido, serpentina, basalto, alabastro, etc. Se marca aquí el inicio de una importante etapa de labores de extracción en Egipto, que fue posteriormente continuada por los romanos.

Evidentemente, el sistema de explotación era diferente cuando se trataba de rocas blandas, tales como la caliza o la arenisca, que cuando lo era de rocas duras, generalmente ígneas, como el granito, el basalto, etc.

En las canteras del primer tipo, el frente se mantenía vertical y los bloques se desprendían abriendo una cata de, aproximadamente, medio metro de altura en su parte superior, y de la misma anchura del bloque. A partir de ella, en la que podía trabajar un hombre en cuclillas, se abrían otras catas de entre 10 y 15 cm de anchura en los tres lados del bloque, que llegaban hasta la base. Por último, se instalaban cuñas de madera en la base, protegidas por placas de metal que, al mojarlas, hacían que se desprendiese el bloque. Una vez finalizada esta operación, los bloques eran transportados siguiendo la pendiente del terreno, aunque en no pocos casos se hacía por medio de galerías inclinadas, excavadas previamente hasta el frente.

Cuando se trataba de la extracción de rocas más duras, previamente se procedía a un decapado de la zona meteorizada empleando el fuego. Los derrubios se deshacían mediante cantos y mazas de diorita, eliminándose a continuación. Se han encontrado muchas herramientas de este tipo en las canteras de Asuán; algunas de ellas llegaban a pesar más de cinco kilos. Una vez terminada la preparación de la superficie de la roca, y bien asegurado el cantero de que no existían grietas que pudieran dañar el bloque, se señalaba su contorno.

A base de golpes de maza y cantos de dolerita, se hacían los cortes laterales que tenían la anchura de la herramienta utilizada. Paralelamente, para poder acceder al fondo del bloque y colocar las cuñas de despegue, se hacían túneles o galerías por debajo del mismo,

y se procedía al acuñaamiento desde ellos, con o sin relleno de las galerías según los casos. Esto dependía, entre otros factores, de las dimensiones de la mole.

Los bloques salían de la cantera con sus dimensiones aproximadas, y se procedía a su elaboración in situ, como lo demuestran los numerosos hallazgos de obras abandonadas en proceso de ejecución, presumiblemente por tener deficiencias.

El transporte de bloques de piedra y otros objetos acabados se hacía por medio de trineos arrastrados por bueyes o personas. Para el transporte a larga distancia se utilizaban exclusivamente los barcos y barcazas que navegaban por el Nilo. Según Herodoto, estas naves estaban construidas "de madera de acacia" y cuyo aspecto es muy semejante al loto de Cirene; su lágrima es de goma. Pues de esta acacia cortan maderos como de dos codos, los disponen como ladrillos y construyen la embarcación de este modo; sujetan los maderos de dos codos con largos y gruesos clavos. Construida de este modo la embarcación, en la parte superior tienden las cigas; no usan para nada de costillas y por dentro calafatean las juntas con papiro. Hacen solo un timón que pasa por la quilla. Emplean mástil y velas de papiro... Tienen muchas barcas y algunas cargan muchos miles de talentos.

Las herramientas más empleadas para el acabado eran la maza de madera y el cincel, que permitían esculpir no solo las imágenes y escenas, sino también los símbolos divinos.

2.4.- Grecia y Roma. El lujo de la piedra.

Egipto enseñó a los griegos el uso de la piedra en arquitectura, principalmente en forma de columnas, capiteles y otros tipos de adornos. La piedra empezó a utilizarse muy tarde en Grecia, ya que hasta muy entrado el siglo VII a.C. no se comenzó a labrar la piedra destinada a la construcción de templos.

El mundo mediterráneo de aquella época se caracterizaba por sus navegaciones. En el siglo VII a.C. una flota Fenicia contratada por el faraón egipcio Neco había circunnavegado África. El hombre empezaba a aventurarse en el sentido casi exacto de la palabra, por otros mundos. La exploración subsiguiente incluyó viajes de ida y vuelta a China y Polinesia. La importancia de estos viajes se verá en los intercambios de culturas,

con su consiguiente influencia en la religión, el arte, la ciencia, la filosofía, y en definitiva, en todos los aspectos relacionados con el hombre.

Aleandría era el mayor puerto de mar de Egipto y puede decirse que del Mediterráneo en aquella época. Hoy día no queda nada del paisaje y de las sensaciones de aquella gloriosa ciudad de mármol. Fue fundada por Alejandro Magno y construida por su antigua guardia personal. Alejandro estimuló el respeto por las culturas extrañas y una búsqueda sin prejuicios del conocimiento, animando a sus generales y soldados a que se casaran con mujeres persas e indias.

Aleandría fue construida a una escala suntuosa, porque tenía que ser el centro mundial del comercio, de la cultura y del saber. Estaba adornada con amplias avenidas de treinta metros de ancho, con una arquitectura y una estatuaria elegante. Destacaría la tumba monumental de Alejandro y su enorme y mítico faro, “*Faros*”, una de las siete maravillas del mundo antiguo. Pero la parte más importante de esta gigantesca urbe era su biblioteca, primitivamente un templo que fue reconsagrado al conocimiento. Este lugar fue en su época el cerebro y la gloria de Aleandría y el primer auténtico instituto de investigación de la historia del mundo.

A pesar de que se sabe mucho de las piedras utilizadas en construcción, tanto en Grecia como en Roma, las técnicas utilizadas para su extracción son en este caso desconocidas, pero es evidente que, dada la perfección lograda en las obras arquitectónicas, esculturas, etc., alcanzaron un alto grado de especialización y refinamiento. La documentación más amplia de que se dispone en relación con la roca ornamental procede de la época romana, cuya arquitectura y artes relacionadas con ella son de origen griego. No obstante, Roma alcanzó tales avances técnicos que superó a Grecia en no pocos aspectos, puesto que heredó también de los etruscos mucha de su habilidad en ingeniería civil.

Roma comenzó, a partir del siglo IV a.C. una actividad ingenieril de tal magnitud que dejó su impronta de forma indeleble en la civilización occidental. En Hispania, la Roma imperial dejó vías, puentes, acueductos y ciudades y se exportaron mármoles a otros puntos del imperio.

En la civilización romana quedó más patente quizás, un aspecto que quedaba algo difuso hasta ese momento en el campo de la roca ornamental, su valor en origen y su valor

añadido. Plinio el Viejo, en sus acerbos críticas al lujo de la sociedad romana, llegó a la conclusión de que al artista no se le consideraba más que como un artesano, y que lo que cuenta es el valor de la materia prima utilizada, incrementado, en el caso de este tipo de rocas, por los sustanciales gastos de transporte. Gracias a ellas Roma fue, en opinión de Plinio, la "*octava maravilla del mundo*". La gran importancia dada a los productos de cantera y minería hizo que las explotaciones fueran propiedad del emperador, o en su defecto de los gobernadores, costumbre heredada en la época medieval y, que continua ciertamente en vigor con la propiedad estatal y la explotación mediante concesiones. Como ejemplo, basta citar que el año 1158 fueron promulgadas en Italia por Federico I unas normas en las que se clasificaban las canteras de acuerdo a su valor, e inspiradas en las leyes romanas. Según ellas, las canteras productoras de materias primas de mayor valor eran propiedad de los príncipes, y ningún derecho tenían los terratenientes, a quienes recaía la propiedad de las canteras de materiales de calidad media. Estos, a su vez, pagaban un impuesto a los príncipes, y en el caso de renunciar a la explotación eran entregadas en concesión a unos terceros. En esta categoría se encontraban el mármol y rocas similares. Finalmente, las canteras de materiales tales como la arcilla, arena y grava eran de titularidad privada, cuyos dueños solicitaban al príncipe el permiso de explotación.

En una magnífica tarea recopilatoria, Plinio el viejo dejó descripciones de las diversas clases de rocas, tales como los mármoles, granitos, tobas, volcánicas o no, calizas, etc., encaminadas hacia Roma, así como los lugares de donde procedían, no solo de Italia sino también de los países que circundan el Mediterráneo, incluida la Península Ibérica. A Roma llegaban principalmente:

- El Mármol luculiano, también llamado africano, cuyo nombre se debe a su color oscuro y no a su origen.
- Mármol de Hymettías, procedente de las canteras del monte Hymetto, a 8 Km al SE de Atenas, de color gris azulado con cristales finos.
- Mármol blanco de Paros, isla del grupo meridional de las Cicladas, de color blanco, mate de grano fino y que desprende un olor sulfuroso cuando se golpea con un objeto metálico.
- Mármol de Carrara, cuyas canteras existían ya en los tiempos de los etruscos y de las que se obtenía el llamado "Mármol Lunensis". Los métodos de explotación que se emplean hoy día en Carrara difieren poco de los métodos empleados por los romanos,

salvo en cuanto al uso de los explosivos y herramientas diamantadas se refiere. La gran mayoría de las obras de arte se esculpieron con este material, y un ejemplo se puede encontrar en la columna de Trajano, esculpida con bloques de 80 toneladas.

- Mármol de Quío, también llamado "portasanta" y que era un mármol manchado de rojo, con fondo oscuro, con coloración que va del gris al marrón carne.
- Mármol de Carista, variedad de mármol cipolino gris con vetas onduladas de mica, clorita y talco, que hacen que se pueda exfoliar fácilmente.
- Mármol numídico, o "giallo antico", amarillo antiguo, que se explotaba en Túnez, en los confines de Numidia, cerca de Chemtou (Smithus). Era de color amarillo, y a veces, con vetas rojas.

Por supuesto, esta lista es solo una muestra representativa, y dado el enorme comercio establecido, sería muy difícil confeccionar la relación completa de materiales.

Los mármoles procedentes de África eran desembarcados en el puerto de Ostia, en la desembocadura del Tíber, y desde allí eran llevados a la ciudad de Roma en barcas.

Para la explotación de las canteras utilizaban herramientas de hierro, algunas de ellas con formas análogas a sus predecesoras de piedra, y en su mayoría; similares a las que se usan hoy en día en los países canteros. Tanto en el continente como en los países anexionados, salvo las herramientas, el sistema de trabajo continuó siendo el mismo. Para la extracción de los bloques de piedra, o bien se hacían catas de separación a lo largo de sus lados, o bien se utilizaban las líneas naturales de fractura que se abrían mediante cuñas. El corte se ejecutaba con la ayuda de cuerdas y una mezcla de arena y agua, y a este respecto se daba gran importancia a la arena empleada, llegándose a importarla desde África e incluso desde la India.

No era infrecuente que en el momento en que se intentaba desprender un bloque con gran esfuerzo éste se desmoronase en cientos de trozos totalmente inservibles debido a los efectos internos de la piedra, imposibles de detectar previamente. Una vez extraído el bloque, era deslizado montaña abajo sobre rodillos de madera, y llevado hasta pie de obra, donde se procedía a su desbaste con herramientas similares a las actuales: trinchete, bocarte, maza, cincel, etc. Se advertirá, probablemente no sin cierta sonrisa, que el trinchante, la maza, el pico o punterola, el bocarte, la martellina o martillo, el cincel y hasta la escuadra, eran

instrumentos que, en su versión de piedra, de asta, y más adelante en cobre y bronce, se venían utilizando de modo habitual por los canteros egipcios, griegos y romanos, y han llegado hasta la actualidad.

Las gripias o clavijas para levantar bloques eran empleadas por los romanos como demuestran los huecos en cola de milano de numerosas piezas de sillería. Las mazas de hierro, de 5 a 7 Kg, se utilizaban para romper las partes salientes del bloque, dejando así las caras más regulares; este trabajo se remataba con la punterola, de unos 2 o 3 Kg de peso, con lo que se dejaba el bloque en forma prismática de dimensiones algo superiores a las finales.

Se procedía a continuación al labrado de la piedra mediante una herramienta semejante a la martellina, de unos 3 Kg, con la que se eliminaba la piedra sobrante y se dejaba el bloque, prácticamente, en sus dimensiones definitivas. El acabado se hacía con cincel, con el que se labraban las aristas a escuadra, y con el trinchante, con el que se desbastaban las caras.

En las épocas griega y romana, el principal medio de transporte para las rocas ornamentales era sin lugar a dudas el barco. Cuando era preciso llevar bloque pesados, columnas, etc., se utilizaban carros tirados por bueyes, cuyo número aumentaba proporcionalmente al peso a arrastrar. Pero en no pocas ocasiones fue necesario recurrir a ingeniosos artilugios, como hizo Tesifón para trasladar las columnas del templo de Diana en Efeso.

En cuanto a los barcos especiales a los que se refería Plinio en el párrafo citado al principio, es decir, *las naves lapidariae* que transportaban bloques y columnas de mármol y de otras rocas desde los puntos más lejanos, se han encontrado restos hundidos con cargas que oscilaban entre las 120 y 350 Tn. Se sabe que llegaron a emplearse barcos de hasta 500 Tn, y no hay que olvidar que el barco que se construyó por orden de Calígula para transportar desde Egipto el Obelisco (Imagen 3.1), que hoy está frente a la Iglesia de San Pedro en Roma. Calculando un peso de 322 Tn. para el Obelisco, 174 Tn. para los cuatro bloques que constituían la base y 800 Tn. de Balasto de arena numulítica, necesaria porque el obelisco se llevaba en cubierta, dando un total de 1300 Tn. Este barco hizo un sólo viaje y, finalmente, relleno de hormigón, fue hundido por orden de Claudio para formar parte de su nuevo puerto.



Imagen 2.1: Obelisco frente Iglesia de San Pedro en Roma.

2.5.- La importancia en la península ibérica antigua.

Llegados a este punto es necesario hacer un alto y retroceder para centrar el desarrollo de lo que aquí se expone, ya en la Península Ibérica.

El mundo prehistórico de la población celtíbera de España estuvo sometido a numerosas influencias exteriores ejercidas por los pueblos del Mediterráneo oriental, a los que atraían las riquezas mineras del territorio hispano. En el 1100 a.C., los fenicios fundaron factorías en las costas meridionales de la Península Ibérica. En el siglo VI a.C., mercaderes griegos procedentes de Masilia, establecieron su centro comercial en Ampurias y finalmente los romanos, en su lucha contra los cartagineses, conquistaron el país y lo sometieron a su imperio, introduciendo en él su cultura y su lengua.

La localización exacta de la gran mayoría de las canteras en la antigüedad en la Hispania romana es difícil, debido a la nula información de las fuentes literarias antiguas.

El cristianismo apareció en España al mismo tiempo que en Asia Menor y en Italia. Según la tradición, el Apóstol Santiago el Mayor, hijo de Zebedeo y hermano de San Juan el Evangelista, llegó a España en el año 33 de la era cristiana, predicando y bautizando

durante 6 o 7 años en las poblaciones situadas al borde de las rutas de los ejércitos romanos. De este viaje evangélico la tradición conserva sobre todo el recuerdo del paso del apóstol por Zaragoza en el año 39. Entonces la Virgen María se le apareció sobre una columna, a orillas del Ebro, en el lugar en el que hoy se levanta la majestuosa Iglesia de Nuestra Señora del Pilar. Posteriormente, una vez terminada la labor evangelizadora en España, y ya de regreso con 7 compañeros en Jerusalén, Santiago fue martirizado y decapitado. Sus discípulos cruzaron el mar y bordeando la costa Occidental, transportaron el cuerpo del Apóstol a Galicia. Era en aquel entonces una región menos culturizada que el resto de la Hispania romana, y a la que se suponía que las persecuciones no podían llegar. Allí enterraron el cuerpo del Santo y sus restos permanecieron olvidados hasta que en el año 812 se descubrió su tumba. Esta sepultura se convirtió en el lugar de peregrinación de Santiago de Compostela, y en el siglo XII se erigió sobre la tumba del Apóstol la gran catedral que en la Edad Media sería tan famosa como el santuario edificado sobre la sepultura de Cristo en Jerusalén durante el reinado de Constantino, y como el de San Pedro de Roma construido sobre el sepulcro del Apóstol San Pedro. Excavaciones realizadas en 1878 bajo el coro de la catedral de Santiago evidenciaron que el cuerpo del Santo había recibido sepultura en la cella de un pequeño templo de estilo romano clásico.

En los primeros tiempos de la expansión del cristianismo, Hispania, era una provincia floreciente del Imperio Romano y había alcanzado un alto nivel de civilización y prosperidad económica. Sus centros más importantes se encontraban a orillas del Mediterráneo, así como en ciudades como Híspalis (Sevilla) o Mérida. En España, como en todas partes, las primeras comunidades cristianas estuvieron expuestas a las persecuciones iniciadas por Nerón, y que alcanzaron su paroxismo bajo el gobierno de Diocleciano, para terminar poco tiempo después durante el reinado de Constantino, sucesor de Diocleciano. La victoria de Constantino, defensor del Dios cristiano sobre su coemperador Majencio, en el año 312, en el puente Milvio, sobre la vía Flaminia, tuvo como consecuencia la promulgación, en el año siguiente, del edicto de Milán, por el que se concedía a los cristianos el derecho de practicar libremente su culto en todo el Imperio.

Las víctimas de las persecuciones se convirtieron pronto en mártires venerados y aureolas de leyendas. Se sabe que se construyeron capillas conmemorativas en los lugares donde hallaron la muerte los primeros cristianos.

2.6.- La influencia de las épocas de transición. La aparición del románico.

Con la caída del Imperio Romano, la costa mediterránea fundamentalmente, y, en realidad, toda la Península Ibérica, pasó por un vacío cultural importante. Las grandes invasiones del siglo V trajeron sucesivamente a los suevos, los alanos y los vándalos. Ninguno de estos pueblos dejó en España, durante el corto tiempo en que la ocuparon otra cosa que destrucción, y hasta su expulsión por los visigodos, no dejaron tras ellos ninguna obra cultural ni arquitectónica. No ocurrió lo mismo con los visigodos que aparecieron en Cataluña en el año 415, pero que no dominaron España hasta transcurridas varias generaciones, cuando el rey Eurico logró ocupar la mayor parte de la Península y poner fin a la dominación romana. Se produjo entonces la caída de la civilización hispano-latina, cuya tradición y orden social no se consiguió restablecer hasta los primeros años del siglo VI, quedando en manos de los godos la administración. el cristianismo tuvo un papel importante en esta evolución, ya que los visigodos, arrianos desde el siglo IV, eran cristianos y estaban familiarizados con las leyes del Imperio desde que se les había concedido la ciudadanía romana en sus antiguas residencias del Danubio inferior, antes que iniciaran su emigración hacia el Oeste. En su nueva patria encontraron la alta cultura implantada por los romanos en sus provincias, de la que conservaban los monumentos de las ciudades españolas: circos, teatros, arcos del triunfo, termas y foros. A estos edificios se añadían las construcciones utilitarias como redes de caminos e instalaciones hidráulicas, con embalses y acueductos cuyos restos son aún visibles en Mérida, Segovia y Tarragona.

Y así de entre los siglos V y VII, prácticamente no se encuentran monumentos de interés. Solamente en la Bética y en algunos puntos de Lusitania existen todavía algunas muestras de un estilo arquitectónico que pudiera llamarse hispano-romano, en el que se integran elementos norteafricanos y bizantinos dadas las intensas relaciones de esta región con estos países. Esta, por llamarla de algún modo, corriente cultural, se extendió hacia el centro, a Toledo, en el siglo VII, ciudad a la que el rey Leovigildo había trasladado su residencia, dado que, por su situación, era una fortaleza en tiempo de guerra. De esta época hay una iglesia en San Pedro de Alcántara en Málaga. A Leovigildo le sucedió en el año 586 su hijo Recaredo, deseoso de hacer olvidar la dureza de su padre y reconciliar a las dos mitades de la población separadas por su fanatismo religioso. Ya en este momento, las notables ventajas debidas a la latinización motivaron que la civilización antigua se

perpetuara bajo una forma evolutiva hispano-latina.

Los escritos de los padres de la iglesia de la época visigótica mencionan los edificios donde se celebraban los cultos divinos de la cristiandad unificada. Aunque se elogia largamente la grandeza y el lujo de su decoración, estos monumentos no resisten la comparación con los de Italia y Bizancio, pero no es conveniente generalizar dado el escaso número de santuarios legados por los visigodos a pesar del lujo, tan ensalzado, de las iglesias episcopales. Entre estas iglesias se distinguen las de Orense, Mérida y Córdoba, entre otras, y no hay que olvidar el atrio de la iglesia del Cristo de la Vega en Toledo o la de San Pedro y San Pablo. Los escritos hablan de columnas de mármol, de revestimientos murales y de suelos de mosaico semejantes a los que se ven en Roma y Rávena. No hay ruinas que puedan testimoniar esta magnificencia, ya que las iglesias mencionadas fueron destruidas por los árabes. Pero no hay razón para no dar fe a los escritos, ya que en los edificios y templos en ruinas de la época romana se encontró buen número de columnas de mármol que se volvieron a utilizar.

Otro aspecto que es importante no olvidar es el desarrollo de las comunidades de monjes. En el siglo III se propagó en Egipto y en Siria un movimiento que impulsaba a los monjes aislados a consagrarse al servicio de Dios lejos de las poblaciones. Al principio donde vivieron como anacoretas, pero no tardaron en establecerse en las cercanías de las iglesias, formando comunidades religiosas y viviendo de trabajos manuales y de la caridad ajena. En el curso de los siglos, la vida eremítica se extendió de Occidente hasta África del Norte y España.

En el siglo V, una vez establecido el nuevo orden social bajo el reino visigodo, los obispos reformaron la vida monástica, fundando conventos y velando por la disciplina y la obediencia. La construcción y disposición de los conventos estaba de acuerdo con las reglas de cada uno de los reformadores, así como la arquitectura y decoración interior, siendo en todo caso un reflejo del arte de la época. En la mayoría de ellos, la máxima simplicidad y sencillez en los talleres y habitaciones, o celdas, de los monjes, coexistían con la riqueza ornamental de los santuarios.

2.7.- La invasión árabe.

A fines del siglo VII se inicia la decadencia de la gran época de la dominación visigoda. Los desórdenes, las intrigas palaciegas y la caída de la dinastía ahogaron la libertad de pensamiento, aniquilaron los espíritus y minaron la autoridad real. El islam sólo esperaba una ocasión para invadir España, imponerle la fe de Mahoma y conseguir, bajo la bandera verde del profeta, el dominio de Europa. Ante el avance imparable de las tropas musulmanas, los cristianos solo pudieron conservar los territorios del norte, regiones montañosas, inhóspitas y poco civilizadas, y aunque en las zonas conquistadas al principio no se molestó a los cristianos siguiendo las órdenes de Mahoma, pronto se produjo la expulsión de judíos y cristianos. Los que se negaban a convertirse a la fe musulmana se vieron privados de todos sus bienes e incluso castigados con la muerte. Las iglesias, los conventos y las sinagogas fueron destruidas, y salvo algunas excepciones, desaparecieron todas las muestras de arquitectura visigoda.

El arte musulmán utilizó muchísimo material procedente de edificios hispano-romanos y visigodos. Se aprovechaban cuantos elementos de mármol de culturas anteriores podían ser utilizados, retallando los capiteles y las bases, cortando los fustes cuando fuera necesario, etc. Los juegos de pavimentos de color y las combinaciones de los mármoles con elementos cerámicos son frecuentísimos. Basta decir que, por ejemplo, en la iglesia de Santo Cristo de la Luz, en Toledo, que fue transformada en mezquita, se ven aún algunas columnas de origen visigodo.

Para abastecer la multitud de construcciones emprendidas por los invasores, se abrieron numerosas canteras en Al-Andalus, sobre todo de mármoles de muy variados colores. La más famosa de las canteras abiertas por los árabes y que perdura hasta la actualidad como una gran cuenca, es la de Macael, cuyo origen se remonta a la época comprendida entre los siglos X y XI. Su mármol se empleó en la mejora de la Alcazaba de Almería y en la de la ciudad. En el siglo XIII y siguiente, Macael suministró grandes partidas de mármol para la construcción de la Alhambra de Granada (Imagen 2.2).



Imagen 2.2: Alhambra de Granada.

La despoblación de las regiones invadidas por el islam y sometidas a una constante amenaza, provocó que los cristianos fieles a su fe se refugiasen al Norte del Duero en las provincias todavía libres. Los inmigrantes procedentes de Andalucía introdujeron en estas zonas las formas de arquitectura visigoda de tradición latino-romana, enriquecidas por la influencia del arte islámico, al que habían tenido que servir durante dos siglos. Al ser más adelantados, por la antigüedad de su cultura y por sus conocimientos científicos, que los habitantes del norte de España cuyo progreso cultural había sido muy escaso, constituyeron una aportación sólida y valiosa desde el punto de vista moral, religioso y económico. Pero la fusión entre los dos elementos de población no se logró hasta varias generaciones después, y solo en el siglo IX pudo comenzar la restauración económica y política, ya que aparte de sus vidas, poco más habían podido salvar. Las dificultades de sus condiciones de vida no favorecían el renacimiento de su actividad antigua espiritual, es por ello, que la arquitectura monástica en esta época fue prácticamente inexistente. Pero la España cristiana aún debería sufrir terribles reveses, cuando Almanzor se dedicó a saquear e invadir sistemáticamente los territorios del norte. Los que no conseguían escapar, eran acuchillados o quemados vivos, cuando no eran vendidos como esclavos. En Córdoba fueron fundidas y transformadas en lámparas las campanas del santuario para la Gran Mezquita. Fernando III el santo las recuperó cuando entró en Córdoba y entonces hubieron de transportarlas hasta Santiago cautivos musulmanes.

Solo cuando las victorias del rey Fernando I de Castilla devolvieron la seguridad a

las regiones ribereñas del Duero, se pudo rehacer la vida científica y religiosa. Su hijo, Alfonso VI, tras la conquista de Toledo, consiguió crear una vasta unidad nacional, excepción hecha de Aragón y Cataluña. Reflejo de esta renacida tranquilidad, en la orilla norte del Duero se construyeron plazas fuertes en Zamora, Toro, Tordesillas, Aranda de Duero (Imagen 2.3), San Esteban de Gormaz, Burgo de Osma y Soria. La nueva estabilidad política permitió que se levantaran en las poblaciones fronterizas numerosas iglesias, que en su mayoría adoptaron el estilo románico de la época. La región debe pues su nombre de Castilla a sus castillos y plazas fuertes.



Imagen 2.3: Plaza fuerte Aranda de Duero.

2.8.- El desarrollo de la arquitectura religiosa.

Mientras tanto, en el resto de Europa, nuevas unidades nacionales se disponían a suceder al imperio de Carlomagno. En contraposición, la Iglesia Romana, sin querer saber nada de las numerosas fronteras que se levantan entre los diversos pueblos de Europa, y abierta únicamente a las corrientes espirituales, conserva una unidad que permite el desarrollo de nuevos estilos. Si a ello se añade que los Pirineos no eran una frontera tal como ahora es concebida, en una época en la que se estaba desarrollando el Camino de Santiago, los intercambios religiosos y culturales originaban influencias recíprocas extremadamente

fecundas en los terrenos artístico y económico. Prueba de ello fue la rápida adopción de las nociones románicas, dejándose de lado la tradición visigoda, proceso que se inició en el siglo XI y llegó a su punto culminante en el siglo XIII. El proceso fue más lento en lo que a escultura y otras artes monásticas se refiere.

Poco a poco las funciones de los monasterios aumentaron, se les añadieron escuelas y se les encomendaron misiones como la predicación y la plegaria para con las tropas que luchaban contra el islam, el cuidado de los enfermos, la ayuda a los pobres y la alimentación de la población a partir de sus reservas en las épocas de hambre. La diversidad de sus funciones acarreo la necesidad de un mayor espacio y, prácticamente, a partir del siglo XVI, la vida de los monjes se desarrolló en el claustro, que llegó a ser un elemento fundamental de la arquitectura conventual. Dado que este se prestaba a los fines más diversos fue adoptado por los obispos en la reconstrucción de las catedrales e iglesias abaciales, con objeto de que los miembros de su capítulo llevaran una vida comunitaria, y pensando en que, con posterioridad, se le podrían añadir nuevas salas capitulares y habitaciones. Más tarde el claustro se convirtió en parte integrante de los edificios reservados al culto y se utilizó también para las procesiones.

Así fueron naciendo hasta el siglo XVI, siguiendo la sucesión de estilos, claustros que son verdaderas maravillas arquitectónicas, ricos en obras de arte, con columnas y capiteles bellamente esculpidos, son fuentes, jardines, árboles y la paz de sus galerías alejadas del mundanal ruido. Nadie se acordaba que descendía del antiguo impluvio romano, el cual tenía su origen oriental y una edad de mil años.

Hay que señalar un dato interesante, las iglesias parroquiales segovianas de los siglos XII y XIII (Imagen 2.4), se construyeron con pórticos laterales que la rodean. Su origen hay que buscarlo en la situación política existente durante la Reconquista, ya que los Reyes castellanos se vieron obligados a dar a los habitantes de las zonas liberadas determinados privilegios de autoadministración, encarnados en los magistrados y concejos municipales, que limitaban considerablemente el poder de obispos y condes. Por ello, se construyeron estos pórticos, en los cuales se celebraban reuniones antes de la misa o de las procesiones, en las que se discutían los asuntos del municipio, se firmaban contratos y se llevaban a cabo las transacciones de la jurisdicción pública.



Imagen 2.4: Iglesia segoviana del siglo XII.

Un siglo antes, la ruta Jacobea requería la construcción de caminos, puentes, albergues, iglesias y conventos para canalizar y atender el incesante flujo de peregrinos, y este programa exigía equipos de obreros expertos que España no poseía en aquella época. Gracias a artesanos formados en talleres extranjeros, se edificaron a partir de 1050 la catedral de Jaca, el convento de San Martín de Fromista, la colegiata de San Isidro de León, el convento de Sahagún y finalmente la catedral de Santiago. A estos equipos de canteros extranjeros se unieron, dada la cantidad de obras en ejecución, un sinnúmero de obreros locales y escultores españoles, que dejaron en cuanto se construyó y esculpió un sello de originalidad hispánica a pesar de las influencias extranjeras.

2.9.- El máximo apogeo de la piedra.

En el siglo XIV comenzó una época crítica para las grandes órdenes religiosas. Las escuelas benedictinas que habían instruido a los monjes e incluso se encargaban de la formación de futuros sacerdotes, iban siendo sustituidas por universidades y centros educativos comunales, en las que las autoridades civiles aprendían a administrarse por sí mismas, una vez que la economía de las rentas en especies se había transformado poco a poco en economía monetaria, gracias al desarrollo del comercio y la industria. A pesar de ello, continuó la construcción de grandes catedrales, ahora con el apoyo económico de las

grandes familias, las clases populares y la creciente burguesía apoyaron las edificaciones religiosas, sobre todo las que levantaban las órdenes mendicantes, caracterizadas por la simplicidad, la sobria decoración y la adopción de una estructura generalizada de nave y crucero.

Las universidades desarrollaron bajo la dependencia de los capítulos y de las órdenes religiosas, representantes de las ciencias y de la cultura. De las escuelas adjuntas a las catedrales, la de Palencia fue la primera de España que revistió el carácter de universidad. Los fundadores y promotores de las universidades fueron los reyes, y así, Alfonso VIII llamó a profesores de Francia e Italia, maestros en Teología y artes liberales, que establecieron relaciones culturales con los países vecinos muy necesarias para España. Los capítulos de las Catedrales enviaban a Bolonia y a París a los canónigos para perfeccionar su formación. En Salamanca, donde se profesaba durante el siglo XII en las escuelas de la catedral, se fundó la universidad en 1239. Otras universidades tuvieron el apoyo de los municipios que, en la calma de una paz segura, habían llegado a administrarse por sí mismos. Además de los cursos de teología se daban en ellas clases de hebreo y árabe. De esta forma se desarrolló en España una clase culta, tanto eclesiástica como laica. La afluencia de estudiantes atraídos por la fama de las universidades de Salamanca, Valladolid y Alcalá de Henares determinó la construcción de otros muchos centros universitarios.



Imagen 2.5: Universidad de Palencia.

Cuando a la edad de 56 años el rey Carlos I se retiró al monasterio de Yuste, dejando la corona en manos de su hijo Felipe II, el rey Enrique II de Francia trató de apoderarse de Flandes. El resultado de la contienda, favorable a la corona española, llevó al monarca a cumplir un voto hecho a San Lorenzo, cuya Iglesia había sido cañoneada durante el sitio de San Quintín.

Así decidió construir en el corazón de España un grandioso y soberbio monasterio, cuyos planos encargó a Juan Bautista de Toledo. En 1567 continuó las obras Juan de Herrera. La última piedra de esta majestuosa obra de granito de Guadarrama se colocó en 1584 y la iglesia se consagró en 1586. Con ello, Felipe II cumplió además su propósito de tener un panteón para él, para sus padres y para sus sucesores.

Este mausoleo se encuentra debajo de la capilla mayor de la Iglesia y es de forma octogonal, totalmente revestido en jaspe, pórfidos y mármoles.

A lo largo de la historia, las grandes obras que se realizaban totalmente en piedra, como los acueductos, las catedrales, los grandes edificios civiles y militares o religiosos, se han construido siempre con piedra de canteras próximas, lo cual es lógico, dado el volumen que hay que mover y, conviene observar que también en todos estos casos, la piedra es blanda, dulce y se trabaja con facilidad al salir húmeda de la cantera, endureciendo luego con el tiempo.

Sin embargo, en el caso de portadas y obras de ornamentación es normal el uso de mármoles o de piedras traídas incluso de distancias considerables.

Con la aparición del gótico, que en el caso de España entra desde Francia de la mano de las Órdenes Religiosas, empieza a desplazarse al Románico, caracterizado por su sobriedad y reciedumbre. Con el gótico, la roca se presta a la construcción de maravillosas obras, casi de orfebrería en piedra. En las catedrales góticas la piedra se hace trabajar en los límites de sus posibilidades mecánicas, recogiendo los esfuerzos de los tensores de tensiones en las nervaduras de sus bóvedas, descomponiendo y dirigiendo, en columnas agrupadas, los esfuerzos verticales hacia el suelo.

2.10- La arquitectura real.

Dejando de lado momentáneamente la arquitectura religiosa, es necesario hacer referencia a otro campo de aplicación de la roca natural, que tradicionalmente ha sido la construcción de palacios, y dentro de éstos destacan los levantados por las Casas Reales españolas. No hay que olvidar tampoco todos aquellos construidos por la nobleza, profusamente decorados con mármoles de muy distintas procedencias. Sería una ardua y larga tarea siquiera intentar enumerar, al igual que sucede con las iglesias y conventos todos ellos, aunque solo se pretendiera restringir la lista de los más importantes.

En la construcción de palacios reales existe en la Historia de España un momento clave, que se tradujo en una ruptura con la sobriedad y reciedumbre anteriores para imitar la suntuosidad de los palacios franceses. El siglo XVII, con la entrada de los Borbones en la corona española, fue el punto de inflexión, Felipe V ocupó el austero y antiguo palacio de Madrid, pero comenzó las obras del Palacio de la Granja.

El Palacio del Pardo fue siempre preferido por los monarcas castellanos para sus cacerías, como lo atestiguan las crónicas de los siglos XIV y XV y lo demuestran las actuales, y sufrió continuas mejoras a lo largo de los años. El Palacio de la Quinta de el Pardo (Imagen 2.6), es un sorprendente muestrario de cuanto pudo hacerse con el papel pintado, tenido como material imprescindible en la decoración. Este material se puso de moda en la decoración de interiores a mediados del siglo XVIII, sobre todo en los tiempos de Fernando VII.



Imagen 2.6: El Palacio de la Quinta – El Pardo.

No por modesto hay que olvidar el Palacio de Riofrío. Un detalle importante lo constituye la fachada coronada por un entablamento de piedra coronada, sobre la cual corre la balaustrada. Merece citar la escalera que alberga en su interior, una de las más completas de los palacios reales españoles.

2.11.- Decadencia en favor de la funcionalidad.

La arquitectura clásica, en la medida de las limitaciones de la piedra como material esencial de la construcción, estableció unos órdenes en los que la piedra fue la que aportó, a través de sus posibilidades, la complementariedad a la composición o estética para determinar unas leyes de proporciones en las que ha discurrido la formación y cultura arquitectónica de las generaciones habidas hasta el presente siglo.

La arquitectura contemporánea utiliza la piedra de forma muy diversa. Con granito de Guadarrama se construyeron los Nuevos Ministerios, con aparejo de grandes sillares a la manera renacentista. De esta época son también las grandes obras de piedra del Valle de los Caídos y de la Universidad Laboral de Gijón. Aproximadamente por los mismos años se realiza también el Santuario de Aránzazu, obra muy polémica en su tiempo.

La piedra ha adquirido y mantiene un valor semántico de prestigio, imagen y tradición, que la constituyen en una referencia obligada de la arquitectura y el urbanismo, como valor de representatividad.

La irrupción en la arquitectura del hierro, el hormigón y más tardíamente los plásticos, que venían a cubrir unas necesidades que, por sus propias limitaciones difícilmente podía cubrir la piedra por sí sola, dio un giro espectacular a los tradicionales métodos de construcción.

A pesar del cambio sufrido por los propios valores de la sociedad, y por consiguiente de sus demandas, la piedra mantuvo un nivel significativo de protagonismo en los períodos siguientes a la revolución industrial, a pesar de que en algunas tendencias fue sistemáticamente olvidada y considerada como un elemento no progresivo. Se construía con hormigón y hierro, pero la piedra seguía siendo, y así lo es hoy en día, una referencia

insoslayable de la arquitectura culta y de la construcción de prestigio.

Basta ver que la piedra se ha seguido utilizando en los tres dominios fundamentales de la arquitectura; la arquitectura propiamente dicha, el Urbanismo y el Interiorismo y, además, en un aspecto común, ocasionalmente, a los específicos de la arquitectura, la escultura integrada en la misma. Sin embargo, a partir de un momento determinado, la ruptura de la tradición constructiva supuso un giro total en el uso que a la roca se le daba en la construcción. Los nuevos materiales estructurales han desplazado a la piedra a representar, en la construcción, un papel ornamental esencialmente, y con ello la han sometido en parte, a una tiranía más sutil fruto de las modas y del marketing.

A pesar de ello, la roca sigue ahí. En primer lugar, en la rehabilitación y recuperación de la ciudad histórica, de la que constituye un material esencial e insustituible. En segundo lugar, las vanguardias arquitectónicas han recuperado el valor de la expresión de la piedra, y en concreto de su belleza, algo que ningún otro material puede aportar. Con la piedra va aparejado de este concepto de construcción perenne que no aportan los otros materiales, esa sensación y ese compromiso de que se construya para siempre.

2.12.- Siglo XXI.

Los grandes subsectores en que habitualmente se divide la minería, dejando al margen el sector energético, han evolucionado de forma bastante diferente a lo largo del último decenio.

La minería metálica, siempre sujeta a las fluctuaciones de precios, ha pasado de ser casi anecdótica en los primeros años del siglo XXI, con la paralización de todas las explotaciones de la Faja Pirítica y el cierre definitivo de minas tan emblemáticas como Almadén (mercurio, 2001) y Reocín (plomo y cinc, 2003), a tener una fuerte presencia, con importante producción de cobre, níquel, plomo, cinc y valores crecientes de oro, plata, wolframio y estaño. Así, de un valor de producción a pie de mina de 91 M€, en 2002, el dato estimado para 2015 es de 867 M€ (un incremento de casi el 900%).

Las rocas y minerales industriales, por su parte, han mantenido cifras crecientes de producción y valor hasta 2007, para iniciarse entonces la crisis generalizada y, con ella, la caída en picado del sector de la construcción, lo que ha conllevado el cierre de numerosas

explotaciones y reducciones de más del 50 % en las producciones de todas las materias primas relacionadas con la edificación y la obra pública. A pie de cantera, el valor conjunto de la producción de rocas y minerales ha pasado de los 2531 M€ en 2002, a los 1994 M€ estimados en 2015 (un descenso del 21%). De este total, las rocas ornamentales han supuesto en 2015 alrededor de los 387 M€.

España es el séptimo productor mundial de rocas ornamentales, siendo China e India los mayores productores en la actualidad. Entre otros minerales industriales, España es líder en producción de celestina (2º productor mundial, después de China), sulfato sódico (único productor europeo), fluorita (2º productor europeo), yeso (principal productor europeo y 5º productor mundial), feldespato (con las mayores reservas de Europa de arenas feldespáticas) sepiolita (70% de las reservas mundiales) y arcillas rojas (destacado productor mundial). Una buena parte de la producción RMI está relacionada con la industria de la construcción.

2.13.- Arte funerario. El recuerdo en piedra.

Para terminar este capítulo es necesario hacer referencia a la utilización de la roca natural en el arte funerario. El tratamiento de la muerte y de los muertos es uno de los parámetros a los que se suele recurrir a la hora de calibrar o valorar una cultura, y no es menos cierto que los ritos funerarios han sido, y siguen siendo hoy en día, el hilo conductor por el que se penetra en una civilización antigua, y, a partir de ellos, se ha llegado a su conocimiento. Es el caso concreto de una ciudad como Madrid y sus alrededores, todo lo que se ha descubierto sobre su prehistoria se debe más a las excavaciones industriales en las terrazas de los ríos Manzanares y Jarama, para la extracción de áridos y arenas, que a otra actividad.

El rito funerario, surgido de orígenes míticos y de diversas creencias, ha ido evolucionando a través de los siglos: rituales de agonía, ritos de muerte, ritos de dolor, condolencia, etc., al mismo tiempo que tiene una significación para seguir la supervivencia del difunto en un "más allá" y en un destino "post mortem". Los ritos funerarios son ritos de vida para tranquilizar y desculpabilizar; tienen una función apaciguadora para los vivos, así como una función de unión en el seno de la colectividad.

El cementerio es un fenómeno social de *"recuerdo"* y aunque lógicamente los cementerios deben evolucionar, la sepultura responde al deseo general de la población, por lo que ésta demanda una conservación de los actuales cementerios, así como la construcción de otros nuevos que respondan a las características de los antiguos.

En la época cristiana primitiva se enterraba ya a los ricos a las iglesias, mientras que los pobres lo eran en campos fuera de las poblaciones. Para conseguir enterramiento dentro de la población, en parroquia o convento, había que pagar los cuantiosos derechos clericales de sepultura. Cuanto más importantes eran las personas más cerca del altar mayor eran enterradas. Las menos importantes pasaban al atrio, y unos y otros, salvo los privilegiados y fundadores de las capillas, pasaban al cabo de uno años a las fosas comunes, que se situaban fuera de las poblaciones, en el mismo sitio donde se enterraban los pobres.

Hoy en día, los conventos, como los de la Encarnación, Las Recoletas y tantos otros que aún quedan en Madrid, guardan todos ellos en sus interiores los cementerios de la orden, a pesar de la prohibición hecha en 1.787 por Carlos III para impedir esta costumbre, que había creado muchos conflictos. Se creía por aquel entonces que esta era la causa de las epidemias que temporalmente asolaban Madrid. La orden real establecía la obligatoriedad de que los ayuntamientos construyeran los cementerios fuera de las ciudades. Pero fue José Bonaparte quien dio el empuje decisivo a esta materia, mandando construir tres grandes cementerios que se añadían a los ya existentes en la capital, aunque sólo se comenzó uno, el denominado general del Sur. El anterior, denominado General del Norte y construido bajo el reinado de Carlos IV, tuvo como arquitecto a Villanueva. Tiene al frente de su entrada una cruz de granito de grandes dimensiones que perteneció a un calvario. El ingreso tiene en el centro un arco de medio punto que da paso al primer patio en el que se levanta una capilla considerada como la mejor que poseen los cementerios. Consta de un crucero coronado por un cascarón y la mesa del altar es de mármoles. La fachada de esta capilla es un pórtico de granito compuesto de dos columnas y dos pilastras aisladas, y sobre unas y otras se apoya un cornisamento con triglifos, y corona todo un frontispicio triangular.

Fernando VII volvió a permitir el entierro de las monjas profesas en sus respectivos conventos, lo cual aún hoy se practica, aunque potenció la construcción de cementerios exteriores por medio de las cofradías sacramentales, cuya existencia se debía a la recolección de fondos para pagar las sepulturas de sus cofrades y para el culto. Construyeron hasta diez

cementerios en Madrid, de los cuales cinco fueron cerrados en 1.884 y el resto perduran hasta la actualidad. Uno de estos últimos, la Sacramental de San Luis fue diseñado inspirándose en los célebres cementerios del P. Lachaise de París y de la Chartreuse (Cartuja) de Burdeos. Cerca de la entrada principal está el sepulcro de D. Joaquín de Fondesviela, que consiste en un cuerpo de piedra caliza que sirve de pedestal sobre el que se sienta un segundo cuerpo empelechado de mármol. Hay delante una fama con el busto del difunto en una medalla que sostiene con la mano izquierda y señala con la derecha. Está acompañado por un niño lloroso y todas las figuras incluidos trofeos, escudos de armas y otros ornamentos, están hechos de mármol blanco. Este cementerio, que más tarde fue conocido como el "*Campo de las Calaveras*", es considerado como uno de los conjuntos artísticos más grandiosos.

Lo hasta aquí expuesto solo son ejemplos, unas simples muestras, de los, en no pocos casos, espléndidos conjuntos monumentales levantados para acoger el eterno descanso de los que allí reposan. Pero también reina en los cementerios algo muy importante: la majestuosidad de la sencillez.

2.14.- Situación de canteras y épocas de explotación.

La situación de canteras y épocas de explotación se expresan en la Tabla 2.1:

LOCALIDAD		EXPLOTACIÓN, ÉPOCA Y DESTINO
ALICANTE		
	Novelda La Romana	Caliza gris y mármol en el siglo XIX.
ALMERÍA		
	Gador	Caliza gris y mármol en el siglo XIX.
	Macaël	Explotación y exportación de mármol hacia Roma y expedición a otros puntos de la Península Ibérica. Hay también

		referencias de explotación en la dominación árabe y hasta el siglo XIX.
	Alhama	Yeso para construcción.
	Sierra de las Estancias Berja	Canteras explotadas durante el siglo XIX. No consta el material.
BADAJOS		
	Alconera	Mármoles negros y grises explotados desde la época romana con destino a Itálica. Referencias hasta el siglo XIX.
	Carija	Explotación de mármol para la ciudad de Mérida en la época romana. En el siglo XIX explotación de caliza para cal.
	Zafra	Explotación de brechas rojas desde la época romana con destino a la Bética y Lusitania. Explotación de mármoles en el siglo XVIII.
BARCELONA		
	Rellinars	Explotación de caliza gris en los s.I y II.
	Badalona	Explotación de caliza en s.I y II para edificios religiosos.
	Montjuic	Explotación de arenisca con destinos variados en los s.I y II.
	Garraf	Explotación de caliza gris en los s.I y II.
BURGOS		
	Miraveche	Canteras de la época romana. No consta el producto.

	Hontoria de la Cantera	Caliza para escultura y relieves.
	Peñaranda de Duero	Caliza para arquitectura.
CÁDIZ		
	Jerez	Explotaciones varias de piedras de mampostería desde el siglo XIX.
	San Fernando	
	Medina Sidonia	
CASTELLÓN		
	Ulldecona	Explotaciones no especificadas durante los siglos I y II.
	Chert	
	Segorbe	Caliza entre los siglos I y II.
CÓRDOBA		
	Cabra	Mármol rojo y amarillo desde la época romana. Durante el s. XVII, extracción de mármol para la restauración de la iglesia de Santa Maria la Blanca de Sevilla.
	Sierra de los Pedroches	Explotación de “Sal y Pez” en el s.XIX
	Lucena	Explotaciones de mármol durante el siglo XIX.
	Priego	
	Rute	
	Iznajar	
	Luque	Caliza marrón en la época romana.
CUENCA		
	Boniche	Explotaciones sin especificar durante el

	Hoya del Machado Hiniesta	siglo XVIII.
	Alcocer Sacedón	Explotación de pedernales en el siglo XVIII.
	Belmonte	Explotación de Espejuelo en el siglo XVIII.
	Cuenca	Varios yacimientos de mármol en la época romana.
GRANADA		
	Atarfe	Mármol en el siglo XVIII para arquitectura.
	Guadix	Mármol verde en el siglo XVIII para la iglesia de San Francisco el Grande en Madrid.
	Sierra Nevada Alfacar	Serpentina verde en el siglo XIX.
	Lanjarón Loja	Explotaciones de mármoles en el siglo XIX.
	Sierra de Huejar	Serpentina verde en el siglo XIX para la iglesia de la Salesas en Madrid.
	Escuzar	Piedra franca en el siglo XIX.
	Sierra Elvira	Mármol explotado en época romana para edificación.

	Torlosa Valdenoches	Sillares en el siglo XVIII.
GUIPÚZCOA		
	Motrico	Explotaciones durante la época romana, aunque no se especifica material.
HUELVA		
	Almonaster la Real Aroche	Granitos en la época romana destinados a la arquitectura en Munigua.
HUESCA		
	Canfranc	Canteras de la época romana.
JAÉN		
	Andújar	Jaspes y alabastros para diverso uso en el siglo XVIII.
LA CORUÑA		
	El Ferrol	Canteras de la época romana.
LUGO		
	Incio	Mármol blanco en la época romana para la elaboración de relieves y placas de revestimiento.
	Monforte de Lemos	Granitos durante el s.XVIII para uso local.
MADRID		
	Guadalix de la Sierra	Rocas sin especificar durante el siglo XVII.
	Diversos puntos sin catalogar	Diversas explotaciones romanas.
MÁLAGA		

	Arroyo de la Miel	Mármoles varios en el siglo XVIII.
	Antequera	Mármol negro en la época romana empleado en edificación. Existen referencias de explotación en el siglo XIX.
	Mijas	Explotación de mármol para escultura en época romana. Explotación de falsa ágata en el siglo XIX destinada a la iglesia de las Salesas en Madrid.
	Alhaurín de la Torre	Mármoles blancos en el siglo XIX.
	Alhaurín el Grande	Mármol encarnado en el siglo XIX.
	Coín	Explotaciones romanas de mármol dedicadas a esculturas.
MURCIA		
	Campo de Cartagena	Referencias de explotación de mármol gris en los siglos I y II.
NAVARRA		
	Erasun	Explotación de mármol y granito.
	Valle de Baztan	Explotación sin especificar en los siglos I y II.
	Amandoz	Explotación sin especificar en los siglos I y II.
PONTEVEDRA		
	Porriño	Granito en la época romana destinado a uso local.

SANTANDER		
	Escobedo Los Llares	Explotaciones romanas sin especificar los productos.
SEGOVIA		
	La Lastrilla	Material para cantería y escultores en el siglo XVIII. Producción de arenisca, grafito y mármol.
	Castro La Granja Torreadrada Segovia La Higuera Arcones Pajares Rebollo Fuente el Césped Bernardos	Material para cantería y escultores en el siglo XVIII. Producción de arenisca, grafito y mármol.
SEVILLA		
	Firris Tirtosa Constantina Gerena Cantillana Morón Estepa	Explotación de mármol en el siglo XII. Brecha calcárea en época romana Rocas varias en el siglo XIX Granitos en el siglo XIX destinados a edificación y obras varias Explotaciones varias en el siglo XIX Explotaciones varias en el siglo XIX Dolomía blanca en época romana y siglo XIX.

	Almaden de la Plata	Explotación de mármol en época romana para Itálica y Munigua. Elaboración de losas para la ciudad de Sevilla en el siglo XIX.
	Gilena	Dolomía blanca en época romana.
	Villanueva	Granitos en época romana destinados a la arquitectura en Munigua.
	El Pedroso	
SORIA		
	Espejón	Explotación de caliza amarilla y roja en los siglos I y II para revestimientos de edificios y fustes de columnas.
TARRAGONA		
	El Medol	Caliza blanca en los siglos I y II.
	Torre de los Escipiones	Caliza rojiza en los siglos I y II.
	Santa Tecla	Caliza amarillenta en los siglos I y II.
	Llisos	Caliza gris en los siglos I y II.
	Sabinosa	Lumaquela amarilla en la época romana para soportes epigráficos.
	Tortosa	Broccatello para exportación a roma en los siglos I y II. Brecha y cal en el siglo XIX.
TOLEDO		
	Colmenar de la Oreja	Explotaciones sin especificar en el siglo XVIII.
	Talavera de la Reina	Mármol en el siglo XVIII.
	Consuegra	Sin catalogar (siglo XVIII).

VALENCIA		
	Sagunto	Caliza gris en los siglos I y III para la edificación de la ciudad.
	Moncada	Caliza gris en los siglos I y III para la edificación de la ciudad de Sagunto.
	Buñol	Mármol de fondo anaranjado o rojo en época romana para su envío a Roma y a Itálica.
	Sierra de Mondúber	Caliza amarilla y roja en época romana para edificación de templos.
VIZCAYA		
	Ereño	Explotaciones en época romana. Sin datos.
	Marquina	Explotaciones romanas de caliza negra.
	Mañoria	Explotaciones en época romana. Sin datos.
ZAMORA		
	Toro	Hasta el siglo XVIII material para cantería y escultura.

Tabla 2.1: La situación de canteras y épocas de explotación

3.- POTENCIAL GEOLÓGICO DE GRANITOS EN ESPAÑA.

3.1.- Introducción.

El granito se define, desde un punto de vista geológico, como una roca plutónica de grano grueso constituida esencialmente por cuarzo, feldespato y mica (Glossary of Geology, 1987), es ésta una definición científica que no comprende más que a algunos granitos ornamentales, los que se podrían denominar granitos *sensu stricto*.

El término genérico Granito Ornamental incluye un amplio espectro de rocas ígneas, tanto plutónicas como volcánicas (e, incluso, en ocasiones metamórficas) de composición mineralógica muy variada.

Dentro de este conjunto, las rocas plutónicas son las más representadas (90%) en las variedades comerciales de granitos ornamentales, mientras que las volcánicas (2%), filonianas (3%) y metamórficas (5%) constituyen, tan sólo, casos especiales de muy pequeña relevancia. El hecho de que ciertas rocas metamórficas (gneises) también se consideren como Granitos Ornamentales se debe a que, dada su semejante mineralogía, adquieren propiedades estéticas y mecánicas comparables.

A lo largo de la historia del hombre, determinados materiales cuyo uso responde no sólo a criterios de gusto, sino de utilidad y, más aún, de economía, constituyen el elemento material soporte de la creación artística. Para las grandes civilizaciones de la Antigüedad, Egipto y Mesopotamia, el granito y afines constituían materiales muy apreciados. En el antiguo Egipto, el granito se obtenía en las canteras próximas a Assuan y era fácilmente transportado por el Nilo aprovechando las épocas de inundación. La muestra más antigua de la estatuaria monumental egipcia es una cabeza de granito de Userkaf (2.470 a.C.) (Imagen 31), tres veces del tamaño natural. En Mesopotamia, la escultura neosumeria (hacia 2.000 a.C.) ofrece importantes ejemplos de tallas, y, en Babilonia, el célebre código de Hamurabi (1.790-1.750 a.C.) es un enorme bloque vertical de diorita semejante a una columna.



Imagen 3.1: Cabeza de granito de Userkaf (2470 a.C)

En la cultura occidental, el uso del granito adquiere enorme relevancia en las grandes obras de utilidad pública que los Romanos realizaron en la Península Ibérica. Posteriormente, al Románico corresponderán edificios tan representativos como la Catedral de Santiago (Imagen 3.2). o el ábside de la Catedral de Ávila, contruidos con sillares graníticos.



Imagen 3.2: Catedral de Santiago.

Durante el siglo XVI, numerosos edificios civiles presentan sus fachadas y patios interiores contruidos con este material; sin embargo, es en la arquitectura religiosa donde se encuentra el edificio más significativo y una de las obras arquitectónicas más relevantes: el Monasterio de San Lorenzo del Escorial (Imagen 3.3).



Imagen 3.3: Monasterio de San Lorenzo del Escorial.

En el siglo XIX, con la revolución industrial y las innovaciones materiales y técnicas constructivas, el granito pasa a obras civiles y de carácter privado, generalmente funerario (panteones familiares). Comienza su utilización sobre todo como roca ornamental y no como material constructivo.

Durante el siglo XX, y directamente relacionado con el gran desarrollo tecnológico experimentado, se produce el cambio definitivo en la utilización del granito, adquiriendo cada vez más importancia su uso como piedra ornamental, en recubrimientos y decoración, más que como material de mampostería. Actualmente, y debido al amplio abanico de acabados que ofrece la industria elaboradora, el granito muestra una amplia variedad de posibilidades en la construcción, siendo utilizado en los edificios más modernos de todo el mundo y contribuyendo no sólo al embellecimiento, sino al aumento de calidad de estos.

La industria del granito en España es una de las más importantes del mundo, tanto

en producción como en empleo, habiendo experimentado un fuerte impulso en los últimos años. Esto es debido a que la industria ofrece no sólo una gran variedad de granitos en cuanto a colores, texturas, etc., sino también una rigurosa política de calidad, tanto de la roca en bruto como del producto elaborado.

El sector de los granitos españoles cuenta en la actualidad con la infraestructura necesaria, en cuanto a reservas, producción de bloques y tecnología de transformación, como para acometer, por sí sola, la ejecución de cualquier obra por grande que ésta sea, tal como lo corrobora la presencia de los granitos españoles en todos los mercados internacionales y en multitud de edificios de las más importantes ciudades del mundo.

Hoy en día, en España existen más de 270 empresas extractoras de granito y más del doble de empresas transformadoras, siendo las zonas productoras más importantes las de Galicia, Extremadura, y Madrid-Ávila.

3.2.- Tipos de Granitos Ornamentales

Tal como se comentó anteriormente, se pueden definir diferentes grupos de granitos ornamentales en función de su composición mineralógica.

- Granitos y Granodioritas (Imagen 3.4): son, con gran diferencia, el grupo más abundante dentro de los granitos ornamentales. Y esto es debido no sólo a su abundancia en la corteza terrestre, sino también a las buenas condiciones de afloramiento que permiten desarrollar grandes explotaciones que poseen importantes reservas del material. Son muy variados en cuanto a color y textura, aunque, en general, suelen presentar tipos de grano grueso y porfídicos. Aunque existen numerosos tipos comercializados, el más característico y famoso es el Rosa Porriño. Este granito biotítico rosa, localizado en el término municipal de Porriño-Mos (Pontevedra), presenta generalmente una gran uniformidad en su tonalidad y admite cualquier tipo de acabado de su superficie sin que se aprecien alteraciones ni pérdida de pulido. Es el más universal de todos los granitos españoles y se encuentra colocado en revestimientos de edificios de los cinco continentes.



Imagen 3.4: Granodiorita.

- Tonalitas, monzonitas y cuarzodioritas: grupo bien representado entre los granitos ornamentales, ya que, por su composición mineralógica, constituida en cierta proporción por minerales ferromagnesianos de color oscuro, dan lugar a variedades de tonalidades negras de gran interés. Suelen ser rocas compactas, de tamaño de grano variable y fracturación irregular. Ejemplos comerciales son el Negro Esmeralda y el Negro Galicia, localizados ambos en el término municipal de Campolameiro (Pontevedra), el Negro Extremadura, situado en el término municipal de Burguillos del Cerro (Badajoz), el Azul Extremadura, en Salvatierra de Santiago (Cáceres), el Negro Santaolalla, de Santa Olalla (Huelva) y el Tezal (Imagen 3.5), situado en el término municipal de El Pedroso (Sevilla). Suelen tener buenos comportamientos para el pulido y se pueden utilizar tanto en elementos internos como externos, obteniéndose, en general, en forma de bloques de tamaño grande a mediano en frentes de cantera de gran longitud.

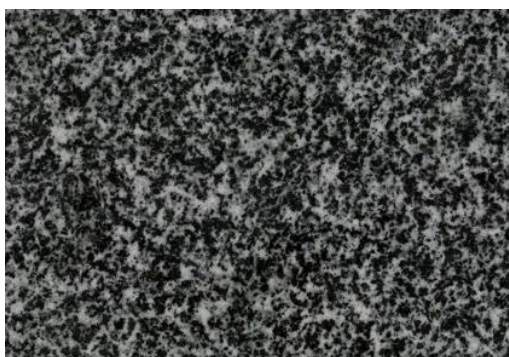


Imagen 3.5: Negro Tezal, El Pedroso.

- Dioritas (Imagen 3.6) y Gabros: es un grupo de rocas también bastante característico, denominado genéricamente como granitos negros, en relación al color de los

minerales que lo constituyen y con un conjunto de aplicaciones muy específico (mercado funerario). Se encuentran situados básicamente en Extremadura (Macizos de Burguillos del Cerro y Valencia del Ventoso). Dentro de este tipo se pueden encuadrar las siguientes variedades comerciales: Negro Badajoz y Negro Ochoavo (Burguillos del Cerro, Badajoz), Negro La Roca (La Roca de la Sierra, Badajoz), Negro Villar (Villar del Rey, Badajoz) y Ochoavo Especial (Valencia del Ventoso, Badajoz). En general, los frentes de explotación de canteras son de longitud media, con fracturación irregular y pudiendo extraerse bloques de tamaño mediano a grande. Pueden ser utilizados tanto en interiores como en exteriores.



Imagen 3.6: Diorita.

- Otros: este grupo está constituido por un cajón de sastre en el que pueden incluir variedades alejadas del carácter plutónico de los granitos sensu stricto. Así, se pueden encontrar rocas basálticas (variedad Verde Joya en el Cerro de Andévalo, Huelva), gneises (variedades Rojo Guadajira y Azul Guadajira en Villalba de los Barros, Badajoz) y pegmáticas (variedad Azul Arán en Les, Lérida). Como es lógico, dada su variabilidad, no se pueden establecer pautas generales para su comportamiento.

3.3.- Factores que controlan la explotabilidad de los Granitos Ornamentales

De acuerdo con el destino que se le pretende dar a estas rocas industriales, un granito ornamental, al igual que un mármol y, en cierta medida, una pizarra, tiene que cumplir unas

características de yacimiento que permitan su explotación en bloques dimensionados. Centrándose en las rocas plutónicas, como las más representativas de los granitos ornamentales, aun siendo materiales muy abundantes en la corteza terrestre, los factores geológicos que afectan a su canterabilidad, viabilidad de ser explotadas en bloques, producen una gran discriminación de litologías y áreas de afloramiento. A grandes rasgos, estos factores geológicos que controlan la explotabilidad de un yacimiento se pueden reducir en:

- Factores litológicos, o intrínsecos a la roca, tales como composición, textura y tamaño de grano, grado de microfisuración inter e intergranular. Por otro lado, presencia y frecuencia de enclaves, diferenciaciones magmáticas, alteraciones hidrotermales, etc. Como ejemplo más evidente de la influencia de estos factores, es de señalar la relación entre la forma, reservas, rendimientos y/o alteraciones según la naturaleza ácida, intermedia o básica de la roca. También el mayor o menor contenido en cuarzo influye en la posible aplicación de técnicas específicas de corte en cantera o en fases de aserrado, corte y pulido, por su grado de abrasividad.
- Factores estructurales o todos aquellos que, superpuestos a los condicionantes litológicos primarios, intervienen en la configuración espacial del yacimiento. Se pueden clasificar en:
 - Estructuras magmáticas primarias, orientaciones de flujo, bandeados, layering, etc., o cuerpos planares tales como diques, vetas, filones, etc.
 - Estructuras tectónicas, foliación, esquistosidad, tectofábricas en general, cizallas, bandas miloníticas, estriaciones, así como la red de diaclasado, ésta última de gran interés sobre el resto de las estructuras.

La frecuencia, persistencia, relaciones angulares, etc., de estas estructuras van a controlar desde el mismo rendimiento o explotabilidad de un yacimiento hasta las direcciones preferentes de corte o diseño y planificación de las labores de extracción.

3.4.-Yacimientos de Granitos Ornamentales en España.

3.4.1.- Encuadre general.

El Macizo Ibérico constituye la mayor extensión de rocas pre-pérmicas dentro de la Península Ibérica, representando el conjunto más occidental dentro de los dominios Hercínicos europeos y, a su vez, el mayor en cuanto a la ausencia de retrabajamiento durante los eventos tectonotermales alpinos. Lotze (1945) dividió dicho macizo en seis zonas (Imagen 3.7) basándose en sus características estratigráficas, estructurales y/o metamórficas. Esta subdivisión fue, posteriormente, modificada ligeramente con la publicación del mapa tectónico de la Península Ibérica (Julivert et. al., 1972), los cuales combinaron las zonas 3 y 4 de Lotze en una única zona, denominada Centro-Ibérica, de tal forma que la configuración final incluye cinco grandes zonas: Cantábrica, Asturoccidental-Leonesa, Centro-Ibérica, Ossa-Morena y Sudportuguesa, siendo esta configuración la más aceptada, en general, por la comunidad científica. Es, en este Macizo Ibérico, donde se localizan los principales tipos de granitos ornamentales comercializados.



Imagen 3.7: División de macizo rocoso según Lotze.

De acuerdo con el número de explotaciones y su importancia, se pueden definir tres grandes zonas productoras en la Península Ibérica: Galicia, Zona Central y Extremadura. A continuación, se pasará revista a las principales características geológicas que presentan los materiales explotados en dichas zonas, reservándose un último apartado para comentar, muy brevemente algunos aspectos relativos a aquellas explotaciones no incluidas en dichas zonas.

3.4.2.- Galicia.

Galicia es, por tradición y producción, la primera región española en la obtención de granitos para uso ornamental. En la actualidad, existen 54 canteras en la provincia. La comarca de Vigo tiene una de las canteras más importantes del mundo con una capacidad anual de 600.000 toneladas del popular granito rosa.

China, India, Brasil, Italia y España (Galicia) lideran la producción mundial de granito por ese orden y el 75% del producto que se exporta desde nuestro país, procede de la comunidad gallega con Porriño a la cabeza (Imagen 3.8).



Imagen 3.8: Granito Rosa Porriño.

En esta línea, los granitos gallegos se encuentran posicionados en los cinco continentes, siendo el Rosa Porriño, como se comentó anteriormente, el buque insignia de las empresas gallegas.

Desde el punto de vista geológico, las zonas donde se localizan las explotaciones de granito para uso ornamental se encuentran situadas en la denominada Zona Centro-Ibérica y

más en concreto, dentro de la llamada subzona de Galicia media Tras-os-Montes (Ribero, 1974).

Las diferentes fases de deformación acompañadas de metamorfismo y plutonismo, son las que han originado los numerosos plutones graníticos que sirven como base para la explotación de los granitos ornamentales.

Las variedades explotadas, en cuanto a sus características geológicas, corresponden, básicamente, al grupo de los granitos y granodioritas, de grano grueso, más o menos porfídicas, y de tonalidades rosadas, grises a blanquecinas. Puntualmente también se comercializan algunas monzonitas de color negro.

Dada la dispersión geográfica de las diferentes explotaciones, éstas se pueden agrupar basándose en las provincias donde se localizan. Así, se hablará de las canteras de la Coruña, Lugo, Orense y Pontevedra.

Provincia de La Coruña.

En la Coruña existe, actualmente, sólo una explotación, situada en el término municipal de Santa Eugenia de Ribeira. Extrae el denominado Astral Red, granito de color rosáceo, de grano medio y fractura irregular, que presenta zonas rellenas de minerales verdosos. Los frentes de explotación de la cantera son de pequeña longitud, extrayéndose bloques de mediano tamaño.

Provincia de Lugo.

En la provincia de Lugo existen hasta un total de siete variedades de granitos ornamentales comercializados. La mayor parte de ellos se localizan al este y oeste de la ciudad de Lugo, en diferentes afloramientos plutónicos que bordean la citada ciudad, separados entre sí por una banda de metasedimentos de edad precámbrica. En general se trata de granitos bastante semejantes entre sí, diferenciándose básicamente por la coloraciones y textura.

En el término municipal de Labrada, en el límite con la provincia de La Coruña, se obtiene el llamado Gris Nevada, roca de color gris claro, de grano fino a medio. Se puede

clasificar como un granito biotítico en el que aparecen cristales de moscovita orientados en dos direcciones. Los frentes de cantera son de gran longitud, permitiendo la extracción de bloques de gran tamaño.

En Aday se explota la variedad Marrón Estrella, roca de color amarronado grisáceo, granuda, alto grado de homogeneidad y fracturación irregular. Se puede clasificar como un granito biotítico, siendo los feldespatos los que les confieren el tono general amarronado. Los frentes de cantera son de gran longitud y permiten la extracción de bloques de tamaño medio y grande. Una característica importante es el gran brillo que adquiere tras el pulido, sin que se observen alteraciones o pérdidas de color.

En el término municipal de Parga, al oeste de Lugo y dentro del Macizo de Friol-Parga, existen diversas canteras de las que se extraen dos variedades muy similares entre sí, Parga y San Román. Se trata de granitos de dos micas, de colores grisáceos claros y con tamaño de grano medio y textura muy homogénea. Los frentes de canteras son de longitud media, aunque se pueden extraer bloques de gran tamaño.

En el mismo término municipal de Lugo se explota la variedad denominada Perla Kaxigal (Imagen 3.9), de granito biotítico de color gris claro, de tamaño de grano medio a grueso, aunque en ocasiones, los feldespatos pueden alcanzar tamaños superiores a los 5 milímetros. Es una roca compacta y de irregular fractura, siendo los frentes de cantera de gran longitud, pero localmente con procesos de alteración meteórica. Los bloques extraídos suelen ser de gran tamaño.



Imagen 3.9: Granito Perla Kaxigal.

Por último, en los términos municipales de Benade y Mosteiro se obtienen dos

variedades comerciales, Rosa Delta y Rosa Lugo, respectivamente, de apariencia similar. Ambos son granitos adamellíticos de color rosáceo, tamaño de grano medio a grueso y gran abundancia de feldespatos, que algunas veces llegan a alcanzar los 4 milímetros. Los frentes de explotación son de gran longitud, con escasas facturaciones y obteniéndose bloques de grandes dimensiones. Las reservas, en ambos casos, se pueden considerar abundantes.

Provincia de Orense.

En la provincia de Orense se comercializan seis tipos diferentes de granitos ornamentales, todos ellos localizados en explotaciones situadas a lo largo de una banda de afloramientos plutónicos que, con dirección norte-sur y una longitud aproximada de cien km, cubren la zona central de la citada provincia.

En el término municipal de Melón, límite con la provincia de Pontevedra, se obtienen las variedades Silvestre Claro (Imagen 3.10) y Silvestre Moreno (Imagen 3.11). Ambas son variedades parecidas, tratándose de granitos de dos micas con textura equigranular, grano fino a medio, y riqueza en cuarzo, plagioclasa, moscovita y biotita. La primera de ellas presenta un color gris muy claro, mientras que la segunda destaca por su tonalidad amarilla intensa. Los frentes de cantera son de gran longitud, con grandes reservas, sin muestras de alteraciones y de los que se pueden extraer bloques de grandes dimensiones.



Imagen 3.10: Silvestre Claro.



Imagen 3.11: Silvestre Moreno.

En las proximidades de la frontera con Portugal se extrae el Rosavel, granodiorita porfídica con los feldespatos rosas y zonados y de tamaño de grano grueso, pudiendo alcanzar, los feldespatos, tamaños superiores a sesenta milímetros. Los frentes de

explotación de las canteras son de longitud grande, sin fracturaciones, pero con algunas alteraciones puntuales y ciertas variaciones de tonalidad. Se pueden extraer bloques de gran tamaño y las reservas naturales son de tipo medio. El gran tamaño de los granos representa, a veces, un problema a la hora del pulido, ya que éstos pueden saltar ocasionalmente.

Cerca de la anterior explotación, a unos veinte kilómetros, se encuentra la localidad de Muíños, donde se extrae la variedad denominada Blanco Muíños. Se trata también de una granodiorita, porfidoblástica, de color gris claro y grano medio, compacta y de fractura irregular. Presenta biotita y fenocristales de feldespato bien desarrollados. Los frentes de extracción son de gran longitud, con escasa fracturación y pueden extraerse bloques de grandes dimensiones.

En las proximidades de la ciudad de Orense, en Toen-Mugares, se comercializa el denominado Gris Morrazo, granito de color gris claro, compacto, de grano medio y fractura irregular. Aunque se extraen bloques de gran tamaño, los frentes de cantera se encuentran fracturados y alternados. Sus reservas pueden considerarse grandes.

Para finalizar dentro de la provincia de Orense, en el término municipal de Corneira se explota el llamado Grissal, granito adamellítico de color gris claro y tamaño de grano medio, aunque ocasionalmente las plagioclasas alcanzan los cinco milímetros.

Comparativamente con los anteriores, se trata de explotaciones de menor entidad, con frentes de cantera de longitud pequeña, alteraciones esporádicas y escasa fracturación. No obstante, se obtienen bloques de grandes dimensiones, existiendo amplias reservas de éste.

Provincia de Pontevedra.

Al igual que sucedía en Orense, los afloramientos plutónicos donde se localizan las explotaciones de granitos ornamentales de la provincia de Pontevedra se sitúan en una banda de dirección aproximada norte-sur, banda que llega a introducirse ampliamente en Portugal. En realidad, se trata de dos conjuntos, el de Orense y el de Pontevedra, semiparalelos y separados geológicamente por el denominado Dominio esquistoso de Galicia Tras-os-Montes (Arenas et. al.,1988). La mayor parte de las explotaciones se localizan en la zona central de la citada banda.

En el batolito de Caldas de Reyes-Villagarcía de Arosa, en las proximidades de Meis, se explota el denominado Gris Perla, roca de color gris claro, de grano grueso a medio, con megacristales de feldespatos, compacta y de fractura irregular. Se pueden clasificar como una granodiorita porfídica. Las explotaciones de canteras presentan frentes de gran longitud, poco fracturados, aunque con alguna alteración. Se pueden extraer bloques de gran tamaño y sus reservas naturales pueden considerarse como medias tirando a grandes.

Relativamente cercanas a la anterior explotación se encuentran las canteras de Campolameiro, donde se extraen las variedades Negro Esmeralda y Negro Galicia. Ambas, muy similares, son rocas de color negro, heterogranulares, con un alto grado de homogeneidad, tamaño de grano fino a medio (ligeramente mayor el Negro Galicia) y fracturación irregular. Se clasifican como monzonitas y contienen una gran cantidad de minerales ferromagnesianos, que les confieren el tono negro. Sus frentes de cantera son de gran longitud, pudiéndose extraer bloques de tamaño grande y mediano. También se caracterizan por el gran brillo que adquieren después del pulimento.

Más al sur, en la ribera norte de la Ría de Vigo, se encuentran las explotaciones de Cangas de Morrazo, donde se comercializa la variedad Pedra Vella de Cangas. Es un granito de dos micas de color gris oscuro, de grano medio y fractura irregular. Sus minerales principales son cuarzo, microclina, albita, biotita y moscovita. Los frentes de cantera son pequeños y están irregularmente fracturados. Los bloques extraídos son de tamaño medio y las reservas naturales pueden considerarse como medias.

Por último, y ya en las cercanías de la frontera con Portugal, se sitúan las explotaciones más importantes de Galicia y España y una de las más importantes del mundo. Están situadas, en conjunto, en el Macizo de Porriño y se extrae, entre otras variedades, el mundialmente famoso Rosa de Porriño. Su explotación se lleva a cabo en el denominado Monte de Atios, donde en una superficie de alrededor de diez kilómetros cuadrados hay más de cincuenta canteras. El Rosa Porriño es un granito adamellítico tardío, biotítico, de tamaño de grano medio a grueso, compacto y de fractura irregular. Los feldespatos son los que le confieren la tonalidad rosácea. Tiene, generalmente, una gran uniformidad en su tonalidad y admite cualquier tipo de acabado en su superficie sin que se aprecien alteraciones ni pérdida de pulido. Los frentes de explotación de las canteras son de gran longitud, con escasa fracturación y pueden extraerse bloques de dimensiones grandes.

En el mismo Plutón de Porriño, más hacia el este, se comercializa la variedad Dante, similar al Rosa Porriño, aunque de grano más grueso. Presenta gran variabilidad, tanto en el tamaño de grano como en su composición mineralógica, así como abundantes diferenciados aplo-pegmatíticos, lo que hace problemático su aprovechamiento. Los frentes de canteras presentan longitudes medias, sin fracturaciones, de los cuales pueden conseguirse bloques de gran tamaño.

Con cierto parecido al anterior, en la localidad de Mondáriz se explota la variedad Gris Mondáriz, roca de color gris, con ligera tonalidad rosácea, de grano medio a grueso, compacta y de fractura irregular. Se clasifica granodiorita y sus reservas pueden considerarse como grandes. Los frentes de cantera son de longitud media y se pueden extraer bloques de gran tamaño. En la misma localidad se comercializa el Rosa Mondáriz (Imagen 3.12), roca de color gris rosáceo y con tamaño de grano grueso. Los frentes de explotación de las canteras son de pequeña longitud, escasamente fracturados y se extraen bloques de gran tamaño, siendo sus reservas abundantes.



Imagen 3.12: Granito gris Mondáriz.

En Tuy se comercializa el Albero, roca muy utilizada en la construcción tradicional gallega. Se trata de una roca de color gris claro, compacta, de grano medio, de irregular fractura y muy rica en moscovita. Se clasifica como un granito de dos micas y sus reservas naturales pueden considerarse como medias. En general, no es muy interesante como roca ornamental, ya que al tratarse de granitos de dos micas sincinemáticos, están muy deformados y fracturados, alterándose con facilidad los sulfuros que contienen y en

ocasiones también las biotitas. Los frentes de canteras son de pequeña longitud y, debido a la citada fracturación, los bloques extraídos son de pequeño a medio tamaño.

Por último, hay que hacer constar que se han hecho en Galicia numerosos intentos para comercializar las rocas básicas y ultrabásicas existentes, con resultados, hasta el momento, poco satisfactorios, debido a su alto grado de fracturación, abundancia de sulfuros que se oxidan rápidamente, malas condiciones de los afloramientos, etc.

4.4.3.- Zona Central.

Esta zona se encuadra dentro de la denominada por Lotze, Zona Centro-Ibérica, que incluye áreas con metamorfismo de alto grado e importantes intrusiones graníticas. Existen numerosas canteras, aunque las dificultades derivadas del alto grado de fracturación y de sus frecuentes gabarros hace que su explotación sea muy intermitente y, frecuentemente, condicionada por razones de mercado. El Batolito del Sistema Central, donde se localizan las citadas explotaciones, presenta, desde el punto de vista litológico, pocas variedades composicionales, por lo que su monotonía genera una baja variabilidad en cuanto a la tipología de los granitos ornamentales explotados, predominando, con mucho, los granitos y granodioritas porfídicos. Se puede asegurar que, dado al poco interés comercial que presentan por su tonalidad grisácea y por su tamaño de grano grueso, muchas de las explotaciones no existirían si no fuese por su cercanía a un gran centro de consumo como es la ciudad de Madrid.

De acuerdo con la localización de las explotaciones, éstas se pueden agrupar en tres zonas definidas en función de la provincia en la que se encuentran: Madrid, Segovia y Ávila.

En la provincia de Madrid destacan las explotaciones situadas en el Macizo de la Cabrera, en los términos municipales de Valdemanco y Lozoyuela. Son, en general, rocas graníticas muy leucocráticas, con yacimientos de gran producción donde se extraen bloques de grandes medidas en frentes de explotación de gran longitud y con destacadas reservas. En ellas se obtienen las variedades denominadas Blanco Aurora, Blanco Becorral, Blanco Castilla, Crema Cabrera y Crema Champán. Estas variedades presentan tonos blanquecinos a grises, en ocasiones con trasfondos rosáceos (Blanco Aurora, Blanco Castilla, Crema Cabrera y Crema Champán), de grano fino a medio, y se pueden clasificar como

granodioritas biotíticas. Alejada geográficamente de las anteriores, aunque con características composicionales y estructurales semejantes, se encuentra la explotación de Cadalso de los Vidrios, donde se comercializa el llamado Blanco Cristal (Imagen 3.13), granodiorita biotítica de textura heterogranular, grano fino y color gris claro.



Imagen 3.13: Granito Blanco Cristal.

En la provincia de Segovia se localizan, en la actualidad, tres explotaciones, localizadas en los términos municipales de El Espinar, Villacastín y La Lastrilla. En el primero de ellos se comercializa el denominado Gris Espinar, granito de grano fino a medio, color gris claro y con un moteado de biotitas oscuras. En Villacastín, en una facies semejante, se explota el Gris Villa, granodiorita de color gris claro, con biotita negra de grano medio y con frecuente presencia de plagioclasas que pueden alcanzar los tres milímetros. En la tercera localidad, en las proximidades de Segovia, se comercializa la variedad Gris Segovia, tratándose de una granodiorita con bastante biotita y de color gris oscuro y grano fino. En general, en las tres explotaciones se obtienen bloques de tamaño medio a partir de frentes de pequeña a media longitud.

Por último, en la provincia de Ávila se sitúan dos explotaciones, una en las proximidades del Barco de Ávila (Junciana) y la otra en la zona Cardenosa-Mingorría. En la primera de ellas se obtiene el denominado Azul Noche, variedad ciertamente diferente al resto de las explotadas en la Zona Central. Se trata de un monzogranito porfídico de color gris oscuro y tonos azulados, compacto y de grano medio a grueso, destacando la presencia de fenocristales de feldespato. Los frentes de explotación admiten un gran desarrollo, al ser un yacimiento masivo y con escaso diaclasado. Se pueden obtener bloques de gran tamaño y las reservas se pueden considerar como muy elevadas.

En la segunda localidad se encuentra la variedad de Gris Ávila, granito leucocrático,

de grano medio a grueso de dos micas, presentando, en ocasiones, una orientación muy marcada de los minerales constituyentes. Se caracteriza por la textura heterogranular, hipidiomorfa, estando formado por feldespato potásico, cuarzo, plagioclasa, biotita y moscovita.

Los frentes de explotación presentan longitudes pequeñas, aunque se extraen bloques de medidas grandes y sin fisuraciones u otros defectos, por lo que su comportamiento mecánico y capacidad de pulido son buenos, pudiéndose citar, como una de sus características principales, su bajo peligro de alteración.

4.4.4.- Extremadura.

Extremadura es la zona más importante en cuanto al número de tipos de granitos comercializados, pues aproximadamente el 45% de las variedades comerciales se explotan en esta zona. Existe una gran diversidad litológica, estando representadas desde las rocas básicas y ultrabásicas (gabros, dioritas, etc.); rocas intermedias (tonalitas y cuarzodioritas) hasta los materiales ácidos (granitos y granodioritas). A esta diversidad litológica hay que sumarle la gran gama de texturas y el amplio espectro de coloraciones que manifiestan sus componentes minerales.

De acuerdo con la subdivisión los granitos de Extremadura se localizan a caballo entre dos grandes unidades: la Zona Centro-Ibérica y la Zona Ossa-Morena. El límite entre dichas zonas viene marcado por el batolito de los Pedroches, una compleja intrusión ígnea de más de 200 km de largo por unos 15 km de anchura, aunque otros autores asignan el carácter separador a otros accidentes, como son la Falla de Azuaga o la zona de cizalla del eje Badajoz-Córdoba, así como la llamada Falla de Villahorta o de Hornachos (Junta de Extremadura, 1992). En conjunto, el límite separador no está perfectamente definido, existiendo aún cierta controversia.

Según esta configuración geoestructural de la región extremeña, se puede establecer una subdivisión en cuatro bandas o grandes alineaciones. Estas son de norte a sur:

I.- Sierra de Gata-Sistema central-Navalmoral.

II.- Batolito de Extremadura Central.

III.- Alburquerque-Mérida-La Serena.

IV.- Olivenza-Zafra-Monesterio.

Las bandas I y II se localizan en la provincia de Cáceres y la III y IV en la de Badajoz, estando las bandas I y II situadas en la zona Centro-Ibérica, la III en el límite de ésta con la zona Ossa-Morena y la IV en la propia zona de Ossa-Morena.

Sierra de Gata-Sistema Central-Navalmoral.

Esta zona se encuentra situada al norte de la provincia de Cáceres, entre la frontera portuguesa y los límites de las provincias de Ávila y Toledo. Aunque se localizan hasta tres grandes conjuntos graníticos, sólo uno (el sector más meridional del Sistema Central) tiene interés desde el punto de vista de su explotación para granitos ornamentales. El resto presenta unas características estructurales y físicas que desaconsejan su utilización.

Existen diversas explotaciones antiguas con pequeñas labores, pero sólo dos se encuentran en la actualidad activas: Piornal y Cuacos de Yuste. En Piornal se explota el denominado Granito Pinto (Imagen 3.14). Esta roca, un granito biotítico megaporfídico en el que destacan grandes cristales blancos de feldespato potásico, de hasta 7 cm, sobre una matriz muy oscura por la abundante biotita, caracteriza todos los afloramientos de éste área. La homogeneidad, en cuanto a la frecuencia y tamaño de los megacristales, es buena, siendo evidente una grosera orientación según el eje mayor de los mismos. Los escasos enclaves de naturaleza migmatita, y pequeñas vetas de cuarzo o pegmatita, no influyen de forma determinante en la calidad ornamental de la roca. Los frentes de cantera son de gran longitud y con fracturación prácticamente nula, por lo que se extraen bloques de medidas grandes.

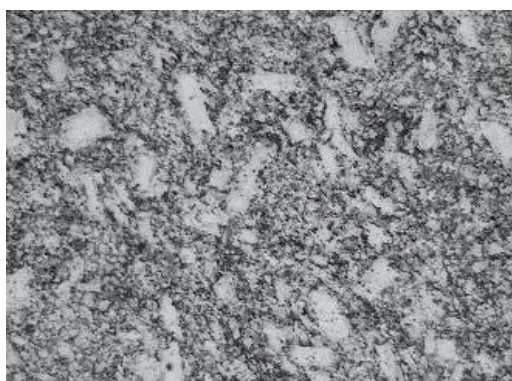


Imagen 3.14: Granito Pinto.

Batolito de Extremadura Central.

Esta área comprende una gran variedad de explotaciones de granitos ornamentales, con hasta nueve variedades distintas en fase de explotación actual. Desde el punto de vista composicional, se pueden definir tres grupos de plutones: plutones con granitoides de afinidad cuarzodiorítica, plutones con granitos de feldespato alcalino y plutones de granitoides de feldespato calcoalcalino de tendencia alcalina. Aunque existen pequeñas explotaciones y áreas de interés en los dos primeros grupos, es el tercero el que concentra las zonas de mayor producción y, en particular, los afloramientos relacionados con el Plutón de cabeza de Araya.

Este plutón presenta una morfología alargada en la dirección NO-SE y se caracteriza por la distribución zonada de las facies que lo conforman. Fisiográficamente destaca su relieve suave, la penillanura cacereña, sobre el que se elevan algunos cerros residuales. Existen dos áreas con explotaciones activas: Garrovillas y Malpartida de Cáceres. En el primer lugar se extraen dos variedades, Gran Beige y Gran Gris. En ambos casos los frentes de explotación de las canteras son de gran longitud y no presentan fracturación, siendo los bloques extraídos de grandes dimensiones.

El Gran Beige se caracteriza por ser una roca porfídica. De grano muy grueso, con grandes cristales de feldespato potásico de color beige, sobre una matriz formada básicamente, por cuarzo, de tono gris oscuro, biotita y cordierita. Textural y estructuralmente es muy homogénea, mientras que la coloración de los feldespatos es algo variable, condicionada por procesos magmáticos y meteóricos. Se puede observar una grosera orientación de los cristales de feldespato, lo que condiciona las diferentes de corte en cantera. En cuanto a los componentes mineralógicos alterables, no son importantes ya que sólo aparecen sulfuros (pirita) concentrados en las fracturas. Este granito no contiene, prácticamente, enclaves y, rara vez, presenta concentraciones minerales (diferenciaciones pegmatoides, nódulos cordieríticos, etc.) que disminuyan su homogeneidad composicional o textural.

Por su parte el Gran Gris es una roca muy semejante, litológicamente, a la anterior, pero con una disposición textural algo más orientada. Se caracteriza por sus grandes cristales blancoazulados de feldespato potásico de hasta 8 cm, el cuarzo de tono grisáceo, biotita y abundantes prismas verde oscuro de cordierita. En cuanto al color gris azulado, por encima

de los ocho metros de cota los feldespatos suelen tomar un color algo más crema, lo que oscurece el tono general de la roca, hecho éste originado por procesos de alteración meteórica superficial.

En cuanto al área de Malpartida de Cáceres, se explota el denominado Albero (Imagen 3.15), muy semejante a otras rocas de la Comarca de Tuy (Pontevedra). Se trata de granitos de dos micas, preferentemente moscovíticos, de grano grueso y de colores muy claros. Muy homogéneos en cuanto a su composición y textura, son fácilmente alterables por meteorización, dando lugar a variadas coloraciones, desde blancos a amarillos rojizos.



Imagen 3.15: Granito Albero.

Otras variedades explotadas en esta zona del Batolito de Extremadura Central son, por ejemplo, el Blanco Extremadura, el Azul Extremadura, el Azul Platino o el Blanco de Cáceres. Los frentes de explotación no suelen ser muy grandes, obteniéndose, generalmente bloques de tamaño mediano.

Alburquerque – Mérida – La Serena.

Esta gran alineación magmática cruza en dirección NO-SE la región de la provincia de Badajoz. Tienen interés, desde el punto de vista de su explotación como granitos ornamentales, los siguientes cuerpos intrusivos: batolito de Nisa-Alburquerque, Plutón de Villar del Rey, Macizo de Quintana (Batolito de los Pedroches).

El Batolito de Nisa-Alburquerque está constituido litológicamente, como facies principal, por granitos de dos micas porfídicos, pasando gradualmente a granitos de dos micas de grano medio a fino. También, aunque minoritarios, aparecen granitos moscovíticos

y aplíticos. La principal facies de interés comercial son los granitos porfídicos de dos micas y cordieríticos. Son rocas de colores claros, grises a cremas, de grano muy grueso, porfiroides, y con buen desarrollo de los fenocristales de feldespato. Pueden presentar diferenciaciones magmáticas, tales como acumulación de cristales, bandeadas cuarzofeldespáticos y alineaciones de micas negras. A este grupo pertenecen las variedades Dorado Perla y Perla. En el primer tipo, los frentes de explotación son de grandes dimensiones, extrayéndose bloques de gran tamaño. Por el contrario, la variedad perla se obtiene en frentes de pequeña longitud y con bloques de diversos tamaños, siendo las reservas muy reducidas.

El Plutón de Villar del Rey es un cuerpo intrusivo que está compuesto litológicamente por granitos megaporfídicos biotíticos-anfibólicos. Destaca el extraordinario desarrollo de los feldespatos, de característico color rosa, estando la matriz, de grano grueso y aspecto también porfiroide, compuesta esencialmente por plagioclasa, cuarzo y minerales oscuros (biotita y hornblenda). Los enclaves o gabarros son de tamaño entre 5 y 20 cm y, dada su escasa frecuencia, no afectan a la calidad global de la roca. La variedad comercial que se explota es la denominada Rosa Villar, obteniéndose a partir de frentes de explotación de longitud variable que generan bloques de tamaño medio a grande.

En esta zona también se comercializan gabros de grano fino a medio y con colores verde oscuro a negro, como por ejemplo el Negro villar o el Negro la Roca.

El Macizo de La Haba es un macizo granítico constituido litológicamente por granitos megaporfídicos cordieríticos como facies principal. Se caracterizan por el gran tamaño que alcanzan los cristales de feldespato potásico, de color blanquecino, de hasta 15 cm, así como por los prismas de cordierita negra de 1 a 3 cm de largo. En conjunto se trata de una roca de color claro, gris a crema, y de grano muy grueso, siendo la homogeneidad muy importante, únicamente afectada en algunas ocasiones por acumulaciones de cristales, alineaciones de micas y bandeados cuarzofeldespáticos. Los enclaves son escasos y de tamaño no superior a 15 cm. Con estas características se explotan el denominado Gris Campanario y, más alejado textural y composicionalmente, el Blanco Valle. Este último se explota en una cantera en su etapa inicial, siendo el tamaño de los bloques extraídos mediano.

El Macizo de Quintana de la Serena, en el centro-este de la provincia de Badajoz, constituye uno de los principales núcleos, a escala nacional, dedicados a la extracción de granitos ornamentales. Se enmarca geológicamente en el extremo noroccidental del Batolito

de los Pedroches y se caracteriza, litológicamente, por granodioritas biotíticas de grano medio a fino y, en menor frecuencia, diotitoides y pórfidos dioríticos.

La facies principal, las granodioritas de grano medio, son rocas de colores grises, rara vez de tonos rosados, y textura granuda equigranular. Materiales muy homogéneos, tanto composicional como texturalmente, los únicos elementos anómalos son los pequeños enclaves (gabarros) microgranudos y de color gris oscuro. Su frecuencia y distribución está condicionada por la posición del afloramiento respecto a las zonas de borde y en relación con pasillos de mayor densidad de enclaves controlados por fracturas precoces de emplazamiento, a través de las cuales se incorporan materiales encajantes, pizarras y esquistos. Esporádicamente, también aparecen bandeados que modifican la tonalidad gris de la roca y alineaciones de biotita. Las variedades comerciales que se extraen, bien conocidas tanto nacional como internacionalmente, son el Gris Quintana (Imagen 3.16) y el Gris Rosado.



Imagen 3.16: Granito Gris Quintana.

El primero de ellos se obtiene a partir de canteras de gran longitud, poco fracturadas y de las que se extraen bloques de gran tamaño. En cuanto al Gris Rosado, no existen grandes reservas y los bloques extraídos suelen ser de mediano tamaño.

Una variedad de esta composición general, la granodiorita biotítica piroxénica, se explota como Negro Fantasía.

Olivenza – Zafra – Monesterio.

Esta zona se extiende íntegramente en la provincia de Badajoz, desde la frontera portuguesa hasta el límite con las provincias de Huelva y Sevilla. Existen diversos cuerpos intrusivos en los que se desarrollan explotaciones para la obtención de granitos ornamentales. Cuatro de ellos destacan sobre los demás: Macizo del Aceuchal, Macizo de Táliga-Higuera de Vargas, Macizo de Barcarrota y Macizos de Burguillos del Cerro y Valencia del Ventoso.

El macizo del Aceuchal es el único macizo relacionado con la zona de cizalla Badajoz-Córdoba del que se extraen granitos para su uso ornamental. Se caracteriza litológicamente por ortogneis anfibólicos de textura ocelar. Es una roca de grano grueso, con foliación penetrativa marcada por orientación de la biotita y el anfíbol, así como por estiramiento de cristales de feldespato potásico. La homogeneidad de estos materiales puede considerarse buena, aunque siempre teniendo en cuenta su estructura anisótropa. En cuanto a la coloración, viene definida por el tono más o menos rosado de los feldespatos y la matriz oscura que los rodea. Ejemplo de estos materiales es la variedad denominada Rojo Guadajira. Su explotación se lleva a cabo en frentes de explotación de gran longitud y poco fracturados, por lo que se pueden extraer bloques de gran tamaño, existiendo, a su vez, grandes reservas de este material.

El Macizo de Táliga-Higuera de Vargas es el de mayor superficie aflorante de cuantos se localizan en el núcleo del anticlinorio de Olivenza-Monesterio. Muy homogéneo composicionalmente, viene definido por granitos biotíticos porfídicos, de color gris azulado, grano grueso con fenocristales de feldespato potásico de hasta siete centímetros y cuarzo azulado. Su estructura viene determinada por la foliación, con orientación de la biotita y de los grandes cristales de feldespato. Los enclaves, relativamente frecuentes, son de tamaño centimétrico, biotítico micrograndes y, otros, metamórficos, reorientados según la foliación. Ejemplos en explotación de estos granitos son las variedades Azul Claro y Azul Océano. En ambos casos, los frentes de explotación son de longitud media y con alguna fracturaciones y alteraciones, por lo que los bloques a extraer suelen ser de tamaño mediano.

En esa misma zona se explota también, aunque con características petrológicas diferentes, el denominado Negro Nevado, granodiorita biotítica con hornblenda que se

caracteriza por ser una roca de color gris oscuro con abundantes feldespatos blancos y elementos negros que le dan el color oscuro al pulido (mica negra y anfíboles).

El Macizo de Barcarrota está constituido por un cuerpo de forma subcircular de unos diez kilómetros de diámetro estructurado como un complejo anular, en el que rocas básicas se sitúan en el centro, rodeadas por una estrecha banda de granitos alcalinos. La variedad que se explota es la denominada Azul Barcarrota, granito adamellítico biotítico de color grisáceo, con tintes azulados, y de grano medio y fractura irregular. Los frentes de explotación de las canteras son de mediana longitud y con ligeras fracturaciones, de las que pueden obtenerse bloques de tamaño medio a grande.

Los Macizos de Burguillos del Cerro y Valencia del Ventoso son dos grandes macizos estructuralmente muy semejantes, que se caracterizan litológicamente por una asociación de rocas básicas (gabros y dioritas) e intermedias (tonalitas y granodioritas), con presencia minoritaria de pequeños cuerpos ácidos. Las rocas dioríticas constituyen la principal facies sobre la que se desarrolla la actividad extractiva, estando constituidas, básicamente, por rocas grises oscuras con marcada orientación de sus minerales y que generalmente presentan problemas en su homogeneidad, provocados por la frecuencia de enclaves y diferenciados leucocráticos. Ejemplos de variedades comerciales son el Negro Badajoz, Negro Extremadura, Negro Ocho y Ocho Especial (Imagen 3.17). En general, estas variedades se explotan a partir de frentes de cantera de mediana longitud, de las que pueden extraerse bloques de gran tamaño.

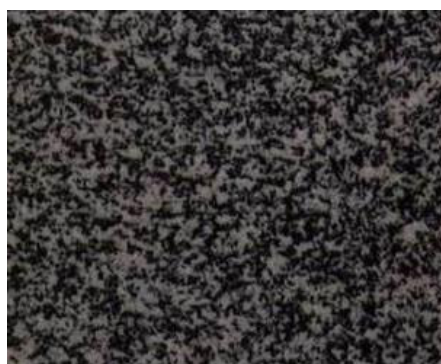


Imagen 3.17: Granito Negro Ocho Especial

Por último y también representados en ambos macizos, se localizan una serie de diques ácidos formados por granitos de grano fino a medio, a veces, aplíticos, generalmente

de tonos rosados. En ocasiones se explotan, dando lugar, por ejemplo, a la variedad denominada Rosa Extremadura, en este caso asociada al Macizo de Burguillos del Cerro.

En esta zona también se explotan los gneises, en concreto en el término municipal de Villalba de los Barros, donde se extrae la variedad Azul Guadajira, gneis de color entre rosado y azulado, de grano medio y con fenocristales de feldespatos. Los frentes de explotación son de gran longitud y poco fracturados, extrayéndose bloques de tamaño medio y grande.

4.4.5.-Otras zonas.

Si bien la mayor parte de las variedades de granitos ornamentales comercializados en España se sitúan en las zonas anteriormente descritas, existe un pequeño número de canteras diseminadas a lo largo de la Península que explotan tipos de rocas muy diferentes y cuya mención resulta necesaria, especialmente desde el punto de vista de completar la visión general de esta actividad extractiva.

En la provincia de Lérida se extrae el denominado Azul Arán (Imagen 3.18). Es una pegmatita de color azul claro, generalmente de grano grueso, con algunas pequeñas zonas de grano fino, cuyos principales minerales son el cuarzo, el feldespato potásico, la plagioclasa y la mica, siendo el feldespato potásico el que confiere el color azulado. Los frentes de cantera, localizados en el término municipal de Les (Valle de Arán), se hallan situados en un yacimiento en forma de filón de gran anchura, casi vertical, y ubicado entre esquistos metamórficos. Resulta su escasa fracturación y diaclasado, por lo que pueden ser extraídos bloques de gran tamaño.



Imagen 3.18: Granito Azul Arán.

En la provincia de Zamora, en el término municipal de Bermillo de Sayago, sostienen dos variedades comerciales, los denominados Blanco Sayago y Sayago Rex. Ambos tipos se pueden clasificar como granodioritas biotíticas, siendo rocas de color gris muy claro, con tamaño de grano fino a medio, textura compacta y fracturación irregular. Los frentes de explotación suelen ser grandes, obteniéndose bloques de grandes dimensiones y con reservas notables. También en Zamora, en el término municipal de Hermisende, se explota el llamado Gris Mezquita, roca de color gris claro, de grano medio y con algunos megacrystales de feldespato, pudiéndose clasificar como un granito biotítico. Los frentes de cantera son de gran longitud y permiten la extracción de bloques de tamaño medio a grande, existiendo importantes reservas de este mineral.

Dentro de la penillanura Zamorano-Salmantina, por último, se explota la variedad denominada Gris los Santos, monzogranito porfídico de color grisáceo y tamaño de grano medio a grueso. La cantera, localizada en el término municipal de Los Santos, extrae bloques grandes a partir de frentes de gran longitud.

En Huelva se extraen las variedades Negro Santaolalla y Verde Joya. La primera de ellas, en la localidad de Santa Olalla, es una roca de color gris oscuro, de grano medio, compacta y de fracturación irregular. Se puede definir como una tonalidad rica en biotita y minerales máficos, presentando un alto grado de homogeneidad textural y de color. Los frentes de cantera son de gran longitud y permiten extraer bloques de grandes dimensiones. La otra variedad, el Verde Joya, es una roca basáltica de color verde oscuro, de grano fino, compacta y con fractura irregular, teniendo como componentes el cuarzo, los feldespatos y ferromagnesianos.

En otra provincia de Andalucía, Sevilla, se comercializa el llamado Ocre Sevilla. Este material, explotado en el término municipal de El Pedroso, es una roca compacta y homogénea, de grano grueso y color ocre. Se clasifica como un granito biotítico de textura heterogranular y que ha sufrido una alteración hidrotermal. Sus minerales principales son el feldespato, el cuarzo, la plagioclasa y la biotita. Su explotación se lleva a cabo en frentes de cantera de tamaño medio, pudiéndose extraer bloques de grandes dimensiones y con grandes reservas de material. También, se comercializa en El Pedroso la variedad Tezal, tonalidad de color gris, con abundantes elementos ferromagnesianos, de tamaño de grano medio, compacta y de fractura irregular. Los frentes de explotación son de pequeña longitud,

obteniéndose bloques de tamaño medio.

En la provincia de Ciudad Real, término municipal de Fontanosas, se comercializa el Gris Fontanosas, roca de color gris azulado, grano fino, compacta y con una notable homogeneidad, apreciándose pequeños gabarros que, no obstante, no afectan al conjunto. Se clasifica como una granodiorita biotítica de textura granuda, heterogranular y con tendencia porfiroide. Se extrae en forma de bloques de gran tamaño a partir de frentes de gran longitud.

Por último, en Toledo, en Ventas con Peña Aguilera-Cuerva, se obtiene la variedad Blanco Toledo, roca de color gris claro, de grano medio, con textura granuda y muy homogénea. Su fracturación es irregular y presenta, en ocasiones, microfisuración en el cuarzo. Los frentes de cantera son de gran longitud y permiten la extracción de bloques de tamaño medio a grande.

4.-DOCUMENTACIÓN NECESARIA PARA LA EXPLOTACIÓN DE LA CANTERA.

4.1.- Fase I: Recopilación de Información.

La investigación de las rocas ornamentales, como la de cualquier otra sustancia mineral, comienza con la recopilación y análisis de toda la información geológico-minera disponible sobre el área o roca a investigar. A tal efecto se pueden utilizar, como información básica, los siguientes documentos:

- Mapas oficiales publicados por el I.T.G.E. como son:
 - Mapas de síntesis geológica a escala 1:200.000
 - Mapas de rocas industriales a escala 1:200.000
 - Mapas metalogenéticos a escala 1:200.000
 - Mapas geológicos varios a escala 1:100.000
 - Mapa geológico nacional a escala 1:50.000
- Fondos documentales del I.T.G.E. y de los diferentes Servicios Geológicos de las Comunidades Autónomas.
- Documentación de uso público en los Servicios de Minas del Estado y de las Comunidades Autónomas.
- Tesis doctorales y otros documentos inéditos existentes en las Escuelas y Facultades universitarias.
- Artículos aparecidos en revistas, congresos, etc., que pueden proporcionan información geológica complementaria de interés (tectónica, estratigrafía, geología regional, etc.).

Además, es recomendable consultar a los Organismos y Asociaciones profesionales, productores y empresas comercializadoras con el fin de adquirir un mejor conocimiento de la problemática concreta de cada roca. Tras el análisis de la información disponible se hace una primera valoración de las zonas, seleccionándose todas aquellas que presentan alguna posibilidad, aunque sea mínima, de contener materiales potencialmente explotables, las cuales pasan a la fase siguiente de exploración.

4.2.- Fase II: Exploración de Campo a Escala 1:50.000.

Todas aquellas zonas de interés, resultantes del análisis de la información recopilada en la fase anterior, son objeto de un reconocimiento general de campo que permite efectuar una primera selección de áreas.

La fase de exploración de campo, a escala 1:50.000, se inicia con el estudio fotogeológico de cada zona, prestándose especial atención a la presencia de recubrimientos modernos y a la fracturación del macizo rocoso, con el fin de intensificar los reconocimientos de campo de los sectores menos tectonizados y, por tanto, más favorables para el hallazgo de yacimientos de interés económico.

Posteriormente, se efectúan visitas a las zonas, las cuales son reconocidas mediante itinerarios previamente establecidos con la ayuda de la fotografía aérea, o por exploraciones puntuales. En cada una de las zonas se analizan los dos aspectos principales siguientes:

- Propiedades específicas de los afloramientos.
- Factores condicionantes de la explotabilidad.

Las propiedades específicas de los afloramientos estudiadas son:

- Morfología.
- Fracturación.
- Características de la roca.
 - Composición.
 - Color.
 - Tamaño de grano.
 - Textura.
 - Homogeneidad.
 - Cambios de facies.
 - Variaciones de color.
 - Presencia de discontinuidades.
 - Oxidaciones.
 - Otras alteraciones.

Con el estudio de la morfología del afloramiento y su entorno se pretende conocer las características geométricas del macizo (límites superficiales, potencia, zonaciones litológicas, etc.), lo que resulta imprescindible para hacer una primera valoración del potencial del macizo.

La fracturación se estudia atendiendo principalmente al número de familias de diaclasas y a los espaciados entre ellas, es decir, a la densidad del diaclasado, ya que es éste el principal parámetro que condiciona el tamaño del bloque a extraer. Así, una red de diaclasas poco espaciada invalida el uso de la roca con fines ornamentales, un diaclasado medio permite la extracción de bloques comerciales sólo en ciertos sectores, y un diaclasado escaso o muy espaciado favorece la obtención de gran número de bloques y, por tanto, un aprovechamiento alto o muy alto del yacimiento.

El conocimiento de la composición mineralógica, el tamaño del grano, la textura y el color de la roca es de gran interés, ya que son propiedades que condicionan decisivamente su carácter ornamental. Para determinar las tres primeras se efectúa una primera serie de análisis petrográficos.

La homogeneidad de la roca se define a partir de los cambios de facies, variaciones de color y discontinuidades, siendo necesario conocer cada uno de ellos ya que tienen una importancia directa en la canterabilidad de la roca.

La oxidación es un factor decisivo en el aprovechamiento del yacimiento ya que su presencia y distribución, por sí mismas, pueden obligar al abandono de todo o una parte de éste con independencia del resto de los criterios, incluso aunque éstos sean muy positivos para la explotación. A tal efecto han de tomarse muestras frescas para efectuar los ensayos correspondientes.

Bajo el epígrafe de otras alteraciones se recoge esencialmente la presencia y el efecto de la meteorización en la roca, tal como puede observarse en el campo. Una meteorización es baja cuando la costra alterada es menor o igual a 2 cm, media si la costra tiene entre 2 y 20 cm, y alta si es mayor de 20 cm.

Los factores condicionantes de la explotabilidad que se consideran son:

- Tamaño del afloramiento.

- Recubrimientos.
- Topografía y accesos.
- Impacto ambiental que pudiera ocasionar la cantera.
- Existencia de explotaciones próximas.
- Infraestructura industrial.

El tamaño del yacimiento hace referencia a su extensión superficial. Considerado junto a la morfología, es un indicador de las reservas potenciales.

La detección del tipo y espesor de los recubrimientos es de gran importancia ante una eventual explotación del yacimiento, debido al coste que puede acarrear su eliminación.

El relieve topográfico y la existencia o ausencia de accesos es otro de los aspectos que debe ser considerado ante una eventual explotación del yacimiento, debido a la incidencia que pueden tener no sólo en el coste del producto sino incluso en la viabilidad técnica de la cantera.

En esta fase, aunque con carácter muy preliminar, es necesario considerar el impacto ambiental que pudiera ocasionar la explotación de su entorno, tanto desde el punto de vista visual como de contaminación acústica o atmosférica.

La existencia de canteras próximas es un factor muy positivo, ya que indica un potencial real del yacimiento. Las canteras situadas en su vecindad se dividen en tres grupos, dependiendo del destino del producto extraído:

- Canteras que producen roca ornamental.
- Canteras que producen roca para áridos.
- Restos de canteras.

La presencia en la zona de infraestructura industrial relacionada con la transformación del material de cantera en producto vendible puede ser de gran trascendencia e incluso condicionar la explotación del yacimiento.

Adicionalmente se realiza una cartografía a escala 1:50.000 de las zonas y su entorno, en la que se representan sus características geológico-mineras más destacadas, los límites de las áreas exploradas, las concesiones mineras o permisos de investigación existentes, etc. Se

elaboran, igualmente, perfiles geológicos interpretativos de la estructura de cada zona y, en su caso, las columnas o cortes estratigráficos generales y sus correlaciones.

Llegados a este punto se procede a la valoración de las áreas con el fin de seleccionar aquellas que, por ser las más favorables, pasarán a la siguiente fase.

Dada la subjetividad que supone valorar un área canterable desde el punto de vista ornamental, el método de valoración pretende someter a todas las áreas a los mismos parámetros de selección siendo, por tanto, la subjetividad común a todas ellas. De esta manera, las zonas se comparan entre sí, adquiriendo más importancia los valores relativos entre áreas que el valor absoluto de los parámetros.

La metodología que se describe va a utilizarse en esta fase tan preliminar exclusivamente para el análisis de los criterios de selección y canterabilidad previos, con objeto de establecer un orden de prelación entre las zonas, a partir del cual efectuar la selección de las más favorables. El método será utilizado exhaustivamente más adelante para valorar determinadas propiedades de las rocas y, a partir de ellas, las áreas correspondientes.

En términos generales la aplicación del método supone la transformación de las propiedades estudiadas en las zonas, comentadas con anterioridad, en índices numéricos contruidos a partir de la cuantificación de los parámetros que definen las características geológico-mineras de los yacimientos.

Cada parámetro se valora según la escala V de 0 a 9 (siendo 0 valor mejor y 9 el de peor calidad), de acuerdo con el grado de importancia que tiene cada área. Este valor a su vez viene afectado por un coeficiente K que depende de la importancia o peso relativo que se concede a dicho parámetro en la valoración de las áreas y que es fijo para todas ellas.

La valoración se estima según la expresión:

$$V = \frac{K_i \cdot V_i}{V_{\max} \cdot n_i} \cdot 100 \quad (1)$$

siendo:

V_i = valoración del parámetro estudiado

K_i = coeficiente corrector

$V_{\max} = 9p_{k_i} / p_{n_i}$, que en el caso presente es una constante de valor $9.55/10=49,5$

n_i = Parámetros considerados (la suma es 10 en este caso)

Clasificación según los índices de valoración (Tabla 4.1):

CLASIFICACIÓN	VALOR DE V
Muy Buena	0-20
Buena	20-40
Aceptable	40-60
Mala	60-80
Muy Mala	80-100

Tabla 4.1: Clasificación según los índices de valoración.

4.3.- Fase III: Investigación Previa a Escala 1:25.000.

Las áreas seleccionadas en la fase II son objeto de una investigación previa con una escala de trabajo 1:25.000.

Se analizan con mayor detalle que la fase anterior un conjunto de parámetros referentes a:

- Características geológicas del yacimiento.
- Calidad de la roca.
- Viabilidad de explotación minera.

Se describen seguidamente los parámetros citados.

4.3.1.- Características geológicas del yacimiento.

Las propiedades estudiadas son la accesibilidad, la calidad del afloramiento, la homogeneidad y la fracturación que, en conjunto, definen la calidad del yacimiento. Ésta, unida a la viabilidad de explotación, constituyen la canterabilidad.

En primer lugar, se considera la vistosidad de la roca o calidad ornamental. Este criterio se basa en los gustos, modas y tendencias coyunturales del mercado, por lo que es sumamente variable y, por ello, nunca debe ser eliminatorio.

La accesibilidad incide, como en el estudio de la fase II, en las peculiaridades topográficas y en los accesos para personas y máquinas, vías de comunicación, etc.

Por lo que respecta a la homogeneidad, se trata de estudiar los cambios litológicos, variaciones de color y tamaño de grano, presencia y distribución de megacristales, existencia de gabarros, diques, venas, cavidades miarolíticas, diferenciados magmáticos. etc. Mediante medidas de foliaciones magmáticas y tectónicas se buscan las estructuras del granito que marcan las direcciones de corte de los bloques a extraer.

En esta fase se buscan también minerales fácilmente alterables, como pirita o pirrotina, que pueden ocasionar oxidaciones indeseables que afecten negativamente al valor comercial de la roca.

La fracturación del yacimiento es uno de los factores de mayor peso en la explotabilidad del mismo, ya que de la densidad y tipo del diaclasado va a depender la posibilidad de extraer o no bloques comerciales. De ahí la necesidad de estudiar el fenómeno con detalle.

En primer lugar, es preciso conocer la distribución espacial del sistema de fracturas a escala del área, con el fin de detectar las direcciones de debilidad preferentes. Las familias de fracturas observadas tras los reconocimientos de campo se pueden visualizar mediante diagramas en rosa (Imagen 4.1), que se elaboran a partir del número relativo de fracturas que existen en cada dirección.

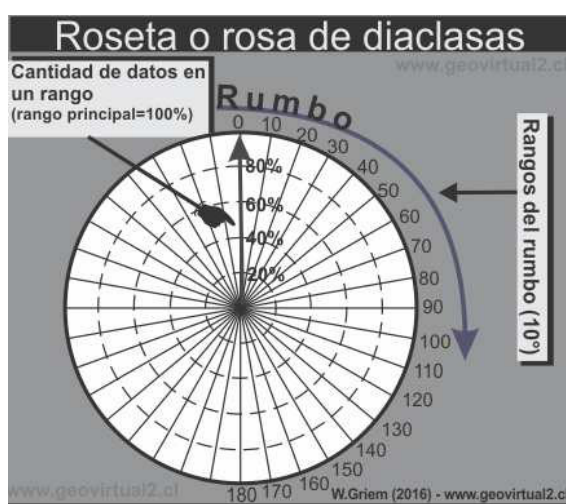


Imagen 4.1: Diagrama rosa o roseta de diaclasa.

El estudio de la fracturación a escala del afloramiento debe centrarse en la identificación de la geometría y espaciados de las diferentes familias de diaclasas que pueden existir.

Para ello es conveniente utilizar la proyección estereográfica, pues ha demostrado ser una herramienta muy apropiada para el manejo y tratamiento de los datos angulares (dirección y buzamiento) que caracterizan e identifican estas discontinuidades.

Conocidas las familias de diaclasas existentes, es preciso estudiar su continuidad o desarrollo, tanto en superficie como en profundidad. Para ello puede ser de interés la realización de algún sondeo a testigo continuo de control o el empleo de las técnicas

geofísicas, ya que, por medio de una malla adecuada de sondeos eléctricos verticales, es posible establecer tanto el grado de fracturación del macizo, como el espesor del recubrimiento y, dentro de ciertos límites, la continuidad en profundidad de la roca investigada. En cualquier caso, el conocimiento de estas discontinuidades permitirá clasificarlas en relación con sus dimensiones y, por tanto, determinar su grado de incidencia en el tamaño del bloque extraíble.

Tipos de diaclasas según su continuidad (Tabla 4.2):

DENOMINACIÓN		
DIACLASA	TIPO	LONGITUD
Menor	Muy baja	< 1 m
	Baja	1 - 3
Mayor	Media	3 - 10 m
	Alta	10 - 20 m
Principal	Muy alta	> 20 m

Tabla 4.2: Tipos de diaclasas.

Tipos de espaciado de diaclasa según intervalos (Tabla 4.3):

INTERVALO	ESPACIADO
0 - 1 m	Reducido
1 - 2,5 m	Moderado
2,5 - 6,25 m	Amplio
6,25 - 15,62 m	Muy amplio
> 15,62	Extremadamente amplio

Tabla 4.3: Tipos de espaciado de diaclasas.

En términos generales puede decirse que se consideran explotables aquellas canteras en las que se superpongan dos familias de diaclasas subperpendiculares, una de ellas de espaciado moderado y otra de espaciado amplio, como mínimo. Asimismo, es necesario introducir determinados coeficientes correctores si el ángulo entre las dos familias difiere sustancialmente de 90°. La densidad de diaclasado puede deducirse a partir del parámetro J_v , que representa, para cada familia, el número de diaclasas por unidad de volumen. Se calcula mediante el cociente entre la suma de los inversos de los espaciados medios de cada una de las familias de diaclasa presentes en un volumen dado de roca, y ese mismo volumen. El valor del parámetro J_v , proporciona una estimación aproximada del tamaño del bloque extraíble.

Tamaño orientativo del bloque en función del parámetro J_v (Tabla 4.4):

PARÁMETRO J_v	TAMAÑO ORIENTATIVO DEL BLOQUE	OBSERVACIONES
< 1,7	Grande	Bloque
1,7	Óptimo	comercial
2,2	Aceptable	Bloque
> 2,2	No aceptable	no comercial

Tabla 4.4: Tamaño orientativo del bloque.

4.3.2.- Calidad de la roca.

El estudio de la calidad de la roca considera dos propiedades importantes, que son la alterabilidad y la calidad mecánica, ambas dependientes de numerosos parámetros.

Por su parte, la determinación de la alterabilidad del granito debe considerar tanto el deterioro actual como la meteorización potencial que pueda sufrir en el futuro.

El deterioro del granito está relacionado con sus propiedades intrínsecas y con el medio que le rodea, particularizando en diversos agentes externos. Por ello, los parámetros que conforman la alterabilidad deben determinarse en laboratorio.

El deterioro actual se calcula basándose en un estudio petrográfico al microscopio de la roca, analizándose su composición mineralógica, la textura y la microfracturación. El proceso de cálculo comprende varios pasos intermedios y consiste en lo siguiente:

En primer lugar, se evalúa la alteración mineralógica de cada fase mineral principal presente en el granito, caracterizando a cada una de ellas mediante la asignación de uno de los cinco grados o índices proporcionados por la tabla de ORDAZ-ESBERT.

A continuación, se calcula el deterioro mineralógico medio (D_x) de cada fase mineral mediante la fórmula:

$$D_x = \frac{V_i \cdot n_i}{n} \quad (2)$$

siendo:

V_i = grado de alteración tomado de la tabla de Ordaz-Esbert.

n_i = número de granos minerales con alteración V_i .

n = número total de granos de la fase mineral x estudiada.

Conocido D_x se calcula ahora, el deterioro mineral (D_m) de la roca en su conjunto, ponderando el deterioro mineralógico medio de cada fase con su abundancia relativa en la roca P_x dividiendo además por 100, es decir:

$$D_m = \frac{D_x \cdot P_x}{100} \quad (3)$$

Finalmente, para la determinación del deterioro actual (D_a) se consideran el deterioro mineralógico, ya conocido, y la oxidación del granito.

Para comprobar en qué medida la roca es resistente a este tipo de alteración, se preparan placas pulidas representativas que se someten al ensayo de cambios o choques térmicos según la Norma UNE-EN 12326-1:2015. A partir del resultado obtenido, el parámetro oxidación se cuantifica mediante el grado Ox, que varía de 0 a 4 en función de la importancia que presenta el fenómeno de la roca.

Valoración de la oxidación (Tabla 4.5):

GRADO DE OXIDACIÓN O _x	TIPO DE OXIDACIÓN
0	Inexistente
1	Baja
2	Baja a media
3	Media
4	Alta

Tabla 4.5: Valoración de la oxidación.

El valor de D_a se define como:

$$D_a = \frac{D_m \cdot K_m \cdot O_x \cdot K_x}{K_m \cdot K_x} \quad (4)$$

siendo K_m y K_x coeficientes de ponderación de valor 1 y 3 respectivamente.

Valoración del deterioro actual D_a (Tabla 4.6):

D_a	VALORACIÓN
0 - 1	Muy bajo
1 - 2	Bajo
2 - 3	Medio
3 - 4	Alto

Tabla 4.6: Valoración del deterioro actual.

El segundo factor que interviene en la alterabilidad de la roca es la meteorización potencial, o alteración producida por agentes externos al granito que provoca la movilidad relativa de los elementos químicos primarios que lo forman. Para determinar este factor es necesario realizar el análisis químico de la roca.

Los valores del índice M_p obtenidos vienen expresados en porcentaje, por lo que para una mayor comodidad se pueden transformar en valores comprendidos entre 0 y 4 (índice M_{pt}).

Transformación del índice M_p en M_{pt} y valoración de la meteorización potencial
(Tabla 4.7):

ÍNDICE M_p	ÍNDICE M_{pt}	VALORACIÓN
0 - 20	0	Muy baja
20 - 40	1	Baja
40 - 60	2	Media
60 - 80	3	Alta
80 - 100	4	Muy alta

Tabla 4.7: Valoración de la meteorización potencial.

Conocidos D_a y M_{pt} se calcula la alterabilidad de la roca mediante la expresión:

$$I_{AL} = \frac{D_a \cdot K_a \cdot M_{PT} \cdot K_P}{K_a \cdot K_P} \quad (5)$$

siendo K_a y K_P coeficientes de ponderación de valor 2 y 1 respectivamente.

Valoración de la alterabilidad (Tabla 4.8):

ÍNDICE I_{AL}	VALORACIÓN
0 - 1	Muy baja
1 - 2	Baja
2 - 3	Media
3 - 4	Alta

Tabla 4.8: Valoración de la alterabilidad.

La segunda propiedad que interviene en la determinación de la calidad de la roca es su comportamiento mecánico. Para conocerlo, las muestras que se extraen en esta fase se someten a diversos ensayos normalizados que son los siguientes:

- Tamaño de grano.
- Absorción y peso específico.
- Resistencia al desgaste por rozamiento.
- Ensayos de heladicidad.
- Resistencia a la compresión.
- Resistencia a la flexión.
- Resistencia al impacto.

4.3.3.-Viabilidad de explotación minera.

Llegados a este punto, se dispone de un importante volumen de información de cada área estudiada, por lo que es posible efectuar una valoración de cada una de ellas con el fin de seleccionar las más favorables que pasarán a la siguiente fase.

4.4.4.-Valoración de áreas.

El proceso es iterativo: se comienza con la valoración de los parámetros que permiten calcular los índices de tercer orden; la valoración de éstos, a su vez, conduce a los índices de segundo orden y, a partir de ellos y por el mismo sistema, se obtienen los de primer orden. Finalmente, el análisis y ponderación de éstos últimos conduce a la valoración del área.

La cuantificación de cada parámetro, que es el punto de partida del método, se efectúa situándolo, tan objetivamente como sea posible, en una escala V_i de 0 (el mejor) a 9 (el peor), de acuerdo con el nivel de desarrollo, importancia o conocimiento que se tiene del mismo. Este número se multiplica por un coeficiente K_i , fijo para cada parámetro y común a todas las zonas, que representa el peso relativo que se otorga al parámetro en cuestión en el cálculo del índice que representa la propiedad que lo engloba. La valoración de ésta se realiza con la fórmula conocida:

$$V = \frac{K_i \cdot V_i}{V_{\text{máx}} n_i} \cdot 100 \quad (6)$$

siendo:

V_i = valoración del parámetro estudiado

K_i = coeficiente corrector.

$V_{\text{máx}} = 9 \cdot K_i / n_i$.

n_i = parámetros considerados.

4.4.- Fase IV: Investigación de Detalle a Escala 1:10.000 o 1:1.000.

En las áreas que pasan a esta fase se estudian, de nuevo, todos los parámetros investigados en la fase anterior, aunque a una escala de mucho mayor detalle (1:10.000 o 1:1.000) y en un ámbito territorial mucho más restringido.

En esta fase se realizan sondeos mecánicos a testigo continuo con objeto de investigar en profundidad el comportamiento de la roca en su sentido más amplio. Los testigos obtenidos deben someterse a los mismos ensayos y análisis que las muestras de superficie en la fase III.

Son especialmente importantes los estudios de alterabilidad (oxidación) y fracturación, ya que cualquiera de ellos, por sí mismo, puede descalificar un área o afloramiento granítico.

En este punto de la investigación, los aspectos relacionados con la explotación empiezan a importar ante la eventual y cercana posibilidad de la apertura de una cantera.

Asimismo, es de gran importancia la realización de un estudio de mercado que determine la demanda de la roca en cuestión.

Finalmente, aquellas áreas que superan todos los controles de esta fase, realizados de forma similar a la descrita en la fase III, están en disposición de pasar a la siguiente y última etapa del plan de trabajo previsto, que es la redacción del Proyecto de Explotación y apertura, en su caso, de la cantera.

4.5.- Fase V: Proyecto de Explotación y Apertura de la Cantera.

Finalizada la investigación del yacimiento, sólo queda conocer la demanda previsible del mercado y acometer el estudio de la forma de explotarlo racionalmente. En el supuesto que estos estudios viabilidad técnico-económica de la explotación, se está en condiciones de abrir la cantera e iniciar la producción.

5.-EXPLOTACIÓN DE LA CANTERA.

La explotación de la masa granítica consistirá en la extracción de bloques.

La etapa inicial consiste en la independización de la masa rocosa, de un bloque cuyo volumen será de 432 m³.

La operación de arranque comienza con la creación de dos caras libres en los laterales de gran bloque realizado con lanza térmica con el objetivo de crear dos canales de 70 mm de separación, cuanto más alto es el contenido de cuarzo mejor decrepita la roca, ya que además de poseer grandes coeficientes de dilatación lineal y volumétrica tiene un cambio de cristalización a 573°C.

El equipo básico o quemador consiste en una cámara de combustión, donde se atomiza el combustible (gasoil) que se mezcla con el oxígeno al ser alimentados bajo presión. El inyector incrementa la velocidad de salida de los gases de combustión. La temperatura de la llama puede llegar en el extremo del quemador a los 2.000 °C, con aire comprimido. Las velocidades normales oscilan entre 3 y 12 m/h pudiendo llegar en casos favorables a los 20 m/h.

Posteriormente se realiza la perforación sobre los planos posterior vertical y horizontal en la base del bloque. Las barrenas son de pequeño diámetro 32 mm y separaciones variables de acuerdo con la resistencia a la fragmentación de la roca. La rotura entre barrenos se realiza mediante el empleo de explosivo con cargas conformadas especialmente.

La segunda etapa consiste en la subdivisión en bloques de menor tamaño, todavía "in situ". El volumen de los bloques es de 54 m³.

La rotura entre barrenos se realiza al igual que antes por medio de explosivos.

El bloque, una vez individualizado, debe volcarse sobre el piso de la cantera, donde se dispone de un lecho de arena que amortigüe la caída, y se evite la rotura. El sistema empleado para volcar el bloque es mediante el empuje por medio de una pala de ruedas que dispone de una serie de accesorios de acoplamiento rápido tales como:

- Dientes para manejo de los bloques.
- Cuchara para desescombro, limpieza y preparación del lecho de arena.
- Brazo de empuje para la fase de subdivisión de los bloques.

En las siguientes etapas, una vez volcado el bloque debe subdividirse en dimensiones manipulables por los equipos de la cantera y con las dimensiones adecuadas para su posterior aserrado. En esta etapa emplearemos un diámetro de perforación de 28 mm. En esta fase la rotura entre barrenos tiene lugar mediante el empleo de cuñas accionadas manual o hidráulicamente.

5.1.- Aire comprimido.

5.1.1.-Introducción.

La energía necesaria en nuestra explotación para el accionamiento de los equipos de perforación, soplete, etc., será suministrado por un compresor de aire rotativo de tornillo asimétrico con engrase, portátil y monoetápico que está diseñado para presiones efectivas de trabajo de 7 kg/cm². Dicho compresor es un RD 1000 de la marca bético (Imagen 5.1).



Imagen 5.1: Compresor.

Este grupo va accionado, a través de un acoplamiento elástico, por un motor diésel de cuatro tiempos, refrigerado por aire, perfectamente adoptado al compresor para proporcionar un rendimiento óptimo y ahorro de combustible.

Acoplamiento.

El elemento compresor va embridado al motor, mediante una carcasa de acoplamiento cuidadosamente mecanizada, que garantiza una perfecta alineación entre los dos componentes.

El par motor se trasmite al compresor a través de un acoplamiento flexible con elemento elástico, ampliamente dimensionado, el cual asegura una transmisión exenta de vibraciones. El accionamiento ataca al muñón del rotor principal, en el lado de la aspiración donde los esfuerzos son menores, a través de unos engranajes incorporados en el compresor, los cuales transforman el número de revoluciones del motor a la velocidad requerida por el rotor principal.

Compresor.

En la carcasa del compresor van alojados dos rotores, tipo tornillo de perfil asimétrico.

Los rotores están equilibrados dinámicamente y el material empleado para su fabricación es C-45 N. El extremo conducido va montado sobre rodamientos de rodillos cilíndricos y el opuesto sobre rodamientos de bolas de contacto angular.

El rotor macho, arrastrado por los engranajes, tiene cuatro lóbulos y conduce a su vez el rotor, hembra que tiene seis lóbulos, por lo tanto, el rotor macho gira a una velocidad de 1,5 veces mayor que el rotor hembra. El aceite inyectado, que se mezcla con el aire comprimido, forma una película de aceite entre rotores y entre éstos y la carcasa, impidiendo de esta forma el contacto metal con metal y por consiguiente no se produce desgaste en los rotores.

Principio de Funcionamiento.

El aire es aspirado a través de la boca de aspiración, situada en la parte superior del compresor, y una vez alcanzada la presión de trabajo se expulsa por la boca de impulsión, situada en la parte inferior.

Debido al giro de los rotores, al engranar el macho con la hembra el volumen de estas cavidades interlobulares varía, alcanzando su valor máximo en el lado de accionamiento, y el mínimo en el opuesto, frente a la lumbrera de impulsión de escape.

Por lo tanto, el ciclo de compresión se compone de las siguientes fases:

- Fase 1:

El aire aspirado es desviado a través de un conducto interior de la carcasa, hacia el lado de accionamiento y entra en un espacio interlobular, mientras los dientes pasan por la ventana de entrada. En dicho momento, el volumen del espacio interlobular es máximo.

- Fase 2:

Con el movimiento de los rotores, los dientes han recorrido toda la ventana de aspiración, cerrando la cavidad interlobular, y empiezan a engranar los flancos correspondientes, comenzando así la disminución de volumen y, por tanto, la compresión del aire encerrado en ella.

- Fase 3:

Debido al giro, el volumen de estas cámaras sigue reduciéndose y, por tanto, la compresión aumenta, hasta que los lóbulos alcanzan los bordes de la lumbrera de impulsión o escape.

- Fase 4:

El aire comprimido comienza a salir por la ventana de escape, hacia la boca de impulsión, mientras los dientes van engranando, hasta eliminar completamente la cavidad interlobular, expulsando el aire comprimido. Una vez rebasada la lumbrera de impulsión, los flancos de los dientes empiezan a desengranar abriendo de nuevo la cámara interlobular

hacia la ventana de aspiración o entrada, comenzando de esta forma un nuevo ciclo.

Este ciclo de comprimir y expulsar se repite cuatro veces con cada giro del rotor principal, y de esta forma, se realiza una compresión continua, haciendo que un espacio determinado empiece a asomar en la ventana de escape antes de que el anterior se haya vaciado totalmente, asegurando de esta forma un flujo de aire expulsado prácticamente exento de pulsaciones.

Durante el proceso se inyectan importantes cantidades de aceite en la cámara de compresión.

Tal aceite tiene como función principal absorben la mayor parte del calor generado en la fase de compresión, y sirve además para sellar herméticamente las hendiduras entre los perfiles de los dientes, o entre éstos y la carcasa., logrando así la estanqueidad necesaria para un buen rendimiento volumétrico y evitando el contacto metal-metal. Junto con el aire se expulsa igualmente toda la cantidad de aceite inyectado, después se separa del flujo de aire para ser enfriado y recuperado de nuevo. Este procedimiento de enfriamiento por inyección de aceite permite obtener aire comprimido hasta 13 atm.

Parte de este aceite se utiliza también para engrase de rodamientos y engranajes de accionamiento.

5.1.2.-Características Generales del Compresor.

Todo el conjunto de la unidad compresora va montado sobre los siguientes elementos:

- Bastidor.
- Tren de movimiento.
- Suspensión.
- Dirección.
- Freno.

La suspensión se realiza en dos ejes, el delantero es articulado y se acciona mediante la lanza de arrastre, que lleva su correspondiente argolla de unión, sobredimensionada, para

aguantar el peso de la máquina. Dicha lanza es abatible hacia arriba, y lleva un sistema de amarre a la unidad en su posición vertical, con lo cual se logra un considerable ahorro de espacio en los lugares de almacenamiento.

Todos los elementos integrantes del conjunto: compresor, motor, ventilador, depósitos, etc., van protegidos en el interior de la carrocería, totalmente metálica de chapa de acero, con puertas laterales abatibles, dotadas de cerradura, que permiten un cómodo y rápido acceso a todos los puntos, facilitando enormemente las labores de reparación y mantenimiento.

La carrocería está especialmente estudiada, con aberturas en ambos frontales, para facilitar la refrigeración del grupo, tanto del caudal impulsado por el ventilador para refrigerar el aceite, como del aire necesario para la refrigeración del motor.

Los laterales del compresor, así como los depósitos de combustible y baterías, van cubiertos por un blindaje de chapa corrugada de acero, de alta resistencia, que además sirve de plataforma de trabajo para las partes mecánicas, en sus reparaciones.

5.1.3.-Características Técnicas del Compresor Bético RD 1000.

• Presión de trabajo en kg/cm ²	7
• Presión máx. de trabajo en kg/cm ²	8
• Presión mínima de trabajo en kg/cm ²	4
• Caudal de aire libre suministrado en m ³ /min.....	29
• Cantidad de aceite en depósito compresor en m ³ /min.....	165
• Motor	Deutz
• Modelo motor	F-12L-413F
• Velocidad máx. motor r.p.m.	2300
• Velocidad mínima (ralentí) r.p.m.	1.250
• Potencia motor DIN 6270 B en CV a máx. velocidad.....	320
• Sistema de refrigeración	Aire
• Cantidad de aceite en el cárter (its) (motor)	29

5.1.4.-Instalación de la Red.

En cuanto a la instalación necesaria para el consumo de nuestra maquinaria, a la salida del compresor disponemos de 3 depósitos, debidamente timbrados por la Delegación de Industria, a la presión de trabajo. Su cometido es almacenar el aire, amortiguar las pulsaciones que aún procedan del amortiguador primario y regular la carga y descarga del compresor.

Como accesorios debe llevar una válvula de seguridad, un manómetro y una purga manual o automática. La válvula de seguridad está tarada en un 10 a un 15% por encima de la presión del compresor y nunca más alta que la indicada en la placa del depósito, y se debe comprobar su funcionamiento semanalmente.

La purga del depósito si no es automática, ha de vigilarse con cierta frecuencia.

Para evitar el purgar diariamente, con el riesgo de olvido, es recomendable montar un purgador automático.

El primer depósito está unido al compresor por medio de una manguera flexible de goma de 2,5 m de longitud y con un diámetro interior de 3 pulgadas.

Estas mangueras disponen de refuerzos textiles colocados diagonalmente, que las hacen flexibles y muy resistentes.

Generalmente la presión máxima de trabajo es de IMPa, con temperaturas admisibles desde - 40 a 100 grados centígrados.

Este primer depósito tiene una capacidad de 2.000 litros, posee una salida con su válvula de cierre, de la cual saldrá una manguera flexible de goma, de unos 15 m aproximadamente de longitud, con un diámetro interior de 1 1/4 pulgada que suministrará aire a un equipo de perforación.

De la brida de salida del primer depósito sale una tubería galvanizada que se acopla con el segundo depósito, dicha tubería la montamos en tramos de 2,5 m cada una y van roscadas entre sí. La longitud total desde el primer depósito al segundo es de 10 metros, con un diámetro interior de la tubería de 3 pulgadas.

Este segundo depósito dispone de 2 salidas con sus válvulas de cierre correspondiente con las que podremos suministrar aire a la afiladora o cualquier otro equipo.

La capacidad de este segundo depósito es de 500 litros y de su brida de salida, saldrá de nuevo una tubería galvanizada que se acopla con el tercer depósito, dicha tubería la montamos en tramos de 2,5 metros cada una y van roscadas entre sí. La longitud total desde el segundo depósito al tercero es de 10 metros y el diámetro interior de la tubería es de 3 pulgadas.

Dicho depósito dispone de dos salidas con sus válvulas de cierre que suministran aire a la lanza térmica y a otro equipo de perforación.

El suministro de aire para estos equipos se realiza con mangueras flexibles de goma de un diámetro interior de 1 1/4 pulgada y con una longitud aproximada de 40 metros.

5.1.5.-Cálculo de las Tuberías. Pérdida de Presión.

El cálculo de tuberías de aire comprimido se basa en la pérdida máxima de presión que económicamente puede admitirse. La pérdida de presión en una tubería depende principalmente de la longitud y del diámetro, de la velocidad y de la densidad del aire que pasa por la tubería, así como de la rugosidad de ésta.

Sin embargo, el cálculo sería pesado y laborioso con tantos factores variables. por eso se utiliza muchas veces un monograma, que está calculado según la fórmula de la pérdida de presión. Para que el monograma cubra todos los valores de los factores variables y para que puedan ser leídos con exactitud, se necesita un tamaño bastante grande.

La solución más sencilla y útil se obtiene si se hacen las escalas del monograma móviles, es decir, en forma de regla de cálculo.

Por medio de esta regla se pueden calcular, las tuberías de aire comprimido. Esta regla consiste en tres partes: armazón, reglilla y cursor.

En el armazón hay dos escalas, una inferior marcada Q y que corresponde al caudal del aire en m³/h aire libre, así como una superior marcada AP y que corresponde a la pérdida de presión kg/cm². Aire libre significa aquí aire a 700 mm Hg y 15 grados centígrados.

En la reglilla hay cuatro escalas. La inferior, marcada L, corresponde a la longitud de la tubería en metros, las dos escalas más pequeñas en los extremos de la regla, marcadas P, corresponden a la presión inicial en atm. (la presión junto al compresor), y la escala superior, marcada D, corresponde al diámetro interior de la tubería en pulgadas.

Los límites de las escalas son:

- Para el caudal de aire: $Q = 60-6000 \text{ m}^3/\text{h}$
- Para la longitud de la tubería: $L = 1,0-2000 \text{ m}$
- Para la presión inicial: $P = 5,0-16,0 \text{ atm}$
- Para la pérdida de presión: $AP = 0,001-2,0 \text{ kg/cm}^3$

Con la regla se puede calcular:

- La pérdida de presión AP, si se conoce el caudal de aire, la longitud de la tubería, la presión inicial y el diámetro interior del tubo.
- El diámetro del tubo necesario D, si se conoce el caudal de aire, la longitud de la tubería, la presión inicial, el diámetro de la tubería y la pérdida de presión.
- El caudal máximo de aire Q, si se conoce la longitud de la tubería, el diámetro de la tubería, la presión inicial y la pérdida de presión.

En nuestro caso el caudal del compresor es de $1740 \text{ m}^3/\text{hora}$, la distancia es de 22,5 metros, luego empleando tubería de 3 pulgadas la caída de presión es de $0,02 \text{ kg/cm}^2$ por lo tanto es prácticamente despreciable.

Consumos de los Diferentes Equipos (Tabla 5.1).

EQUIPOS	Consumo	Coef. de Utilización	Consumo Real	Coef. de Simultaneidad	Consumo Real
Equipo de perforación (1 martillo)	360	0,95	342	0,95	325
Equipo de perforación (2)	540	0,90	486	0,90	438

martillos)					
Lanza térmica	720	0,95	684	0,75	513
Afiladora	50	0,65	33	0,60	20

Tabla 5.1: Consumos de los Diferentes Equipos.

Caudal suministrado por el compresor 1740 m³/h. Caudal que en nuestro caso es suficiente para nuestra explotación.

5.1.6.-Elementos Auxiliares.

Engrasadores.

Para realizar la lubricación de las perforadoras es preciso añadir aceite al aire comprimido, lo cual lo realizaremos en el propio equipo de perforación.

El aire pasa a través de un estrangulamiento que dispone de una válvula regulable. La presión del aire de entrada se conecta al tanque de aceite de forma que, cuando el aire pasa por la sección más estrecha, su velocidad aumenta y se produce una caída de presión que hace que entre el aceite hacia la corriente de aire atomizándose.

Se puede usar un aceite mineral o sintético. El aceite sintético reporta algunos beneficios adicionales, está basado en glicol, lo que hace que la máquina sea menos sensible al agua que lleva el aire. Este aceite es también biodegradable, al contrario del aceite mineral.

El aceite sintético es más caro, pero la diferencia en coste total es todavía insignificante, ya que el consumo es mucho más bajo. Tampoco es necesaria la separación de agua al usar el aceite sintético. No es posible mezclar aceites distintos.

Captadores de polvo.

La eliminación del polvo producido durante la perforación se realiza con dos fines: mejorar las condiciones de trabajo y aumentar la productividad.

El polvo de perforación, especialmente si la rosca presenta un alto contenido en sílice y el tamaño es inferior a 0,005 mm, constituye un riesgo para la salud de los operadores, por lo que existen normas de seguridad e higiene que obligan a su eliminación.

Los equipos de perforación trabajan con captadores de polvo, incluido los martillos manuales.

Los captadores de polvo constan básicamente de:

- Una campana de aspiración, que se coloca en la superficie en el punto de emboquille del barreno y donde se aspira el polvo que se envía a través de una manguera a la unidad de separación y filtrado.
- Sistema de separación y filtrado. Se realiza en dos etapas: en la primera se efectúa un ciclonado separando la mayor parte del polvo grueso y la totalidad de las partículas grandes, y en la segunda se lleva a cabo el filtrado reteniendo el resto del polvo con unos tornos inferiores a los 5 μ m.
- Sistema de depresión o vacío parcial del conjunto, con ventilador situado en la etapa final después de la unidad de filtrado y que se acciona con una fuente de energía eléctrica o hidráulica, y ocasionalmente de forma neumática.

La campana de aspiración tiene dos aberturas: una en la parte superior para dejar paso al varillaje y otra en la inferior de mayor diámetro por donde pasa el aire de barrido con el detrito y polvo. El diseño de la campana debe evitar las fugas de aire dentro de la misma al producirse la expansión del polvo de perforación. Esto se consigue en los equipos grandes mediante un eyector de aire comprimido que aumenta dicha capacidad de succión.

Los captadores pequeños tienen filtros tubulares con retención interior, mientras que en los grandes se suelen utilizar filtros planos con retención exterior.

La limpieza de los filtros se realiza regular y automáticamente en cada cambio de varilla o tubo de perforación. Los filtros tubulares se limpian mediante un vibrador de bolas que produce las sacudidas de éstos y en los de filtros planos, con impulsos neumáticos de soplado.

El polvo puede recogerse en bolsas o depositarse directamente sobre la superficie del banco.

5.2.- Perforación.

En la explotación de rocas, como el granito, se utilizan en ocasiones sistemas de montaje especiales, tanto en la perforación primaria, como en las operaciones siguientes de subdivisión y escuadrado.

Para la perforación de barrenos emplearemos perforadoras neumáticas montadas sobre deslizaderas que se desplazan sobre correderas de 3,40 m de longitud por medio de una pareja piñón-cremallera y apta para la ejecución de barrenos verticales, horizontales o de cualquier inclinación.

Los martillos podrán moverse por medio de una doble cadena accionada por un motorreductor neumático sobre una corredera de guía que permite una carrera útil de 1.80 m.

El equipo es fácilmente desmontable en sus dos elementos (vía y corredera).

Nuestra explotación dispondrá de dos equipos de perforación. Uno de ellos dispondrá de un martillo perforador T-28 y el otro de dos martillos perforadores T-25. Las características de ambos martillos son las siguientes (Tabla 5.2):

CARACTERÍSTICAS	UD	T-28	T-25
Presión Normal	AT	55	55
Peso	KG	28	25
Altura total	MM	690	670
Anchura	MM	230	230
Diámetro	MM	90	79
Curso Máximo	KG	28	25
Frecuencia de golpe	G/MM	2500	2400
Velocidad de rotación teórica	V/MM	250	220

Velocidad de perforación aproximada	M/H	12	9
Consumo (Aire Libre)	L/MM	4200	3000

Tabla 5.2: Características de martillos.

Para la perforación de barrenos, se emplearán barrenos integrales (Imagen 5.2). Estos barrenos son de longitud fija, formada por una barra a cuyos extremos se forjan una culata y una broca. En el interior de la broca se inserta el metal duro de carburo de tungsteno.



Imagen 5.2: Barrenos, barras cónicas y brocas.

Cuando la primera barrena integral ha perforado totalmente la roca, esta es retirada del taladro y sustituida por otra de mayor longitud. La perforación es, por tanto, llevada a cabo por etapas y para cada una de ellas también el diámetro de la cabeza de la barrena tiene que ser menor que el anterior para evitar que este se atasque en el taladro.

Las barrenas integrales están ordenadas en serie, donde el diámetro del inserto disminuye conforme aumenta la longitud del barreno.

Dentro de la broca se suelda el carburo de tungsteno. Los materiales de soldar más usados son: cobre, bronce y plata. El agente de soldadura tiene que adherirse tanto al acero como al metal duro. El material debe también ser bastante elástico para poder eliminar la

diferencia en expansión térmica entre el acero y el metal duro y debe tener una alta resistencia a la fatiga.

Las barrenas empleadas serán las siguientes:

- Para los barrenos de independización del gran bloque emplearemos barrenos de culata de 22 x 108 mm (7/8" x 41/4") broca de bisel (Tabla 5.3):

LONGITUD				DIÁMETRO	
SERIE	MM	PIES	PULGADAS	MM	PULGADAS
11	800	2	7	34	1 11/32"
11	1600	5	3	33	1 19/34"
11	2400	7	10	32	1 1/4"
11	3200	10	6	31	1 7/32"
11	4000	13	1	30	1 3/16"
11	4800	15	9	29	1 9/64"
11	5600	18	4	28	1 7/64"
11	6400	21		27	1 1/16"

Tabla 5.3: Barrenos de independización.

- Para los barrenos de escuadrado de bloques emplearemos barrenos de culata 22 x 108 mm (7/8" x 41/4") broca de bisel (Tabla 5.4):

LONGITUD				DIÁMETRO	
SERIE	MM	PIES	PULGADAS	MM	PULGADAS
11	1600	5	3	28	17/64"

Tabla 5.4: Barrenos de escuadrado.

El afilado de las barrenas lo realizamos con máquinas concebidas para el afilado frontal y diametral de barrenas, en nuestro caso empleamos una SANROC IL.

Esta máquina está equipada con un potente motor neumático que tiene un eficaz regulador de velocidad y un silenciador. Es fácil de instalar y con un montaje sencillo.

Las características técnicas de SANROC IL:

- Presión de trabajo: Máx 8 bares
- Consumo de aire: 20 - 50 L/S
- Velocidad sin carga: 4900 r.p.m.
- Potencia: 1.7 Kw.

5.3.- Voladuras.

5.3.1.-Introducción.

En el caso de nuestra explotación la voladura la realizamos por medio de un cordón detonante (Imagen 5.3).



Imagen 5.3: Cordón detonante.

Un cordón detonante es una cuerda flexible e impermeable que contiene en su interior un explosivo. Este explosivo es Pentrita, cuya velocidad de detonación es de 7.000 m/s. El núcleo de Pentrita, en cantidad variable según el tipo de cordón, va rodeado de varias envueltas de hilados y fibras textiles, y de un recubrimiento exterior de Cloruro de Polivinilo (P.V.C.), que le proporciona las debidas propiedades, tales como elevadas resistencias a la tracción, abrasión y humedad.

El cordón detonante se caracteriza por su potencia, la cual está en razón directa del contenido de Pentrita por metro lineal del cordón. Para la conexión de cordón a cordón detonante, deben hacerse un tipo de nudos o conexiones que previamente se deben conocer, y con los cuales se asegura, por experiencia, que no se produzca ningún tipo de fallo. También existen unos conectores especiales diseñados para estas labores (Tabla 5.5).

ESPECIFICACIONES DEL CORDÓN DETONANTE						
Contenido de explosivo (g/m)	3	6	12	20	40	100
Diámetro exterior (mm)	3	3,3	4,5	6	7,4	11.5
Resistencia tracción (kg/cm ²)	50	60	100	100	100	100
Color	Rosa	Amarillo	Azul	Blanco	Verde	Rojo
Longitud de carrete (m)	500	500	250	200	100	50

Tabla 5.5: Especificaciones del cordón detonante.

Como decíamos, al principio en nuestra voladura emplearemos cordón detonante de 12 g/m que introduciremos a lo largo de todo el barreno, previamente realizaremos un nudo en el extremo del cordón que va en el fondo del barreno, una vez colocado el cordón con el nudo, en el fondo del barreno, echamos arena para evitar el movimiento de este; y finalmente rellenamos toda la longitud del barreno con agua, con objeto de mejorar el acoplamiento entre roca y explosivo.

5.3.2.-Iniciación de la voladura.

Se realizará con medios no eléctricos, empleando detonadores ordinarios y mecha lenta.

El detonador ordinario está constituido por un casquillo de aluminio, en cuyo interior va dispuesta una determinada cantidad de explosivo.

El procedimiento de iniciación de esta carga se lleva a cabo mediante una mecha lenta, la cual es introducida por el extremo libre del detonador.

Este extremo libre deja a la vista la parte del explosivo que lleva el detonador en su interior, explosivo que es de una elevada sensibilidad al choque y al rozamiento por lo que no debe tocarse con ningún objeto, salvo por la mecha lenta que sí debe de estar en contacto con aquel, en el momento en que queremos proceder a dar fuego al detonador. El culote del detonador ordinario que inicia al cordón ha de estar dirigido siempre hacia los barrenos. La mecha lenta es el medio por el cual se transmite el fuego a una velocidad uniforme hasta un detonador ordinario. Está formada por un núcleo de pólvora rodeado de varias capas de hilados y materiales impermeabilizantes que la hacen resistente a la humedad, abrasión y esfuerzo mecánico.

El tiempo de combustión es de 2 minutos por metro lineal. A continuación, se presentan los parámetros de la voladura (Tabla 5.6):

PARÁMETROS DE LA VOLADURA	
Piedra	Profundidad del bloque
Espaciamiento	12 cm
Longitud del barreno	Altura del bloque
Inclinación	Vertical
Carga por barreno	12 gramos por metro lineal
Consumo específico	28,16 gr/cm ³
Iniciación	Detonadores ordinarios y mecha lenta
Secuenciación	Instantánea

Tabla 5.6: Parámetros de la voladura.

$$C_e = \frac{Kg \cdot \text{explosivo por barreno}}{E \cdot V \cdot H_b} = \frac{0.072}{0.142 \cdot 1.5 \cdot 12} = 0.028 \text{ kg/m}^3 \quad (6)$$

Los cálculos necesarios para el espaciamiento entre barrenos será el siguiente:

- Resistencia Compresión = 325 MPa
- Resistencia Tracción = 20 MPa
- Diámetro Perforación = 30 mm
- Diámetro Cordón = 4.5 mm
- Pentrita = 1.3 gr/cm³
- VD = 7.000 m/seg

$$\text{Presión Barreno (Pb)} = 228 \cdot 10^6 \cdot Y_e \cdot \frac{V \cdot D_2}{1 \cdot 0.8 \cdot Y_e} \quad (7)$$

$$Pb = 228 \cdot 10^6 \cdot 1.3 \frac{g}{cm^3} \cdot \frac{(7000)^2 \left(\frac{m}{s}\right)^2}{1 \cdot 0.8 \cdot 1.3} = 7119.41 MPa \quad (8)$$

$$Presión Barreno efectiva (Pb_e) \quad Pb \left(\frac{V_e}{V_b}\right)^{1,2} ; Pb \left(\frac{1_E}{1_b} \cdot \frac{d^2}{D^2}\right)^{1,2} \quad (9)$$

$$Volumen explosivo Ve = \frac{d^2}{4} l_e \quad (10)$$

$$Volumen barreno Vb = \frac{d^2}{4} l_b \quad (11)$$

$$Pb_e \cdot Pb \left(\sqrt{C} \frac{d}{D}\right)^{2,4} \cdot 7119 \left(\sqrt{\frac{l_e}{l_b} \cdot \frac{4,5}{30}}\right)^{2,4} = 74.99 MPa \quad (12)$$

$$C = \frac{long.explosivo}{long.barreno} \quad (13)$$

$$S = \frac{D(Pb_E \cdot R_T)}{R_T} = \frac{30 (74.99 \cdot 20)}{20} = 142.28 mm \quad (14)$$

Espaciamiento =>14.2 cm

6.- MEDIDAS DE SEGURIDAD.

Durante las operaciones de manipulación, distribución y disparo del explosivo, deberán seguirse escrupulosamente tanto el vigente Reglamento de Explosivos, en lo relativo a transporte y distribución, como la Instrucción Técnica Complementaria en materia de explosivos.

En particular, deberá prestarse especial atención a los puntos que a continuación se indican:

- Únicamente podrán emplearse los explosivos, detonadores y artificios, que hayan sido homologados y catalogados oficialmente por la Dirección General de Minas, los cuales deberán utilizarse de acuerdo, en su caso, con las condiciones específicas de su homologación y catalogación. Las marcas comerciales aprobadas figuraran en el Catálogo de Explosivos del Ministerio de Industria y Energía.
- En los envases y embalajes de los explosivos y de los productos deberán figurar obligatoriamente, además del nombre comercial y fabricante, el número de catalogación.
- El uso de cualquier otro explosivo, cebo o artificio, nacional o de importación, habrá de ser expresamente autorizado por la Dirección General de Minas.
- Solo estarán capacitados para uso de explosivos aquellas personas que, especialmente designadas por la Dirección Facultativa, estén en posesión de un Certificado de Aptitud, expedido por la Dirección General Provincial del Ministerio de Industria y Energía, la cual les autorice para el tipo de trabajo y por el período de tiempo que, en dicho certificado, se especifique.
- El período de validez del certificado de aptitud a que se ha hecho referencia anteriormente, en ningún caso será superior a cinco años y en él se hará constar, de manera clara e inequívoca, la facultad o facultados que confiere.
- En la correspondiente cartilla de "Artillero" se hará constar, por lo demás, si el titular es apto solo para efectuar pegas con mecha, o solo para pegas eléctricas, o para ambas, y para realizarlas en exterior o interior, especificando en este último caso si le faculta para efectuarlas en minas con atmosferas inflamables.
- La Dirección Facultativa comunicará anualmente a la autoridad minera

correspondiente las altas y bajas en la relación nominal de este personal.

- Las restantes personas que manejen o manipulen explosivos, distintas de los artilleros anteriormente aludidos, deberán ser debidamente instruidas por la Dirección Facultativa, en los términos que establezcan, al respecto, la Disposición Interna de Seguridad.
- No podrá realizarse simultáneamente la carga de los barrenos y su perforación.
- Antes de proceder a la carga del explosivo, los barrenos se limpiarán adecuadamente al objeto de evitar rozamientos, atranques de los cartuchos, etc.
- Para efectuar el retacado de los barrenos, se utilizarán atacadores de madera y otros materiales adecuados, que no sean capaces de producir en contacto con las paredes del barreno, chispas o cargas eléctricas.
- Durante las operaciones de carga del explosivo, así como durante el correspondiente disparo, se evitará la presencia de personas ajenas a las debidamente autorizadas para la voladura, así como a las directamente implicadas en los trabajos de excavación.
- Todo barreno cargado quedará bajo vigilancia cuando sea posible el acceso al mismo y no esté debidamente señalizado.
- En el cebado con mecha, la longitud de esta misma, contada desde la boca del barreno, no será en ningún caso inferior a 1,50 metros con ello se asegura que el tiempo de explosión es superior a tres minutos.
- En la operación de encendido de mechas, se dispondrá de un testigo de 0,70 metros de longitud, el cual una vez se haya consumido indicará el momento de la evacuación de la zona de voladura.
- En ningún caso se procederá al disparo de más de seis detonadores ordinarios por voladura.
- Caso de producirse un barreno fallido en la voladura, deberá señalizarse el mismo, hasta el momento de proceder a hacerlo inofensivo, lo cual se realizará de acuerdo con el punto 9.3 de la ITC-10.2.01.
- En voladuras próximas a edificaciones, además de la necesaria limitación de la carga operante (carga explosiva que se hace detonar con el mismo número de secuenciación), se deberán cubrir todas las voladuras (ya sea con tierra u otros medios), al objeto de eliminar las proyecciones de roca, y reducir en gran medida la onda aérea producida, causante de un gran número de quejas psicológicas, que, si

bien son generalmente injustificadas, producen los conocidos inconvenientes.

- El detonador se adosará al principio del cordón detonante, con el fondo de este dirigido en el sentido de la detonación.
- Queda prohibido el uso de mecha ordinaria para disparar más de seis barrenos en cada pega. En casos especiales, que precisan la autorización previa de la Dirección Provincial del Ministerio de Industria y Energía, podrá darse fuego a más de seis barrenos, utilizando mecha rápida de encendido, unida a la mecha de cada barreno por medio de conectores o artificios.
- Se prohíbe terminantemente recargar fondos de barrenos, reprofundizar los barrenos fallidos y utilizar fondos de barrenos para continuar la perforación.

7.- MAQUINARIA.

Las operaciones de carga de los bloques, transporte de estos por la cantera, limpieza del escombro, preparación de los lechos de arena para poder volcar los grandes bloques, así como el empuje de las sucesivas subdivisiones de bloques, se realizan con palas cargadoras, éstas disponen de una serie de accesorios de acoplamiento rápido como:

- Dientes para manejo de bloques.
- Cuchara.
- Brazo de empuje.

Se prevé una pala cargadora en cantera con las siguientes características:

- Marca: Michigan L 320 (Imagen 7.1).
- Motor: Diesel CUMMINS, turboalimentado, de 4 tiempos inyección directa, con intercooler.
- Potencia: 417 Hp.



Imagen 7.1: Pala cargadora, Michigan L320.

7.1.-Transmisión.

- Convertidor de par: Clark, monofásico.
- Transmisión: Power-Shift, Clark, tipo contraeje, con embrague modulado en los

cambios de sentido. Cuatro marchas adelante / atrás.

7.2.-Capacidades.

- Depósito de combustible: 792 litros
- Sistema Refrigerante: 132.5 litros
- Sistema Hidráulico: 606 litros
- Depósito Hidráulico: 345 litros

7.3.-Cuchara.

- Capacidad a ras: 9.5 m³
- Capacidad colmada: 11.4 m³
- Peso de la cuchara: 4.681 Kg
- Carga estática de vuelco, recta: 29.770 Kg
- Completamente girada: 26.390 Kg
- Fuerza de Arranque: 389.6 KN
- Peso en orden de trabajo: 46.181 Kg

8.- PREVENCIÓN Y CONTROL DEL POLVO.

Los sistemas de control de polvo responden a alguna de las siguientes técnicas:

- Sistemas colectores de polvo.
- Sistemas supresores por vía húmeda.

8.1.-El polvo en las Canteras.

A continuación, se estudian las operaciones típicas en canteras y las medidas de control del polvo que se adoptan en cada una de ellas.

8.2.-Perforación.

Durante la perforación de las rocas se crea una gran cantidad de polvo que, si no es eliminado, además de afectar a la salud del personal, puede crear problemas de mantenimiento en las perforadoras. La supresión del polvo puede efectuarse por dos procedimientos: sistema húmedo y sistema seco.

El sistema húmedo consiste en añadir una pequeña cantidad de agua con o sin espumantes al aire de barrido. El polvo formado en el fondo del barreno es apelmazado y aparece en el exterior junto con los detritus de perforación.

Este sistema tiene la ventaja de su gran simplicidad y bajo coste de inversión, estando indicado en aquellas formaciones saturadas que den agua.

Los inconvenientes principales que presenta son: reduce la vida del útil de perforación, disminuye algo la velocidad de penetración aumenta los gastos y en climas fríos se producen problemas operativos.

El sistema de captación en seco está constituido por una campana de aspiración, una manguera flexible, un ciclón para separar las partículas gruesas y un filtro de mangas para las más finas, así como un ventilador para crear la depresión suficiente.

El polvo puede recogerse en bolsas o depositarse directamente sobre la superficie del banco. Con estos equipos, además de eliminar las partículas más peligrosas de una granulometría inferior a 5 micrómetros, se consiguen menores costes de mantenimiento y perforación, velocidades de penetración más altas y mejores condiciones de trabajo.

8.3.-Voladuras.

La contaminación del aire se produce al fragmentarse y proyectarse la roca. Esta producción de polvo puede reducirse retirando de la superficie todos los detritus de perforación y utilizando para el retacado material granular, tacos de arcilla etc.

8.4.-Extracción y carga.

En esta operación se efectúa la extracción o arranque mecánico y la carga de las rocas, produciéndose finos que se manifiestan durante el corte de la roca útil y el vertido del material sobre las unidades de transporte.

También se producen partículas finas que son arrastradas por el agua, en alguna técnica de corte que utilizan este fluido para la refrigeración de los útiles empleados. El lodo se acumula en determinados puntos y tras secarse puede dar lugar a polvo por el arrastre del aire.

Para evitar la producción de polvo se recurre a una limpieza frecuente de las superficies de los tajos.

8.5.-Transporte.

Es la principal fuente de polvo fugitivo que se genera por la circulación de camiones a través de las pistas y rampas de explotación. El peso de los vehículos hace que se trituren los materiales que constituyen la capa de rodadura, dando lugar a finos, y los propios

neumáticos transportan pequeñas cantidades de barro que se depositan a lo largo del trayecto, que se secan y desintegran generando polvo con el movimiento del aire.

8.6.-Taludes y escombreras.

La existencia de superficies desnudas en los bancos altos y en las escombreras, sobre las que incide el viento, constituye una fuente de formación de polvo importante, a la que debe prestársele especial atención.

La erosión eólica depende de la velocidad y turbulencia del viento, pudiendo tener lugar tres tipos de movimiento de las partículas: saltación, deslizamiento superficial y suspensión.

Estos movimientos se ven agravados por los climas secos, ausencia de vegetación, tráfico de vehículos, etc.

Los métodos de control de polvo son: instalación de pantallas cortavientos, implantación de vegetación y empleo de estabilizadores.

El primer método tiene una efectividad reducida, debido a que el efecto posee un carácter local y las superficies son en ocasiones irregulares y muy extensas. El establecimiento de la vegetación es la solución ideal, pues reporta numerosas ventajas frente a otros agentes erosivos como el agua y permite la integración paisajística.

9.- PLAN DE RESTAURACIÓN.

9.1.-Situación geográfica.

Se sitúa en los parajes de Casa del Narrillo y otros, término municipal de Valdemanco y se introduce ligeramente en el término municipal de La Cabrera, provincia de Madrid.

La ubicación cartográfica corresponde al Sureste de la hoja número 484 del Plano Geográfico Nacional a escala 1 / 50.000, adjunto en el Anexo 1: Mapas.

Está cruzado de Norte a Sur, por la carretera local de Cabanillas de la Sierra a Valdemanco, y de Norte a Este, por la carretera local de Valdemanco a La Cabrera.

El permiso de explotación tiene una extensión de seis (6) cuadrículas mineras para recurso geológico de Granito, cuyas coordenadas geográficas referidas al Meridiano de Greenwich y división sexagesimal son las siguientes:

Se tomará como punto de partida P.p.1. el vértice nº 1 determinado por la intersección del paralelo 40° 51' 20" de latitud norte y el meridiano 3° 38' 20" de longitud Oeste, cuyas coordenadas U.T.M. son X= 446148,72, Y= 4522997,58.

Se ubica sobre el terreno el punto (I) formado por la intersección del paralelo 40° 51' 20" N y el meridiano 3° 38' 40" W cuyas coordenadas U.T.M. son X=445679,42, Y=4522997,58. Marcado sobre el terreno con una barra embebida en la roca, las visuales trazadas desde este P.p.I. al vértice geodésico situado en la cima del monte Mondalino forma con el paralelo geográfico un ángulo al norte de 39.0061 grados centesimales y con el onacillo geodésico situado en la cima del monte Pendón forma con el paralelo geográfico un ángulo al sur de 19.2489 grados centesimales.

9.2.-Geología.

El macizo granítico que constituye el complejo cristalino de la España Central tiene sus últimas manifestaciones Orientales en esta zona. La Cordillera Central se ha originado

por fracturación durante el Terciario Superior, y cuyos materiales se formaron a su vez por metamorfosis y granitización de sedimentos Paleozoicos durante la Orogenia Herciana.

Granitos, Adamelitas y Granodioritas, son las rocas que integran las áreas graníticas, que metamorfizan materiales del Paleozoico Inferior extensamente transformados por Metamorfismo Regional, mientras que el Cretácico está plegado por Orogenia Posterior Alpina, que es la que determinó el emplazamiento de estos granitos, que se suponen Hercianos.

Los granitos y granodioritas de grano grueso son recursos de estructura granulada. En ellos la biotita y aún más la plagioclasa, son idiomorfas o hipidiomorfas, mientras que el cuarzo y el feldespato alcalino, especialmente éste último, son totalmente alotiomorfos, y ocupan los espacios dejados por el reto de los minerales.

La proporción relativa entre los feldespatos es variable. El cuarzo siempre abundante en estos recursos, aún en los granodioríticos, no presenta características estructurales especiales.

Fruto del Análisis por Difractometría, realizado en el laboratorio de la E.T.S.I.M. de Madrid, con muestras procedentes de dicha zona, se encontraron las siguientes Especies Químicas o Mineralógicas:

Con picos intensos:

CUARZO
ANORTOCLASA
ORTOCLASA
MUSCOVITA

Con picos débiles:

CHAMOSITA

9.3.-Hidrología e hidrogeología.

La zona de explotación se encuentra por encima de cualquier nivel freático y no es atravesada por ningún arroyo.

9.4.-Clima.

Según datos aportados por la Estación Termopluviométrica de la Presa de Río Sequillo (la más próxima), la zona a explotar tiene la siguiente climatología (Tabla 9.1) y termometría (Tabla 9.2):

Precipitación media entre 2.000 y 2.018.	673 mm	
Precipitación media (en mm)	95	106
Número de días de nieve	1	7
Número de días de granizo	0	0
Número de días de tormenta	13	25
Número de días de escarcha	33	36
Número de días de nieve cuajada	1	4
AÑO	2.017	2.018

Tabla 9.1: Climatología.

Temperatura máxima anual (° C)	35.0
Temperatura mínima anual (° C)	- 7.0
Temperatura media anual (° C)	12.1

Tabla 9.2: Climatología.

9.5.-Vegetación y Fauna.

El tipo de vegetación es del tipo monte bajo compuesta principalmente por matorral, tomillo, etc.

La fauna de la zona está constituida por:

- Aves como el cuervo, el gorrión, la urraca y la codorniz.
- Reptiles como la lagartija y la culebra.
- Mamíferos como el conejo.

9.6.-Paisaje.

El lugar de la explotación se sitúa en la estribación Sur de la Sierra de Guadarrama, y a una altitud de 1.060 metros sobre el nivel del mar.

La morfología, es abrupta, caracterizada por la existencia de abundantes afloramientos rocosos y de bolos en superficie, así como de ausencia de vegetación arbórea.

9.7.-Descripción de las características del aprovechamiento.

Fruto de las labores de Investigación realizadas, se comprobó comercialmente hablando, que el granito encontrado es conocido comercialmente como Blanco Castilla, de probada aceptación comercial en terminación pulida.



Imagen 9.1: Granito Blanco Castilla.

9.8.-Identificación y predicción de impactos.

Los problemas relativos al medio ambiente que pueden surgir en la implantación y desarrollo de una actividad minera son función de las características de tales acciones y del lugar en que se proyecta.

Para llegar a conocer el origen y condición de los efectos, es conveniente trabajar de forma sistemática eligiendo la utilización de " Matrices ", tablas de doble entrada, donde en un eje aparecen las actividades y operaciones características que se llevan a cabo en el proyecto, y en el otro eje, las listas de chequeo de indicadores de posibles impactos.

Resumiremos las alteraciones producidas por este tipo de minería a cielo abierto sobre los elementos, procesos y características ambientales.

9.8.1.-Sobre la atmósfera.

Contaminación (partículas sólidas, polvo y gases) consecuencia de las operaciones de apertura de huecos, creación de escombreras y tráfico de maquinaria pesada, y en menor medida, de la construcción de infraestructura (viales, plantas de tratamiento, etc.)

Ruidos, cuyas fuentes de emisión coinciden con las que se producen la contaminación antes citada.

9.8.2.-Sobre el agua superficial.

Alteración permanente de los drenajes superficiales; será tanto mayor cuanto mayor sea la modificación fisiográfica producida.

Contaminación (aumento de turbiedad por partículas sólidas, elementos tóxicos disueltos, acidificación, etc.) derivada de las operaciones necesarias para la creación de escombreras, tráfico de maquinaria, bombeo y descarga de efluentes, tratamiento del mineral, implantación de viales e infraestructura, etc.

9.8.3.-Sobre las aguas subterráneas.

Alteración del régimen de caudales motivados por la creación de huecos y bombeo de agua de niveles freáticos seccionados.

Contaminación (aceites, hidrocarburos, etc.) derivada fundamentalmente del mantenimiento de maquinaria.

9.8.4.-Sobre el suelo.

Ocupación de suelo fértil por la creación de huecos y escombreras y por la construcción de la infraestructura asociada a la explotación.

Alteración de las características y procesos edáficos en los alrededores de la explotación debido a la acumulación de residuos, elementos finos, polvo, etc.

9.8.5.-Sobre la flora y la fauna.

Eliminación o reducción de la cubierta vegetal; entorpecimiento de su regeneración (pérdida de elementos fértiles, aumento de pendiente y erosión, etc.).

Eliminación o alteración de hábitats terrestres y acuáticos para la fauna.

Perturbación sobre la fauna causadas por la explotación en su fase de funcionamiento (tráfico, ruido, polvo, etc.).

9.8.6.-En los procesos (Riesgos Geofísicos).

Aumento del riesgo de desprendimiento, deslizamiento o hundimiento motivados por los grandes movimientos de tierras.

Incremento de sedimentación aguas abajo, originado por la creación de escombreras e infraestructura.

Aumento de erosión derivado, directamente, de las operaciones extractivas y de la creación de taludes y escombreras, e indirectamente de la eliminación de la cubierta vegetal protectora.

9.8.7.-Sobre la morfología y el paisaje.

Modificación de las características visuales de la zona, proporcionales a la alteración fisiográfica producida.

Alteración de la calidad paisajística, principalmente pérdida de naturalidad (introducción de formas, líneas, colores y texturas discordantes con los del entorno, introducción de elementos artificiales, infraestructura).

Conocidas las alteraciones producidas por este tipo de actividad, procederemos a hacer una valoración cualitativa de los impactos.

9.9.-Características de los impactos.

En el cuadro siguiente (Tabla 9.3) analizaremos una serie de características de los impactos, dándoles un valor y asignándoles una definición para mejor conocimiento de éstas.

CARACTERÍSTICA RELATIVA A:	VALOR NOTA	DEFINICIONES
1.- Carácter genérico del impacto	Beneficioso Adverso	Consideración positiva al estado previo a la actuación. Consideración negativa respecto al estado previo a la actuación.
2.- Tipo de acción del impacto (relación causa-efecto)	Directa Indirecta	Indica el modo de producirse la acción sobre los elementos o características ambientales.
3.- Sinergia o Acumulación.	Si No	Existencia de efectos poco importantes individualmente considerados que pueden dar lugar a otros de mayor entidad actuando en su conjunto, o posible inducción de impactos acumulados.
4.- Proyección en el tiempo	Temporal Permanente	Si se presenta de forma intermitente mientras dura la actividad que lo provoca. Si aparece de forma continuada o tiene un efecto intermitente, pero sin final.
5.- Proyección en el espacio.	Localizado Extensivo	Si el efecto es puntual. Si se hace notar en una superficie más o menos extensa.

6.- Cuenca espacial del impacto.	Próximo a la fuente.	Si el efecto de la acción se produce en las inmediaciones de la actuación.
	Alejado de la fuente.	Si el efecto se manifiesta a distancia apreciable de la actuación.
7.- Reversibilidad (por la sola acción de los mecanismos).	Reversible	Si las condiciones originales reaparecen al cabo de un cierto tiempo.
	Irreversible.	Si la sola acción de los procesos naturales es incapaz de recuperar aquellas condiciones originales.
8.- Recuperación.	Recuperable.	Cuando se pueden realizar prácticas o medidas correctoras viables que aminoren o anulen el efecto del impacto, se consiga o no alcanzar o mejorar las condiciones originales.
	Irrecuperable	Cuando no son posibles tales medidas correctoras.

Tabla 9.3: Características de impactos.

Además de analizar las características apuntadas, realizaremos un dictamen sobre los siguientes puntos:

9.- La necesidad o posibilidad de poner o no en práctica medidas correctoras para aminorar o evitar la alteración causada por la acción, en función de la importancia de esa acción.

10.- La probabilidad de ocurrencia o riesgo de aparición del efecto, sobre todo de aquellas circunstancias no periódicas, pero sí de gravedad, alta (A), media (M), o baja (B).

11.- La afectación o no a recursos protegidos, entendiendo por tales tanto monumentos del patrimonio histórico-artístico, arqueológico y cultural, espacios naturales protegidos, endemismos y especies animales y vegetales protegidos, como elementos relacionados con la salud e higiene humanas, infraestructura de utilidad pública, etc.

A la vista de las características del impacto y del resultado del citado dictamen se reúne la valoración global del efecto de la acción, su magnitud, según la siguiente escala de niveles de impactos:

- Compatible: Impacto de poca entidad. En el caso de impactos compatibles adversos habrá recuperación inmediata de las condiciones originales tras el cese de la acción. No se precisan prácticas correctoras.
- Moderado: La recuperación de las condiciones originales requiere cierto tiempo y es aconsejable la aplicación de medidas correctoras.
- Severo: La magnitud del impacto exige, para la recuperación de las condiciones iniciales del medio, la introducción de prácticas correctoras. La recuperación, aún con estas prácticas, exige un período de tiempo dilatado.
- Crítico: La magnitud del impacto es superior al umbral aceptable. Se produce una pérdida permanente a la calidad de las condiciones ambientales. Son poco factibles la introducción de prácticas correctoras.

9.10.-Alteraciones en la atmósfera y medidas correctoras.

Contaminación, fundamentalmente por partículas sólidas, polvo y gases, derivada de las operaciones de apertura de huecos, de la creación de las escombreras y del tráfico de camiones y maquinaria pesada (impactos severos), y en menor grado, de la construcción de

pistas (impactos moderados). En todos los casos enunciados, estos efectos son temporales, asociados con el período funcional de las operaciones.

La contaminación de la atmósfera se produce por la presencia de diversos compuestos que la impurifican. Es un fenómeno que se presenta a escala microscópica, pero con efectos que en muchas ocasiones son detectables a simple vista.

La polución del aire en minería es debida a distintas sustancias que, según su estado físico, pueden clasificarse en:

9.10.1.-Partículas sólidas y líquidas, gases y vapores.

Las partículas contaminantes en estado sólido, más conocidas por el nombre genérico de polvo, tienen diámetros comprendidos entre 1 y 1.000 micras. Se depositan por la acción de la gravedad, por lo cual son conocidas como materia sedimentable, y tienen una composición química muy variada según su procedencia. Constituyen la principal fuente de polución del aire en minería, encontrándose su origen en la acción del viento sobre las superficies excavadas, en la manipulación de los materiales, en el tráfico de vehículos, etc.

Los gases y vapores son resultado de la detonación de explosivos, de las emisiones de los motores térmicos de los equipos, etc. La intensidad de este tipo de contaminación es menos importante que la anterior.

Los efectos del polvo son muy numerosos y variados, en primer lugar, es motivo de molestias a las personas, y por tanto de quejas si existen núcleos urbanos próximos, ya que da lugar a un ensuciamiento general del entorno habitado y una disminución de la calidad del aire respirable que puede llegar a ser causa de enfermedades. Por otro lado, e independientemente de la toxicidad del polvo, da lugar a desgastes prematuros en los elementos móviles de equipos industriales y también produce efectos dañinos sobre la vegetación, por oclusión de las estomas de las plantas, que disminuye la aspiración de dióxido de carbono y agua necesitada por las mismas, y por la menor penetración de la luz.

Los límites máximos tolerables de presencia en la atmósfera de cada contaminante, aisladamente o asociado con otros en su caso, se recogen en la siguiente reglamentación:

- Ley 34/2007, de 15 de Noviembre, de Calidad del aire y Protección de la atmósfera.

- Real Decreto 102/2011, de 28 de Enero, relativo a la mejora de la Calidad del Aire.
- Real Decreto 115/2017, de 17 de Febrero, por el que se regula la comercialización y manipulación de gases fluorados y equipos basados en los mismos, así como la certificación de los profesionales que los utilizan y por el que se establecen los requisitos técnicos para las instalaciones que desarrollen actividades que emitan gases fluorados

Desde el punto de vista de medidas de control y prevención del polvo en las diferentes operaciones mineras, citaremos algunas de las que en esta explotación se pretenden llevar a cabo:

La principal fuente de polvo fugitivo es el producido en las labores de perforación. Esta fuente se ve reducida prácticamente en su totalidad regando la zona de perforación.

En la voladura se producen dos tipos de contaminación, una debida a los gases de reacción de los constituyentes químicos de los explosivos, que es inevitable y otra la producida por el polvo que se lanza al aire al proyectar y desplazar la roca. Esta última se aminorar mediante la utilización de agua como retacado de los barrenos (técnica de voladuras de recorte).

Por ser la obtención de bloques el principal objetivo de la explotación, la eliminación del polvo por este concepto se hace por medio de un regado superficial de los bloques.

Otra fuente de polvo es la producida por el transporte, por la circulación de camiones y otra maquinaria por las pistas y rampas de la explotación. El peso de los vehículos hace que se trituren los materiales de construcción de la capa de rodadura de las pistas dando lugar a finos; los propios neumáticos transportan también pequeñas cantidades de barro que se van depositando a lo largo del trayecto y que, tras su secado se desintegra generando polvo con el movimiento del aire.

El método de control de este contaminante, en este aspecto considerado, es bastante económico y efectivo. Emplearemos el riego, cuantificándose la eficacia de este sistema en el 84% para las partículas totales y 56% para las partículas inhalables.

El almacenamiento del mineral en pilas produce igualmente una contaminación por polvo fugitivo. No se tiene previsto almacenar el mineral en la zona, no obstante, si fuera

necesario, emplearíamos para contrarrestar esta contaminación, elementos de cubrición de estas pilas.

Las escombreras y taludes de roca expuestos a la acción del viento constituyen una fuente de polvo muy importante a la que prestaremos una especial atención.

9.11.-Control y prevención de la contaminación del agua.

El agua es uno de los recursos naturales más abundantes y constituye el medio básico de todos los procesos de vida.

El agua en la minería que nos ocupa procede fundamentalmente de las infiltraciones de los acuíferos interceptados y de la escorrentía superficial.

Los efectos hidrológicos que pueden provocar las explotaciones mineras se presentan bajo dos facetas. Por un lado, inciden sobre las aguas subterráneas y, por otro, sobre las aguas superficiales. Estos efectos se resumen en:

- Disminución de la calidad del agua. Hacen inadecuada el agua para el consumo humano, industrial, recreativo y cualquier otro uso que tenga el curso de agua y el acuífero.
- Causa daños ecológicos, alterando o eliminando las comunidades biológicas naturales presentes en los cursos de agua, y disminuyendo la diversidad de organismos.
- Deterioro del paisaje. La restauración paisajística de las áreas afectadas por la explotación minera debe abarcar a todos y cada uno de los elementos del medio, y al agua en particular como componente que caracteriza y modela dicho paisaje.

La apertura de huecos en lugares donde los freáticos son poco profundos puede provocar una modificación de los niveles piezométricos y además una alteración de la calidad de las aguas. En nuestro caso no vamos a afectar los mantos freáticos de la zona, habida cuenta de que se encuentra en un nivel inferior.

En nuestro caso no existe contaminación química de las aguas, al no haber

componentes en la roca susceptibles de oxidarse o de alterar el PH del agua al ser lixiviados por ella.

Los sólidos en suspensión constituyen una de las fuentes más frecuentes de contaminación física de las aguas. Esta se produce por la fuerza erosiva del agua que provoca en su circulación superficial el arrastre de partículas sólidas.

9.12.-Control de vibraciones y onda aérea producidas por voladuras.

La perforación y voladura ocupa un lugar destacado no solo por su peso dentro del coste de la operación, sino incluso por su influencia directa en los rendimientos y costes de las otras fases del ciclo: carga, transporte y aserrado.

Las principales alteraciones que producen las voladuras son:

- Vibraciones.
- Onda aérea.
- Proyecciones de roca.

Todas ellas pueden, en algunas circunstancias, originar daños potenciales en las estructuras próximas, y además ser causa de conflictos permanentes con los habitantes cercanos a la explotación.

Para solventar este problema será necesaria una mayor cualificación de los responsables de las voladuras, con el fin de reducir los niveles de las perturbaciones a un coste aceptable. Además, es necesaria, una labor de información, y de relaciones públicas por parte de la dirección de la explotación, que en algunos casos puede llegar a ser más eficaz que otras líneas de actuación.

Cuando un explosivo detona dentro de un barreno, se produce una liberación súbita de energía que se propaga radialmente en todas las direcciones, no circunscribiéndose en su actuación al volumen de roca que se desea fragmentar.

Los efectos de las vibraciones pueden clasificarse en tres grupos:

- Molestias a las personas que se encuentran próximas a las voladuras.
- Daños estructurales y arquitectónicos en las edificaciones.
- Inestabilidad en los macizos rocosos.

Las ondas sísmicas se clasifican en: Ondas internas y Ondas superficiales.

Las primeras se propagan en el interior del macizo rocoso existiendo dos tipos (Imagen 9.2): Ondas de compresión (P), y ondas de cizallamiento (S). La deformación de la roca puede ocurrir por un cambio de volumen debido a la onda de compresión, o por un cambio de forma debido a la onda de cizallamiento.

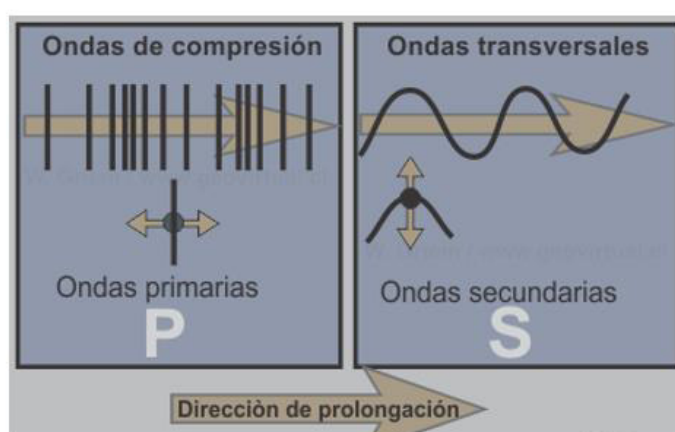


Imagen 9.2: Ondas en el interior del macizo rocoso.

Las ondas superficiales afectan a un espesor de roca aproximadamente igual a la longitud de onda. Las ondas superficiales son generadas por las ondas internas que no pueden transmitirse en el interior por condicionantes físicos o geométricos. La mayor parte de la energía es transportada por las ondas superficiales, que además se caracterizan por tener las frecuencias más bajas.

La apertura de las grietas por la expansión de los gases es el mecanismo que más contribuye a la vibración del terreno, generando ondas superficiales que no tengan gran dispersión, y que se disipan menos que las ondas internas.

Dentro de los daños que se pueden producir en las edificaciones se pueden diferenciar tres categorías principales con un número ilimitado de variantes dentro de cada una de ellas:

- Daños a equipos y material instalado dentro de la estructura, incluye diversos conceptos, tales como daños a componentes electrónicos, daños a ordenadores, etc.
- Daños arquitectónicos. Esta categoría incluye todos los daños que no afectan a la estructura o que la resistencia de ésta es capaz de soportar. Los tipos de daños más usuales son: rotura de ventanas, agrietamiento de enlucidos y alicatados, daños en paredes o muros que no son de carga y deformaciones en marcos de puertas y ventanas.
- Daños estructurales. Considera todos los daños que afectan a la integridad de la estructura resistente del edificio. incluye grietas en cimientos, agrietamientos de pilares, muros de carga, etc. y que pueden haber sido causados y agravados por las citadas vibraciones.

Todo este estudio de vibraciones debe basarse en las siguientes consideraciones:

- Importancia de la construcción, en términos de valor histórico, sensibilidad de los equipos instalados, etc.
- Condiciones y características de construcción del edificio.
- Empleo y funciones del edificio.
- Coste de reparación.
- Repercusión social de quejas y reclamaciones potenciales.

Así pues, puede ser posible, desde el punto de vista económico arriesgarse a unos costes de reparación de los daños potenciales mejor que imponer unos criterios de prevención fuertemente restrictivos, siempre que exista una garantía absoluta de no producir daños a las personas u otros seres vivos.

9.12.1.-Carga máxima por microrretardo en función de la distancia.

La carga máxima por microrretardo en función de la distancia (Tabla 9.4):

DISTANCIA A LA ESTRUCTURA EN METROS	CARGA MÁXIMA POR MICRO (KG)
10	2.5

16	4.5
20	7
25	10
30	13
35	17
40	21
45	25
50	30
60	39
70	49
80	60
90	71
100	83
125	116
160	150
175	190
200	240
250	330
300	430
400	670
500	930
1.000	2.640
1.500	4.800
2.000	70.400

Tabla 9.4: Carga máxima.

La detonación de una carga de explosivo dentro de un barreno desarrolla una alta presión debido a la expansión de los gases. Una vez que se produce la fracturación de la roca, los gases escapan hacia la atmósfera produciendo una perturbación conocida por onda aérea.

La onda aérea tiene dos componentes: el ruido, que es la parte del espectro comprendido entre 20 y 20.000 Hz, y que es percibido por el oído humano, y la vibración restante, que es la parte del espectro comprendido por debajo de 20 Hz, y que no es percibido por el oído.

Si las vibraciones terrestres van acompañadas por ruidos en las voladuras, en la mayoría de los casos, la apreciación del ser humano es totalmente subjetiva. En la figura adjunta (Tabla 9.5) se ilustra este fenómeno y llega a indicar que un observador es tres veces más sensible a las vibraciones acompañadas de ruidos que sin ellos.

254	PELIGRO	254	PELIGRO	254	PELIGRO
1016	RIESGO	1016	RIESGO	1016	RIESGO
508	SEVERO	508	RIESGO	508	RIESGO
254	SEVERO	305	SEVERO	254	SEVERO
178	SEVERO	254	SEVERO	51	SEVERO
51	MOLESTO	102	SEVERO	25	APRECIABLE
25	APRECIABLE	25	APRECIABLE	25	
8		15			
25		25			
Vibraciones en régimen permanente		Vibraciones en régimen transitorio con ruidos		Vibraciones debidas a voladuras con ruido	

Tabla 9.5: Vibraciones.

Las acciones que se seguirán para mitigar el nivel de la onda aérea son:

- Reducir la longitud del cordón detonante descubierto o cubrirlo con arena fina en un

espesor de 7 a 10 cm.

- Garantizar el confinamiento de las cargas de explosivos dentro de los barrenos con unas longitudes de retacado superiores a 25 veces el diámetro.
- Inspeccionar el frente antes de proceder a la perforación y efectuar las voladuras para que las cargas de explosivos en los barrenos dispongan de una dimensión de piedra igual a la proyectada.
- Controlar el ascenso del explosivo a granel dentro de los barrenos en aquellos terrenos con coqueras, a fin de eliminar las concentraciones puntuales.
- Construir pantallas de tierra y vegetales entre el área de la voladura y los puntos receptores para que la onda aérea se refleje en ellas.
- No disparar las voladuras cuando la dirección del viento coincida con la marcada por la propia pega y el área habitada.

Para controlar las proyecciones producidas por las voladuras, procederemos con las siguientes medidas:

- Replantearemos cuidadosamente el esquema de perforación, especialmente la primera fila de la voladura.
- Controlaremos la profundidad e inclinación de los barrenos una vez perforados.
- Realizaremos un cuidadoso retacado, midiendo su longitud y empleando el material más idóneo.

9.13.-Control de la erosión y sedimentación.

Definiremos la erosión como el desgaste de la superficie terrestre por la acción de agentes externos como el viento o el agua.

La erosión eólica tiene importancia según las circunstancias de la explotación, pero se puede asociar a movimientos de partículas muy finas como consecuencia de corrientes de aire, unas de carácter natural "viento" y otras provocadas por el paso de maquinaria pesada o por acciones que disgregan los materiales, hasta triturarlos y convertirlos en "finos"; luego los mueven y los dejan en suspensión en el ambiente, de manera que el viento los traslada de un lado para otro hasta que se depositan.

La erosión hídrica es más importante y de efectos más perjudiciales, se produce cuando se disgregan las partículas de los materiales superficiales y son arrastrados por la acción del agua.

El impacto de las gotas de lluvia sobre las superficies desnudas de los nuevos "suelos" de las áreas excavadas y de las construidas con los estériles, provoca, por un lado, una destrucción de los agregados de estos materiales produciendo una liberación de partículas finas y, por otro, una disminución de la velocidad de filtración como resultado de la formación de una costra más impermeable debido a la compactación.

Al caer más lluvia de la que puede infiltrarse en el suelo, se producen las escorrentías.

Según la forma de manifestarse, la erosión hídrica puede manifestarse en: laminar, en requeros o surcos, y en barrancos o cárcavas.

Los factores que van a influir en la erosionabilidad de los suelos y por tanto en los procesos de restauración son los reflejados en el esquema siguiente (Imagen 9.3):

FACTORES MORFOLÓGICOS	FACTORES LITOLÓGICOS	FACTORES METEREOLÓGICOS
TEXTURA		HUMEDAD
ESTABILIDAD DE AGREGADOS	EROSIONABILIDAD	PROPIEDADES QUÍMICAS
RESISTENCIA AL CUERPO CORTANTE		CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA
	CAPACIDAD DE FILTRACIÓN	

Imagen 9.3: Procesos de restauración.

Las acciones encaminadas a reducir la pérdida de suelo por erosión hídrica en una superficie afectada por la actividad minera, se centran en el modelo final y desagüe que, a

su vez tienen como objetivos principales, conducir por los lugares adecuados los excesos de agua que se pretendan durante las lluvias, de manera que impidan su entrada en los huecos de explotación y su contaminación química, con determinadas sustancias, y física por la disgregación y arrastre de los materiales superficiales por la acción erosiva del agua.

Se evitará igualmente, la elevación de los niveles freáticos para no afectar a la estabilidad de los taludes de las excavaciones y escombreras.

Las ultimas estructuras dispuestas para minimizar el efecto de la erosión son las balsas de decantación. Su misión principal es retener las aguas durante un período de tiempo suficiente que permita clarificarlas al decantarse los sólidos que arrastran en suspensión y posibilitar el almacenamiento de esos materiales hasta que se realice la limpieza de dichas estructuras.

9.14.-Estudio cuantitativo del impacto ambiental.

Las posibles alteraciones que pueden ocasionar en el ecosistema pueden contemplarse desde el punto de vista de magnitud de lo alterado y su relación con la totalidad del entorno, y desde el punto de vista de los elementos afectados por la alteración, la duración del efecto en cada uno de estos, la posibilidad de reversibilidad, grado de lesividad, etc.

En lo referente al primer punto, debemos destacar que las alteraciones originadas como consecuencia de las labores de explotación, comparadas con el entorno, resulta una alteración puntual del ecosistema existente.

Para cuantificar los impactos de forma numérica hemos confeccionado una matriz, siguiendo la matriz Leopold (Imagen 9.4) y la de la comisión internacional de grandes presas, y si bien el criterio de la valoración es ciertamente subjetivo, nos permite saber cuáles son los factores más o menos negativos y poder prever y aplicar, las medidas preventivas o correctoras más convenientes.

MATRIZ DE LEOPOLD

Categorías	Componentes	Parámetros	ESTRUTURANTES			MÉDIO		INVESTIGACIÓN		CONDIÇÕES		IMPACTO		
			Plantas	Plantas	Pnt. Final	Aerov.	Muestreo		Revisión	Construcción	Aerov.	Aerov.		
							Sin Cultivos Vegetal	Aparición Vicio Sudo					Muestreo	Condiciones
FÍSICO	SUELOS	Trasformación												
		Trasformación												
	CLIMA	Trasformación												
		Trasformación												
	ATMÓSFERA	Trasformación												
		Trasformación												
	AGUA	Trasformación												
		Trasformación												
	PAISAJE	Trasformación												
		Trasformación												
BIOLOGICO	FLORA	Trasformación												
		Trasformación												
	FAUNA	Trasformación												
		Trasformación												
	ECOSISTEMA	Trasformación												
		Trasformación												
SOCIOECONOMICO	POBLACIÓN	Trasformación												
		Trasformación												
	ECONOMÍA	Trasformación												
		Trasformación												
CULTURA	CULTURA	Trasformación												
		Trasformación												

Imagen 9.4: Ejemplo de Matriz de Leopold.

La valoración de los objetivos o acciones se hará en:

- Principal (I)
- Secundaria (II)

Los efectos sobre el medio por cada acción los miden estos tres parámetros:

- Impacto
 - Beneficioso (B)
 - Perjudicial o dañino (D)
- Certidumbre
 - Cierto (C)
 - Probable (P)
 - Imposible (I)
 - Desconocida (D)
- Grado de la acción
 - Menor (1)

- Moderado (2)
- Mayor (3)

El proyecto conlleva una acción, esta acción u objetivo es la extracción de bloques de granito.

Es indudable que el objetivo principal de la explotación es el de producir bloques de granito, luego esta acción se puede calificar como objetivo Primordial (I=Principal).

Estudiando ahora las alteraciones desde el punto de vista del medio afectado, convendrá ver cuanto soportarán esos factores, llegando luego a definir y evaluar su impacto con esa acción principal del Proyecto.

- El Hombre.

Es evidente que la producción de bloques de granito influye de forma beneficiosa para el conjunto de la población del área, en cuanto que genera puestos de trabajo que permiten elevar o al menos sostener el nivel de vida de la población y mantener el comercio local.

Por otra parte, podemos considerar que este método de explotación produce efectos negativos a corto plazo en las actividades recreativas y de protección del medio ambiente que desarrolla el hombre actual, si bien estos efectos son solo temporales.

- El Suelo.

El elemento más perjudicado del ecosistema es el suelo (en las pocas zonas donde existen), y será almacenado convenientemente en un lugar próximo a las parcelas a explotar, con el fin de ser extendido según vayan finalizando los sucesivos tramos de explotación.

A pesar de esto, detendremos su evolución y desarrollo, romperemos su equilibrio interno con la remoción y mezcla de los diversos horizontes y, durante el proceso de almacenado, se originará un empobrecimiento por pérdida relativa de humus y elementos fertilizantes.

Para compensar este empobrecimiento durante el proceso de almacenado, en su superficie, se realizará la siembra de especies herbáceas que desarrollen una cubierta vegetal,

a la vez que evitarán la pérdida de elementos finos por las aguas de escorrentía.

De esta forma, el ecosistema solamente se verá afectado en lo que es la superficie de la parcela por la retirada temporal del suelo.

- El Agua.

Con respecto a este elemento, consideramos que las labores de explotación alteran cuantitativamente la circulación del agua en la parcela, debido a la modificación de la permeabilidad y densidad del terreno, así como la eliminación de la cubierta vegetal, pero que no se contabilizará ni saldrá más allá de su ecosistema.

- La Vegetación y la Flora.

La futura retirada y almacenamiento temporal del suelo, trae consigo la desaparición de la vegetación que actualmente puebla la parcela y aunque a medio y corto plazo se recupere éste, el efecto es siempre perjudicial para el tapiz vegetal.

Por otra parte, la vegetación periférica al área de actividad minera corre peligro de ver disminuida su capacidad de fotosíntesis por el recubrimiento superficial de sus áreas verdes por el polvo generado por la actividad, sin embargo, estos perjuicios a medio plazo no tienen influencia sobre la vegetación ya que la que permanece, se encuentra sometida al proceso de lavado de las precipitaciones atmosféricas.

Con respecto a la flora, estimamos que resulta indiferente, ya que no pone en peligro ninguna especie vegetal, debido a que la modificación es puntual y queda suficiente superficie para que los posibles endemismos de la zona puedan desarrollar su ciclo completo.

- La Comunidad Animal y la Fauna.

Durante la realización de las labores de explotación y la recuperación de la capa vegetal, la comunidad animal se verá perjudicada al restringir su fuente de alimentación, aunque en este caso, no será apreciable por las reducidas dimensiones de la parcela afectada, por otra parte, limita su área de actuación al obligarles a extremar sus precauciones por la presencia continua del hombre en la zona.

Con respecto de la fauna, estimamos que al igual que con la flora, la explotación

resultará indiferente por no ser causa directa ni indirecta de la desaparición de alguna especie animal.

- El clima.

No incide.

- Efectos Erosivos.

Como efectos erosivos sólo se presentarán los puntuales, quedando limitados al área estricta de explotación y durante el tiempo que dure el laboreo minero.

Al no encontrarse ningún manantial en la parcela, el peligro de arrastre y enturbiamiento de las aguas de estos es prácticamente nula.

- Alteraciones del paisaje.

Las posibles alteraciones de los componentes del paisaje deben de considerarse como temporales, ya que inmediatamente a la restauración topográfica y cuando las condiciones climáticas lo permitan, se restablecerá de nuevo la capa vegetal que no contraste con la ya existente.

Por otra parte, destacaremos que la topografía del terreno no podrá ser una réplica exacta de la situación anterior, sin embargo, la magnitud de su extensión no la hace destacable y una vez conseguida la regeneración de la cubierta vegetal, habrá desaparecido todo contraste con el entorno circundante. También haremos notar que la no excepcional calidad estética del lugar, no hace pensar que se produzca algún tipo de inquietud por la alteración temporal del paisaje.

- Riesgos para personas y bienes.

Las labores mineras traen consigo como consecuencia inevitable la apertura de un frente más o menos vertical que puede alcanzar alturas de varios metros.

En el entorno próximo a la explotación se asientan algunas viviendas aisladas, por lo cual, en evitación de posibles situaciones de peligro de accidentes, para los que transiten ocasionalmente por la parcela o sus alrededores, se colocarán carteles anunciadores e

indicadores de las labores que se realizan.

- Magnitud de impactos y su evaluación.

Después de las consideraciones anteriores podemos valorar ya los efectos sobre el medio para cada una de las acciones u objetivos del Proyecto, y llegar luego al cuadro o Matriz que nos evalúe el impacto ambiental.

Los efectos sobre el medio afectarán, ya se ha dicho, al hombre, a la tierra, al agua, a la vegetación y a la fauna. Para medirlos, lo haremos enjuiciando su incidencia en las siguientes variables:

- Sobre el Hombre, por su:
 - Nivel de vida.
 - Empleo.
 - Demografía o asentamientos humanos.
 - Mercado de terrenos.
 - Recreo.
 - Aceptación social.
- Sobre la Tierra, por su:
 - Geomorfología.
 - Erosión.
 - Sedimentación.
 - Estabilidad.
 - Nivel freático.
- Sobre el Agua, por su:
 - Cambio en las condiciones de superficie y debajo.
- Sobre la Flora, por su:
 - Árboles forestales.
 - Arbustos.
 - Pastizales (matorral - hierbas)
- Sobre la Fauna, por su:
 - Animales terrestres.
 - Aves.

Las labores de aprovechamiento de granito ornamental crearán los siguientes desenlaces:

- Sobre el Hombre:

Es claro que el efecto será beneficioso en cuanto a:

- Nivel de vida (B)
- Empleo (B)
- Asentamiento demográfico (B)
- Mercado de terrenos (B).

Y tendrá un impacto negativo en:

- Recreo (D)
- Aceptación social (D)

Ya que aquellos cuatro sufrirán una revalorización, mientras estos dos, como suele ocurrir en toda ocupación, se reciben siempre con recelo por parte de la comunidad, aunque, pasado un tiempo y al ver que se crea riqueza, pueden cambiar de signo y aparecer como beneficioso o indiferente.

El segundo parámetro de Certidumbre se presenta como cierto en:

- Nivel de vida (C)
- Empleo (C)
- Mercado de terrenos (C)

Y como probable en:

- Demografía (P)
- Recreo (P)
- Aceptación social (P)

El tercer parámetro del Grado será mayor en:

- Nivel de vida (3)
- Empleo (3)

Moderado en:

- Mercado de terrenos (2)

Y menor en:

- Demografía (1)
- Aceptación social (1)
- Recreo (1)

- Sobre la Tierra.

Es aquí donde más se harán sentir los efectos dañinos o perjudiciales, aunque en nuestro caso , no tendrán tanta resonancia por sucederse en pleno monte, fuera de la vista de poblados y vías de comunicación, y porque no influirán en los usos tradicionales del suelo, ni en los movimientos migratorios de las aves, ni sobre otros recursos naturales; esto es así porque no existe relación de proximidad con parques ni otros espacios de excepción, ni con áreas de influencia socioeconómica natural, y porque tampoco afectarán a valores naturales que dañen:

- Valores artísticos:
 - Monumentos y restos arqueológicos.
 - Lugares recogidos por la literatura.
 - Árboles o bosques tradicionales.
- Valores Tradicionales:
 - Romerías.
 - Aprovechamientos consuetudinarios.
 - Ferias.
- Valores estéticos:
 - Entorno paisajístico de monumentos.
 - Paisajes sobresalientes.
- Valores florísticos u otros:
 - Turberas.

- Saladares.
- Endemismos.
- Área relictas o fósil.
- Biotopos críticos.
- Valores faunísticos:
 - Área de especies protegidas
 - Valores piscícolas o cinegéticos.
- Valores geográficos:
 - Nacimientos de ríos.
 - Fuentes.
 - Lugares pantanosos
 - Tierras fósiles.
 - Geología didáctica.
 - Valores hidrológicos.

Valores todos que minimizan la incidencia negativa, ya anunciada para este sector de la tierra, que tendría la siguiente evaluación para llevar a la Matriz adjunta (cuadro del final de punto).

El efecto aquí será perjudicial en:

- Geomorfología (D)
- Erosión (D)
- Sedimentación (D)
- Estabilidad (D)

Mientras que no incidirá en el nivel freático, dado que, al no discurrir por la parcela más aguas que las corrientes de escorrentía, es lógico deducir que dicho factor no sea ni perjudicialmente afectado.

El 2º parámetro, Certidumbre, se considera como cierto en:

- Geomorfología (C)

Como probable en:

- Erosión (P)
- Sedimentación (P)

- Estabilidad (P)

Y sin definir o improbable en:

- Nivel freático (I)

En cuanto a la 3ª variable de magnitud Grado, sus valores serán:

- Geomorfología (3) = mayor
- Erosión (2) = moderado
- Sedimentación (1) = menor
- Estabilidad (1) = menor
- Nivel Freático = no incide

- Sobre el Agua.

Como no existen cursos de agua, como puede haber cambios en alguna línea de escorrentía de las lluvias (aunque sin afectar a ningún curso mayor) y como pueden modificarse la permeabilidad y la densidad del terreno laboreado, los efectos aquí, por el cambio en las condiciones de superficie y debajo, serían:

- Impacto = Perjudicial (D)
- Certidumbre = Probable (P)
- Grado = Menor (1)

- Sobre la Flora.

Por lo ya dicho al hablar de la vegetación, y por lo también conocido de su escasa extensión ante la mucha superficie de la zona montañosa en que se enclava la parcela deducimos el siguiente Tabla 9.6:

PARÁMETROS	IMPACTO	CERTIDUMBRE	GRADO
Árboles Forestales	No incide	No incide	No incide
Arbustos	Perjudicial (D)	Probable (P)	Menor (1)
Pastos Matorral	Perjudicial (D)	Probable (P)	Menor (1)

Tabla 9.6: Flora.

- Sobre la Fauna.

El efecto es perjudicial, pues las especies deberán acomodarse al nuevo biotopo o abandonarlo: es cierto y de poca cuantía (Tabla 9.7):

PARÁMETROS	IMPACTO	CERTIDUMBRE	GRADO
Animales Terrestres	Perjudicial (D)	Probable (P)	Menor (1)
Aves	Perjudicial (D)	Probable (P)	Menor (1)

Tabla 9.7: Fauna.

- Sobre el Clima:

No incide.

El Resultado de todos los efectos de impacto ambiental, según los parámetros o componentes del medio examinado, se recogen y resumen en el siguiente cuadro Matriz.

Claves: AG = Agua; FLO = Flora; FAU = Fauna; C = Clima.

A continuación, se presentan los efectos del aprovechamiento a cielo abierto sobre el ambiente (Tabla 9.8 y Tabla 9.9).

E F E C T O S	Efectos del aprovechamiento a cielo abierto sobre el ambiente. Acción: Objetivos del disfrute a cielo abierto.	OPERACIÓN A CIELO ABIERTO		
	Objetivo Primordial	Principal (I)		
H O M B R E	Aceptación Social	D	P	1
	Recreo – Ocio	D	P	1
	Mercado de Terrenos	B	C	2
	Demografía – Aspectos Humanos	B	P	1
	Empleo	B	C	3
	Nivel de vida	B	C	3

Tabla 9.8: Aprovechamiento a cielo abierto (1ª Parte).

T I E R R A	Nivel Freático	---	---	---
	Estabilidad	D	P	1
	Sedimentación	D	P	1
	Erosión	D	P	2
	Geomorfología	D	C	3
A G	Cambio de las condiciones de superficie y debajo.	D	P	1
F L O	Pastizal – Matorral	D	P	1
	Arbustos	D	P	1
	Árboles Forestales	---	---	---
F A	Aves	D	P	1
	Animales Terrestres	D	P	1
C	Clima en general	---	---	---

Tabla 9.9: Aprovechamiento a cielo abierto (2ª Parte)

- Conclusión.

Del cuadro resumen anterior se desprende que el Impacto, aunque negativo, es PEQUEÑO o MODERADO debido, fundamentalmente, a su poca extensión (es de carácter puntual o local), a las tareas inmediatas de restauración que se proyectan y a que, este proyecto, permite seguir y controlar en cada momento las labores del disfrute e impedir que se llegue a situaciones que pudieran resultar críticas o irreversibles.

Se analizan en profundidad los efectos positivos o perjudiciales, con las acciones correctoras convenientes. De todo ello se deduce que el sector más afectado es la tierra y que es ahí donde más se ha de actuar para corregir lo que se dañe, regenerando debidamente el suelo, pues al mismo tiempo, se incidirá favorablemente en la vegetación y en la fauna, en plazo más o menos corto y con una mejora global en el medio físico-químico (Biotopo) y en su Biocenosis. En definitiva, sobre ese Ecosistema.

- Evaluación de Impactos en cifras numéricas.

El estudio de impactos se ha hecho siguiendo la normativa que viene siendo usual en esta clase de Estudios de Restauración. Pensando asimismo en la Legislación actual al respecto, creo necesario insistir algo más en el tema y desarrollarlo con criterios y directrices que permitan cifrar esa magnitud de los impactos en números que cataloguen esa cuantía según unas escalas de valores:

- Entorno y niveles de extensión.

Según los componentes del espacio que se estudie, así será de amplio el entorno afectado y estos sus niveles de extensión:

- Nivel Inmediato, o localizado en la superficie de actuación.
- Entorno cercano, hasta 2Km. de radio del centro de la parcela, con incidencia en la fauna, paisaje, acuíferos, etc.
- Entorno Comarcal, donde unos efectos se diluirán, pero otros tendrán mucho que ver (sobre los ríos, la fauna, etc.).

- Efectos de Impacto.

Nos moveremos dentro de tales entornos y veremos las consecuencias de la explotación sobre los procesos naturales (Impacto Ecológico), su incidencia sobre el paisaje (Impacto Paisajístico) y los efectos socioeconómicos (Impacto Socioeconómico). Éstos en nuestro caso son beneficiosos y altamente importantes.

- Valoración y puntuación de Impactos.

La valoración para cada característica del Impacto se hará mediante los siguientes parámetros con la puntuación o escala especificada:

- Naturaleza
 - Beneficioso (+)
 - Perjudicial (-)
 - Neutro (0)
- Magnitud
 - Alta = 3
 - Media = 2
 - Baja = 1
- Extensión
 - Extenso = 3 (todo el ámbito)
 - Parcial = 2
 - Puntual = 1
- Momento en que se produce
 - Inmediato = 3
 - Medio = 2
 - Largo Plazo = 1
- Persistencia
 - Permanente = 3
 - Temporal = 1
- Reversibilidad del efecto
 - Imposible = 4
 - Largo Plazo = 3
 - Medio Plazo = 2
 - Corto Plazo = 1

Según estas escalas de las nuevas variables medidoras y visto cuanto se ha expuesto a largo de todo este capítulo de Impacto Ambiental, valoramos numéricamente sus efectos según los siguientes cuadros:

IMPACTO ECOLÓGICO (Tabla 9.10).

EFFECTOS O IMPLICACIONES ECOLÓGICAS	N	M	E	Mo	P	R	VAL
Sobre la TIERRA							
Erosión	---	1	1	1	1	1	-5
Sedimentación	---	1	1	2	1	1	-6
Estabilidad	---	1	1	1	1	1	-5
Nivel Freático	0	0	0	0	0	0	0
							-16
Sobre el AGUA							
Alteraciones en la superficie y debajo.	---	1	1	2	1	1	-6
							-6
Sobre la FLORA							
Árboles Forestales	0	0	0	0	0	0	0
Arbustos	---	1	1	2	1	1	-6
Pastizales	0	0	0	0	0	0	0
							-6

Sobre el CLIMA							
En general	0	0	0	0	0	0	0
							0
Sobre la FAUNA							
Animales Silvestres	---	1	1	2	1	1	-6
Aves	0	0	0	0	0	0	0
							-6
IMPACTO ECOLÓGICO		6	6	10	6	6	-34

Tabla 9.10. Impacto ecológico.

Dónde:

N = Naturaleza

M= Magnitud

E = Extensión

Mo = Momento en que se produce

P = Persistencia

R = Reversibilidad

IMPACTO PAISAJÍSTICO (Tabla 9.11).

EFFECTOS O IMPLICACIONES PAISAJÍSTICAS	N	M	E	Mo	P	R	VAL
Geomorfología	---	2	1	1	1	2	-7
Pérdida de calidad del paisaje	+		1	2	3	2	+8
Recreo	-	1	1	2	1	1	-6
Aceptación social	-	1	2	2	1	1	-7
							-12

Tabla 9.11. Impacto paisajístico.

N = Naturaleza

M = Magnitud

E = Extensión

Mo = Momento en que se produce

P = Persistencia

R = Reversibilidad

IMPACTO SOCIOECONÓMICO (Tabla 9.12).

EFFECTOS O IMPLICACIONES ECONÓMICO-LABORALES	N	M	E	Mo	P	R	VAL
Nivel de vida	+	3	2	2	2	2	+11
Empleo	+	2	2	2	2	2	+10
Asentamientos Humanos	+	1	1	2	1	1	+6
Mercado de Terrenos	+	1	1	2	1	1	+6
Infraestructura	+	1	1	2	1	2	+8
							+41

Tabla 9.12. Impacto socio-económico.

N = Naturaleza

M = Magnitud

E = Extensión

Mo = Momento en que se produce

P = Persistencia

R = Reversibilidad

IMPACTO GLOBAL (Tabla 9.13):

IMPACTOS PARCIALES	N	M	E	Mo	P	R	VAL
Ecológico	-	1	1	2	2	2	+11
Paisajístico	-	1	1	2	2	2	+10
Socioeconómico	+	1	1	2	1		+6
IMPACTO GLOBAL	-	2	2	2	+1	0	-5

Tabla 9.13. Impacto global.

N = Naturaleza

M = Magnitud

E = Extensión

Mo = Momento en que se produce

P = Persistencia

R = Reversibilidad

Conclusiones.

Cifras finales éstas que ante un intervalo u oscilación de 320 y 100, como valores máximos y mínimos en sentido positivo y negativo según la escala adoptada para esta evaluación de Impactos, permiten concluir que el valor perjudicial de -5 nos define esta Evaluación de Impacto Ambiental como de efecto mínimo, localizado tan solo en la superficie de actuación (nivel inmediato), de carácter temporal y perfectamente recuperable con las labores proyectadas para su restauración al comprobarse, con todo lo ya dicho que su intensidad es relativamente moderada y nunca alarmante por su buen grado de reversibilidad.

Valores también que el comentario final a todo este análisis de Impactos dominantes de la explotación debe recoger, para insistir en que el Proyecto es realizable pues, aunque sea negativa su ejecución en los aspectos ecológicos y paisajísticos, resulta altamente positiva desde el punto de vista socioeconómico.

A mayor abundamiento, y después de recalcar que ese efecto negativo global de las labores mineras apenas si tendrá relevancia por el entorno puntual donde tiene su acción , sin casi persistencia por ser pronto o fácilmente reversible, y dadas las motivaciones que se dieran como salvaguardia de la razón de lo aquí proyectado, procede finalizar este capítulo dejando constancia del acierto de lo en él desarrollado, cuando, tanto en estas conclusiones como en los comentarios breves, y aun con mediciones o escalas distintas, se llegó con ambos estudios del Impacto a resultados próximos o prácticamente coincidentes.

9.15.-Medidas previstas para la restauración del espacio natural.

Los principales efectos sobre el medio ambiente generados por la actividad de la explotación pueden resumirse en los siguientes apartados:

9.15.1.-Efectos sobre el uso del suelo.

En este sentido los efectos son totalmente inexistentes, debido a que la zona objeto de la explotación, no tiene ninguna utilidad económica, ni incluso para pasto de ovejas dado que se trata de un afloramiento rocoso, con la esporádica existencia de algún matorral.

9.15.2.-Flora y Fauna.

Dadas las reducidas extensiones de la zona de explotación, y las características de escasa vegetación y prácticamente nula fauna, no se producirán efectos dignos de reseñar en estos conceptos.

9.15.3.-Paisaje.

La morfología general del entorno, y la forma de explotación en hueco de cantera, hacen que la visibilidad de la explotación solamente sea posible accediendo a zonas de elevada cota, situadas en los montes próximos, y de difícil acceso.

9.15.4.-Calidad de las aguas.

La actividad de la explotación no afecta a ningún curso de agua. En cuanto al aporte de materiales en suspensión por parte de las aguas de lluvia, debe tenerse en cuenta que, por realizarse la explotación en hueco, estas aguas se almacenarán en una caldera en la que se producirá una decantación de las partículas de arrastre, y de esta caldera de almacenamiento se procederá al bombeo de aguas.

9.15.5.-Polvo contaminación atmosférica y ruidos.

La producción de polvo está restringida a la meramente producida por los martillos de perforación, la cual es bien reducida y de ámbito muy local, de cualquier modo, fácilmente eliminable con el simple empleo de un humectante.

El principal impacto en este capítulo radica en el hecho de que la extracción de bloques se hace mediante voladura con explosivos. Al tratarse sin embargo de voladuras realizadas por la técnica de recorte, la generación de vibraciones es mínima, la producción de polvo prácticamente nula y la producción de ruido se minimizará, con el recubrimiento con tierra del cordón detonante (principal causante del ruido).

10.- EJECUCIÓN PLAN DE RESTAURACIÓN.

10.1.-Acondicionamiento de la superficie del terreno.

En el momento en que el desarrollo de la explotación de la cantera lo permita, y en función del ritmo de producción, se procederá al extendido de tierra, en los bancos definitivos (terrazas) y posterior revegetación.

10.2.-Medidas para evitar la erosión.

La restitución parcial de la topografía de la zona, mediante la transferencia, unido a las labores de revegetación que son medidas tendentes a minimizar la erosión del terreno, que ya de por sí tiene una pequeña incidencia en el área de la explotación.

10.3.-Protección del paisaje.

Teniendo en cuenta que se pretende realizar un relleno parcial del hueco creado por la explotación, su recubrimiento de tierra y posterior revegetación, tanto en el centro del hueco como en los bancos definitivos, resulta evidente la alteración del paisaje será positiva, ya que se pondrá vegetación en una zona que carece prácticamente de ella.

10.4.-Revegetación.

Antes de producirse a la revegetación de los terrenos, y después de efectuada la restitución parcial del hueco, con los banqueos perimetrales definitivos, se realizará el extendido de la tierra vegetal, con un espesor mínimo de 20 centímetros. Esto también se hace extensible al vacío exterior.

A continuación, y con el fin de mejorar las características del terreno, se procederá a

realizar un abonado orgánico en cantidades de 400 Kg/ha.

Las especies elegidas para la revegetación son propias de la zona, y fácilmente adquiribles en el mercado.

Las especies que plantar son las siguientes:

- Árboles:
 - Acer Campestre
 - Populus Nigra
 - Ulmus Pumila
 - Pinus Pinea
- Arbustos:
 - Crataegus Monogyna
 - Rosa Canina
 - Lavandula Pedunculata
 - Thymus Mastichina
- Herbáceas:
 - Festuca Elatior
 - Lallium Perenne
 - Trifolium Subterraneum

Las cantidades que emplear son las siguientes:

- Para las especies arbóreas, plantación en hoyos a marco real de 4 x 4 metros, es decir, para el total de la zona a revegetar 300 unidades.
- Mezcla de arbustos, plantación de hoyos de manera irregular dispersa (1.000 unidades)
- Siembra de pratenses, a voleo a razón de 80 Kg/Ha, lo que supone un total de 40 Kg.

11.- OTROS MEDIOS DE EXPLOTACIÓN.

11.1.-Corte con hilo.

Fue desarrollado en Italia, y supuso, en su momento, un extraordinario avance en la técnica de arranque de rocas ornamentales, que hasta entonces continuaba con los mismos sistemas de la antigüedad.

El método de arranque de rocas ornamentales con hilo consiste en la independización y sucesivas etapas de división hasta obtener un bloque escuadrado de dimensiones comerciales.

La utilización de esta técnica permite un excelente aprovechamiento de la roca, reduciéndose la producción de detritus en base a un acabado plano de las caras, que eliminan gran parte de las labores de escuadrado final.

En su contra, el corte con hilos es de rendimiento y productividades bajas, lo que hace que las labores de subdivisión ulteriores se realicen fundamentalmente con otros sistemas.

El sistema de corte se realiza con equipo cuya herramienta de corte es un hilo de acero, que actúa como conductor de materiales abrasivos y refrigerantes, y que circula a una velocidad determinada sobre la superficie del macizo rocoso, a independizar.

El equipo está compuesto básicamente de los siguientes elementos:

- Grupo motor, constituido por un motor de accionamiento eléctrico o diésel (25-40 CV), que, a través de un embrague y caja de cambios, transmite el movimiento a una serie de poleas motrices. La velocidad lineal del hilo está comprendida entre 6 y 14 m/seg.
- Sistema móvil de contrapeso, que permite mantener el circuito del hilo en tensión (hasta 300 Kg por 1000 ml de hilo)
- Batería de poleas de reenvío, enfrentadas al grupo motor, y cuya función es disponer en un corto espacio (50-100 m), la mayor parte del hilo en la operación.

- Una serie de columnas con poleas móviles de avance automatizado, ubicadas en los extremos de la superficie de corte.
- Equipo de almacenamiento y dosificación de la mezcla de abrasivo y agua, con alimentación directa al punto de entrada del hilo en el macizo rocoso en corte.

La longitud del hilo en operación debe estar de acuerdo con el principio de que se pueda realizar, dentro de la vida útil del mismo, cada superficie prevista de corte. La operación con hilo implica un desgaste y continua reducción en diámetro, que dificultaría su cambio en el curso de un corte debido a la mayor sección del nuevo.

La vida útil del hilo es muy variable, dependiendo fundamentalmente de los contenidos en sílice y dureza del material a cortar. El rendimiento del hilo se puede establecer entre 20 y 50 ml/m² de superficie en operación, con longitudes totales comprendidas entre 1.000 y 2.000 ml. Ambos parámetros definen los valores máximos de las dimensiones de la superficie de corte en operación.

Las características del hilo helicoidal corresponden a los siguientes valores:

- Composición: 1 x 3 + 0
- Diámetro normal del cable: 5.15 mm
- Diámetro del alambre: 2.40 mm
- Sección metálica: 13.56 mm²
- Peso aproximado: 0.115 Kg/ml
- Carga de rotura efectiva: 1.500 Kg/mm²

Los dos tipos de hilos existentes son:

El llamado de torsión simple con el arrollamiento en la misma dirección para toda su longitud, y el de torsión alternada con cambios cada 50 m, que permiten la obtención de superficies de corte totalmente planas y mayor capacidad de arrastre del abrasivo.

El material abrasivo, que actúa como elemento de corte activo, se alimenta en vía acuosa a la entrada del hilo en el macizo en corte, y está compuesto habitualmente por arena silícea o granalla de carburo de sílice.

La arena silícea, abrasivo más usado en España, debe tener una granulometría

inferior a 2 mm, contenidos en SiO_2 mayores del 90 % y aristas lo más vivas posibles. Los consumos habituales están comprendidos entre 200 y 500 Kg/m².

El consumo del agua es del orden de 250 l/h, equivalente a 160-425 l/m² de superficie cortada, dependiendo de los rendimientos de corte alcanzados. El método de arranque se realiza a través de una serie de etapas que son las siguientes:

Etapas 1:

Consiste en la apertura de un cuele de dirección normal al banco en explotación. Este hueco permitirá la progresión de las labores de independización a ambos lados de éste. La forma del cuele suele ser en "V" aunque también puede realizarse en "U", con unas dimensiones aproximadas de 2 m sobre la cara del banco, y 10 m de fondo.

La función de este hueco es proveer espacio para la realización de los sucesivos cortes horizontales y verticales de los macizos adyacentes.

Los rendimientos de corte, prácticamente similares en todas las operaciones que impliquen el uso del hilo helicoidal, oscilan entre 0,6 y 1,5 m²/h.

La operación de corte comienza con la perforación de un barreno vertical de diámetro comprendido entre 200 y 250 mm, en el vértice de la "V", y continua con el corte por hilo conducido por dos poleas, una en el interior del barreno, y otra situada en el exterior, frente a la cara del banco para realizar el primer corte vertical. Una vez finalizado, se horizontaliza la columna exterior, y continua el corte en abanico que completa la base de ésta. El último corte vertical en el otro lateral de la "V" completa la independización de la cuña.

El macizo independizado se extrae por medios mecánicos.

Etapas 2:

Consiste en la ejecución de un corte horizontal sobre la base de los grandes macizos ubicados a ambos lados del hueco creado.

La longitud de cada macizo es del orden de 15/20 m, en función siempre de la adecuación del binomio vida útil del hilo y superficie prevista de corte por plano.

Etapas 3:

Se realiza una subdivisión del gran bloque anterior mediante cortes paralelos al frente, y distancias entre ellos del orden de 2 a 3 m.

Las dimensiones de los bloques oscilan entre los 15 a 20 m de largo, 5 m de altura y 2 a 3 de fondo.

El bloque será volcado sobre la plaza de la explotación previo la creación de un colchón amortiguador constituido por arena o detritus. Una vez el bloque en la plaza, comienza la etapa final para obtención de bloques de medidas comerciales mediante sucesivos cortes y escuadrado final.

La moderna tecnología de corte con hilo ha supuesto la introducción del hilo diamantado, que permite con menos longitudes de cable en operación, rendimientos de corte muy superiores, manteniendo una calidad de acabado muy similar a la alcanzada con el hilo helicoidal tradicional. Su utilización supone una mejora de las condiciones ambientales y de seguridad de las canteras, ya que se eliminan los largos y complejos trazados del hilo tradicional, así como las necesarias instalaciones fijas.

Operativamente sustituye en casi todas las posibles aplicaciones al hilo helicoidal, especialmente en canteras estructuradas en diferentes bancos de explotación.

Los equipos de hilo diamantado están compuestos básicamente por los siguientes elementos:

- Grupo motor, con accionamiento eléctrico, y potencia de 30-50 CV, que actúa sobre la polea conductora del hilo, montado sobre un chasis móvil.
- Conjunto guía compuesto por dos carriles sobre los que se mueve el sistema de accionamiento, y carrera de unos 6 m.
- Sistemas automáticos de control de arranque, velocidad y tensión del hilo, paradas por rotura o final de carrera, etc.

Las velocidades lineales del hilo se mueven en la gama 0-40 m/seg, con longitudes en operación inferiores a 60 m.

El hilo diamantino consiste en un cable de acero inoxidable que lleva engarzado, a modo de cuentas de collar, unos insertos diamantinos de forma cilíndrica, con separadores constituidos por muelles.

Las características básicas del cable diamantado son las siguientes:

- Diámetro del cable guía: 5mm
- Diámetro del inserto diamantado: 10mm
- Longitud del inserto diamantado: 8.5 mm
- Longitud útil diamantada: 6 mm
- Separación de insertos: 30 mm
- Numero de insertos: 33.4 ud/ml

La técnica de operación con el hilo diamantado se basa en la perforación desde la superficie de dos barrenos perpendiculares y secantes que permiten cerrar el circuito del hilo en el plano de corte. El método de operación es el siguiente:

- Apertura del cuele normal al frente mediante cortes verticales laterales con hilo diamantado, vertical posterior y horizontal mediante perforación y cuñas.
- Corte vertical con hilo diamantado perpendicular al frente, desde dos barrenos secantes, vertical en la superficie del banco y horizontal en el pie de éste.
- Corte horizontal del gran bloque mediante cambio en la disposición de la polea motriz del equipo.
- Corte vertical posterior paralelo al frente disponiendo el equipo en el nivel superior. El bloque ya independizado se vuelca sobre la plaza, se transporta, subdivide y escuadra para su venta.

11.2.-Corte con rozadora de brazo.

Este sistema se aplica en aquellos macizos rocosos de dureza media a baja, contenidos bajos de cuarzo (< 2 por 100 SiO_2) y baja resistencia a la compresión (< 100 MPa).

La abrasividad y resistencia a la compresión definen la capacidad de fracturación de la roca, siendo preferible un mayor valor de resistencia a la compresión ligado a un bajo contenido en sílice que el concepto contrario, que asimilaría la roca a una piedra de afilar derivando en una escasa vida de la herramienta de corte.

Es necesario disponer de unas alturas de banco limitadas por el alcance del brazo cortador, y su uso está condicionado por la existencia y orientación de discontinuidades naturales, así como requerimientos en tamaño de bloques obtenibles. Sin embargo, permite obtener desde un principio los bloques finales, eliminándose las sucesivas fases de subdivisión que implican los sistemas anteriormente descritos.

El desarrollo de este sistema, inicialmente ligado al arranque de carbón y sales potásicas, se ha logrado a partir de los avances tecnológicos relacionados con la perforación, y aplicados en la herramienta de corte.

La rozadora consta básicamente de un brazo móvil y orientable, sobre el que se desplaza una cadena provista de picas como elemento de corte. El sistema de accionamiento es electrohidráulico con potencias entre 10 y 60 KW, y todo el conjunto desliza sobre carriles en la dirección del corte, con velocidades de avance de 2 a 10 cm/min y pendientes máximas de 15 °. El brazo es orientable para realizar cortes verticales y horizontales, con una longitud variable entre 1,5 y 3 m.

Sobre el perímetro del brazo se desplaza la cadena que arrastra las picas, situadas a intervalos en el orden de 40 mm, con velocidades lineales de 0,4 - 1,4 m/seg y anchura de corte de 4 cm.

El material que constituye las picas es carburo de tungsteno para materiales de baja resistencia y abrasividad, y compuestos diamantados para valores mayores. El sistema de operación de la rozadura permite obtener directamente el bloque comercial en base a la dimensión del brazo.

Las fases de operación consisten en una primera fase de sucesivos cortes paralelos, de dirección perpendicular a la cara del banco, seguido del corte horizontal a lo largo del frente, de acuerdo con el tamaño de bloques previsto, y alcanzable por la longitud del brazo.

Los rendimientos horarios de corte con esta técnica están comprendidos entre 4 y 10

m²/h para rocas de resistencia a la compresión inferior a 100 MPa y abrasividades medias a bajas.

11.3.-Corte con chorro de agua.

El empleo del chorro de agua a alta velocidad se ha usado tradicionalmente en la minería aluvional del estaño, carbón, arcillas cerámicas, etc. La aplicación de esta tecnología se ha desarrollado en nuevos campos, ligada al descubrimiento de equipos hidráulicos de potencia adecuada, robustos y fiables.

El equipo consta básicamente en una central hidráulica accionada por un motor eléctrico, y acoplada a una bomba hidráulica de alta presión, que a su vez acciona un multiplicador de presión, constituido por un pistón de doble efecto y movimiento alternativo, capaz de realizar entre 60 y 80 ciclos minuto. El efecto multiplicador se consigue por la diferencia relativa de superficies activas del pistón, uno de los cuales impulsa el agua a través de una boquilla inyectora en zafiro sintético y diámetros entre 0,1 y 1 mm.

El mecanismo de rotura de la roca debido al chorro de agua a alta presión se produce por efecto del choque de éste, y las microfracturas creadas consecuentemente. A una velocidad de 300 m/s, la presión creada es del orden de 150 MPa, próxima a la resistencia a la compresión de muchas rocas. Con 500 m/s, se alcanzan valores de 300 MPa, superiores a la resistencia de la mayoría de los materiales rocosos.

Los datos operativos alcanzados con equipos en prueba son los expresados en el Cuadro (Tabla 11.1):

Relación de multiplicación	Presión de Trabajo (MPa)	Caudal l/min
4:1	0-83	19-57
13:1	0-275	5,5-23
20:1	0-378	3,8-15

Tabla 11.1: Datos operativos alcanzados con equipos en prueba.

En pruebas realizadas sobre granito muy abrasivo, de 110 MPa de resistencia a la compresión, empleando una presión de trabajo de 240 MPa, caudal de 11,4 l/min, diámetro de boquilla de 0,4 mm y velocidad de agua de 680 m/s, se han alcanzado unos rendimientos de corte de 2 m/min, con avance en profundidad de 2 cm por pasada, equivalentes a 2,40 m²/h, que supone en el orden de 40 a 50 por 100 de los obtenidos realizado el corte con disco diamantado.

La aplicación de esta técnica supone un avance importante en los sistemas de corte, investigándose actualmente el uso de mayores presiones y la respuesta frente a diferentes tipos de roca.

12.-BIBLIOGRAFÍA.

12.1.-Libros.

- ASOCIACIÓN DEL GRANITO. Arquitectura en Granito. Galicia, España: Editorial Asociación Clúster del Granito, 2012.
- AVELLANEDA, JAUME. PARICIO, IGNACIO. Los Revestimientos de Piedra. Barcelona, España: Editorial Bisagra, 1999.
- AZCONEGUI M., FRANCISCO. CASTELLANO M., AGUSTIN. Guía práctica de la cantería. León, España: Taller Editorial, 1999.
- BUSTILLO REVUELTA, MANUEL. CALVO SORADO, JOSÉ PEDRO. Materiales de Construcción. Madrid, España: Fueyo Editores, 2005.
- LÓPEZ JIMENO, CARLOS. Manual De Rocas Ornamentales: Prospección, Explotación, Elaboración y Colocación. Madrid, España: E.T.S.I. Minas Universidad Politécnica de Madrid, 2012.
- FERNÁNDEZ MADRID, JOAQUÍN. Manual del Granito para el Arquitecto. Galicia, España: Asociación Gallega de Graniteros, 1996.
- GÓMEZ OREA, DOMINGO. GOMEZ VILLARINO, M^a. TERESA. Evaluación de impacto ambiental: un instrumento preventivo para la gestión ambiental. Madrid, España: Mundi-Prensa, 2003.
- HUGUES, THEODOR. STEIGER, LUDWING. WEBER, JOHANN. Piedra Natural. Detail Praxis. Barcelona, España: Gustavo Gili, 2008.
- LÓPEZ MESONES, FERNANDO. NIEVES AGUIRRE, GREGORIO. ESCRIBANO VILLÁN, JOSEBA. Manual para el Uso de la Piedra en la Arquitectura. Bilbao, España: Editora Informstone Technic & Business., 2001.
- PRICE, MONICA T. Rocas Ornamentales: Identificación, Usos, Geología, Asociaciones Históricas. Barcelona, España: Editorial Blume, 2008.

12.2.-Artículos y documentación en línea.

- SOCIEDAD DE INVESTIGACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE MINERA EN CASTILLA Y LEÓN (SIEMCALSA). La Piedra Natural de Castilla y León. España: Domènech e-learning multimedia, S.A., 2008.
- FERNÁNDEZ MADRID, JOAQUÍN. La Piedra y los Arquitectos hoy: dos actitudes. España: Universidad de Coruña, 1990.
- LÓPEZ GONZALES-MESONES, FRENANDO. La Piedra Natural El Recorrido De Los Minerales. Madrid, España: Domènech e-learning multimedia, S.A., 2007.

12.3.-Páginas web.

- Portales sobre el sector en general, con noticias relacionadas a maquinaria, productos, proyectos, artículos informativos y actualización de las fechas de los eventos importantes.
 - www.focuspiedra.com
 - www.litosonline.com
 - www.stonepanorama.com
- Catálogos de Productos.
 - www.granitosibericos.com
 - www.grupinex.com
 - www.architonic.com
 - www.ondiseo.com
 - www.materio.com

12.4.-Visitas a empresas del sector.

- Se han realizado varias visitas a empresas del sector del granito, pero por motivos de confidencialidad y protección de datos no se pueden desvelar los nombres de dichas

empresas.

ANEXO N°1. MAPAS

MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA

Escala 1:50.000



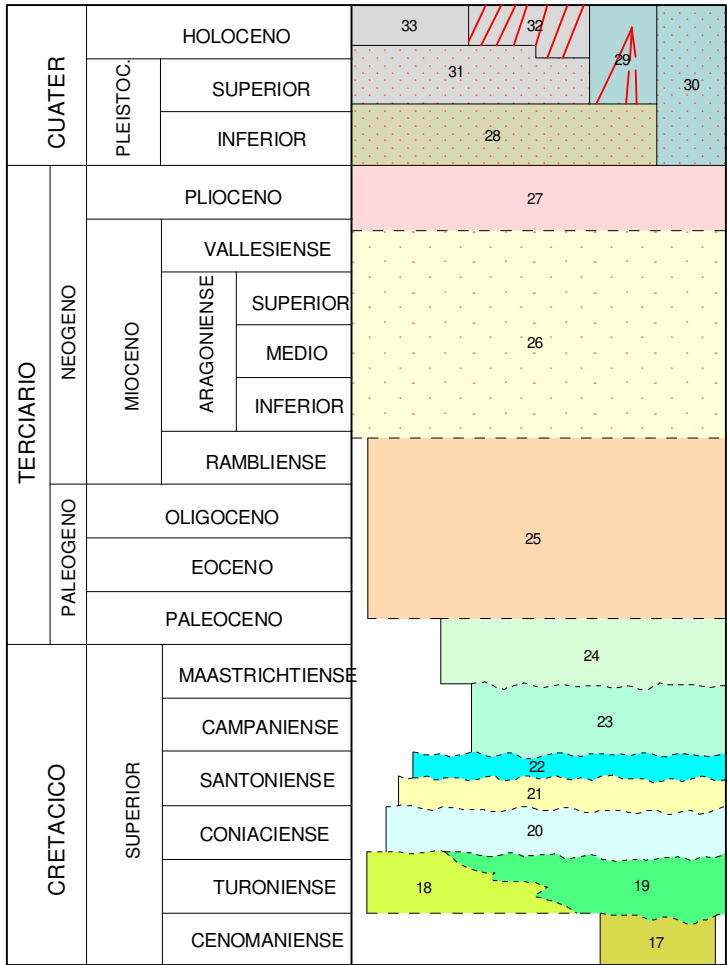
Instituto Geológico
y Minero de España

BUITRAGO DEL LOZOYA

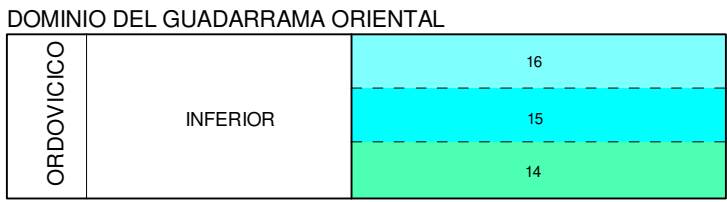
484

19-19

LEYENDA



- 33 Arenas, limos y cantos (aluviales fondos de valle)
32 Cantos y arenas (coluviones)
31 Cantos y arenas (terrazas)
30 Arenas, limos y cantos (Glacia)
29 Bloques, cantos y arenas (conos de deyección)
28 Bloques y cantos (conos de deyección)
27 Bloques y cantos de cuarzos y pizarras
26 Bloques y cantos de neises y granitos
25 Conglomerados de cantos polimíticos y arenas cementadas por carbonatos
24 Arenas, arcillas y yesos
23 Dolomías cavernosas y margas
22 Dolomías y areniscas con cemento dolomítico
21 Areniscas con cemento dolomítico
20 Dolomías tabeadas
19 Arenas pardas, arenas con cementaciones carbonatadas
18 Arenas, arcillas y gravas (Facies Utrillas)
17 Arenas, arenas cementadas con sílice, arcillas y gravas
16 Pizarras negras con intercalaciones de cuarcitas (Formación Rodada)
15 Cuarcitas con intercalaciones de esquistos (Formación Alto Rey)
14 Esquistos y pizarras con intercalaciones cuarcíticas (Formación Constante)
13 Rocas de silicatos cálcicos y anfíbolitos.
12 Paragneises, esquistos y metasedimentos
11 Leucogranitos y ortogneises leucocratos con glándulas.
10 Ortogneises bandeados biotíticos
9 Ortogneises microglandulares
8 Ortogneises glandulares
8a Ortogneises glandulares
8b Facies Mojada del Cojo
7 Ortogneises glandulares mesocratos
6 Leucogranitos de grano fino y medio
5 Adamelitas y granitos biotíticos de grano medio y grueso.
5a Adamelitas y granitos biotíticos de grano medio y grueso. Equigranulares.
5b Adamelitas y granitos biotíticos de grano medio y grueso con megacrístales
4 Granitoides migmatíticos
3 Cuarzo
2 Lamprófidos
1 Pórfidos



DOMINIO DEL GUADARRAMA OCCIDENTAL

PREARENIGIENSE

ROCAS IGNEAS PREHERCINICAS

11

10

9

8a

8b

7

ROCAS GRANITICAS HERCINICAS

6

5a

5b

4

3

2

1

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

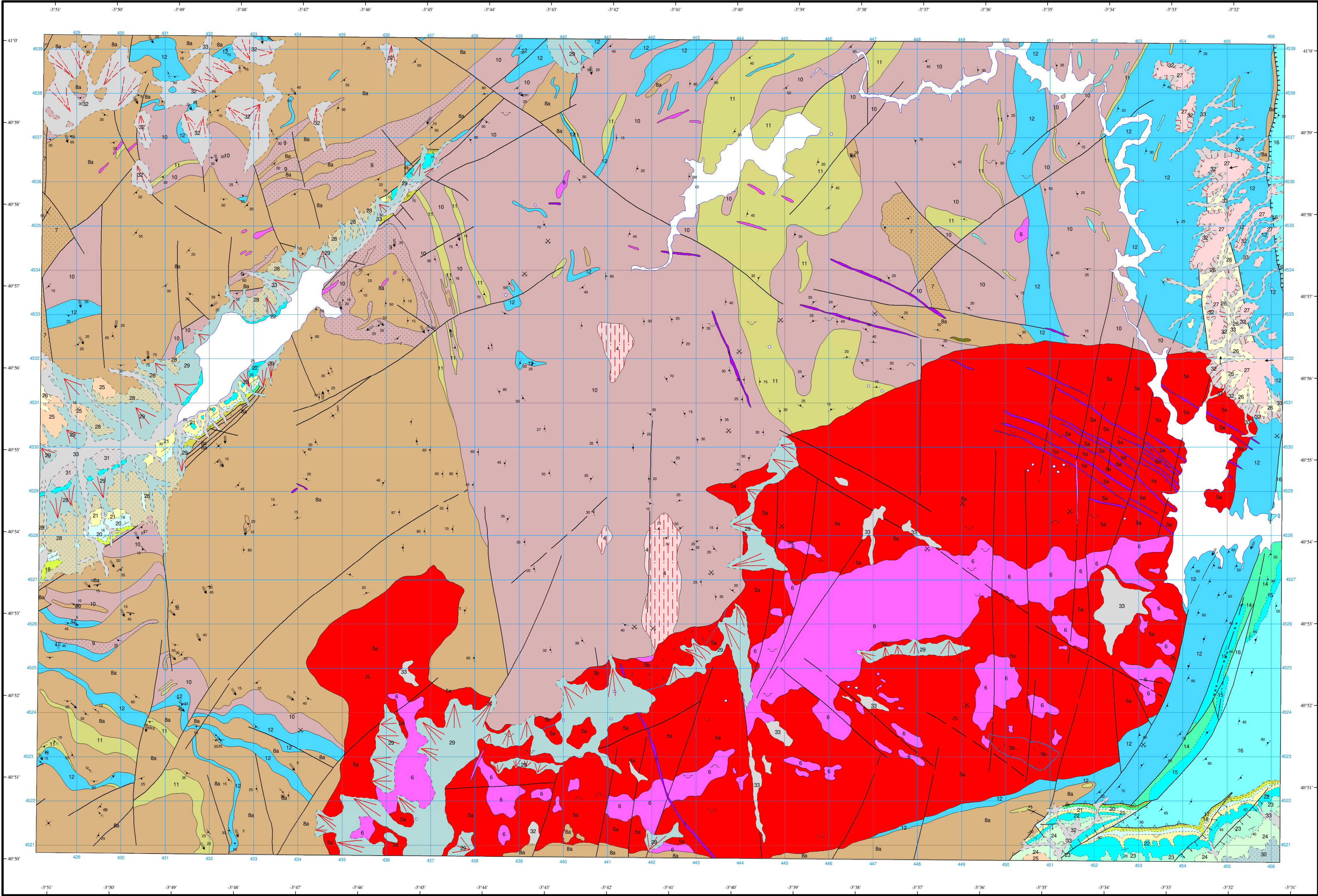
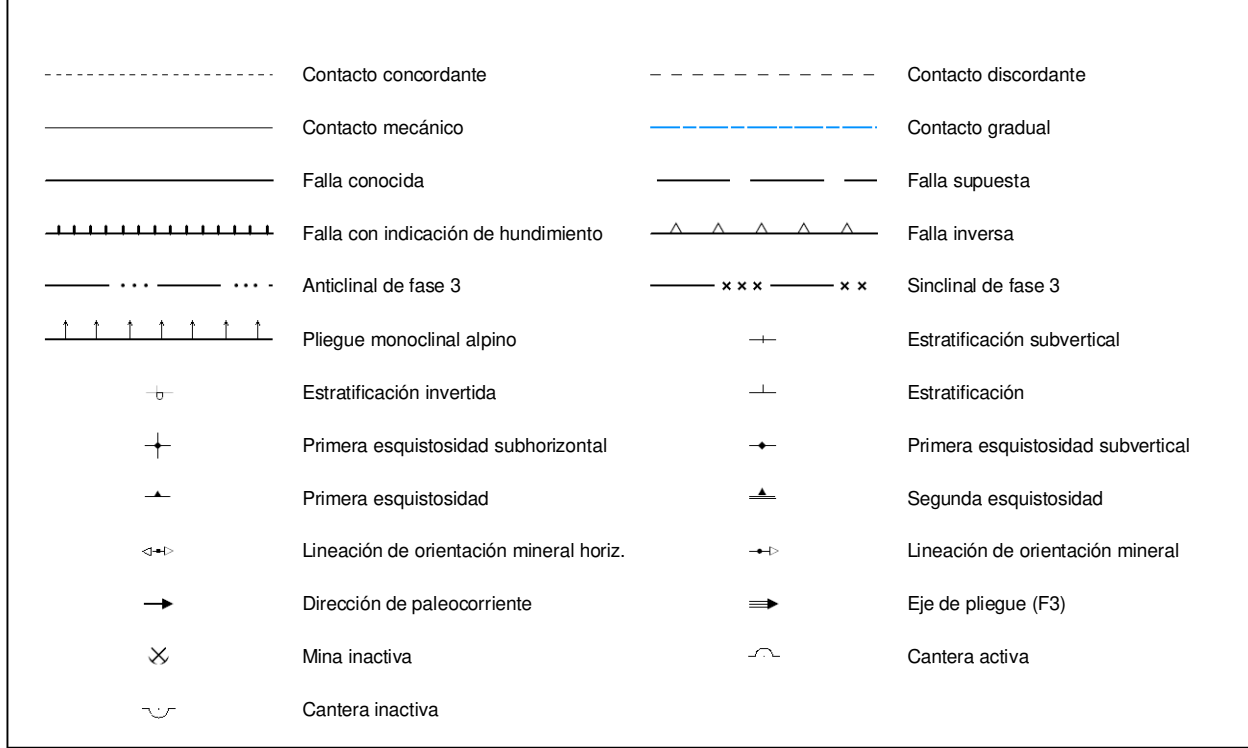
0

0

0

0

SIMBOLOS CONVENCIONALES



Área de Sistemas de Información Geocientífica

Escala 1:50.000

Proyección y Cuadrícula UTM. Elipsoide Internacional. Huso 30

NORMAS, DIRECCIÓN Y SUPERVISIÓN DEL I.G.M.E

AÑO DE REALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA: 1988

Autores : F. Bellido (I.G.E.)
J. Escuder (GEOPRIN S. A.)
E. Klein (GEOPRIN S. A.)
A. del Olmo Sanz (EGEO S.A.)
C. Casquet (Univ. Complutense Madrid)
M. Navidad (Univ. Complutense Madrid)
M. Peinado (Univ. Complutense Madrid)
Dirección y supervisión : L.R. Rodríguez (ITGE)
F. Bellido (ITGE)