



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE MINAS



Diseño de Explotaciones de Cantera



Juan Herrera Herbert
Noviembre – 2007

Copyright © 2007. Todos los derechos reservados

Juan Herrera Herbert
juan.herrera@upm.es

DOI: 10.20868/UPM.book.21839
Archivo Digital de UPM: <https://oa.upm.es/21839/>

Universidad Politécnica de Madrid
Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas
Laboratorio de Tecnologías Mineras

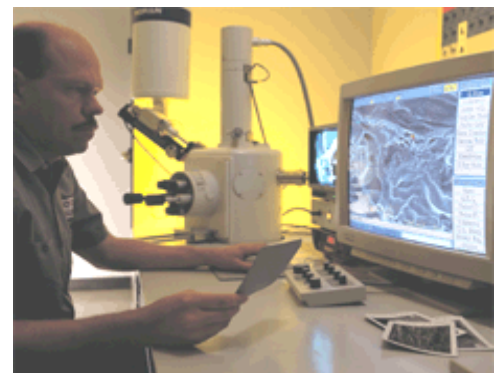
DISEÑO DE EXPLOTACIONES DE CANTERA PARA ÁRIDOS

1. INTRODUCCIÓN

En el sector de los áridos se está asistiendo a un cambio muy notable, en el que se ha pasado sin solución de continuidad de unas explotaciones casi totalmente anárquicas en sus formas y planteamientos y donde bastaba con unas simples autorizaciones para iniciar los trabajos, a un cúmulo de exigencias técnicas, de calidad, medioambientales, sociales, etc., que obligan al cumplimiento simultáneo de múltiples requisitos en el planteamiento y el desarrollo de un proyecto. Además, las diferentes Administraciones sienten la necesidad de contar con los informes favorables de un amplio número de Asociaciones, cuya oposición, muchas veces, no tiene gran justificación o solidez técnica, además de imponer el requisito de integrar las labores extractivas dentro de la política de ordenación del territorio para un teórico uso más racional de éste.

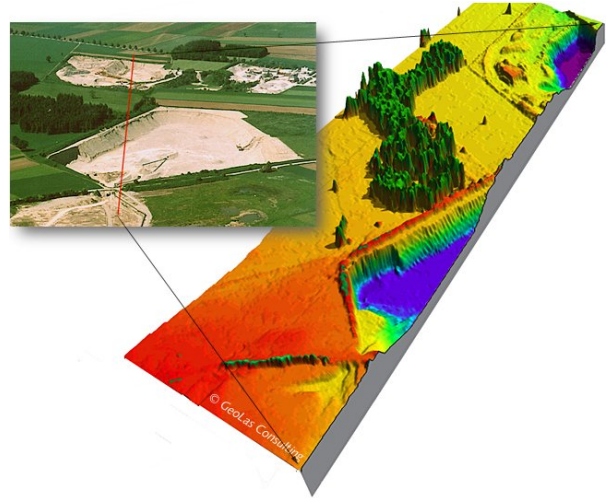
Hasta hace relativamente poco tiempo, los áridos se consideraban como un recurso mineral y de escaso valor, razón por la cual las compañías mineras tradicionales no invertían en este sector. Sin embargo, la acelerada demanda de productos de cantera y las múltiples limitaciones, fundamentalmente de tipo ambiental, para la apertura de nuevas graveras y canteras, han hecho que estos materiales hayan pasado a tener un carácter agotable y, consecuentemente, a revalorizarse.

Por otro lado, las especificaciones de los productos son cada vez mayores y más difíciles de cumplir de forma natural por los propios yacimientos, con lo que se acude a cubrir este déficit en las plantas de tratamiento con sistemas que van incrementando su sofisticación. Las exigencias técnicas generales de la explotación se están viendo fuertemente incrementadas y existe una fuerte implantación de criterios de calidad de los productos y de garantía del cumplimiento de sus características y propiedades. En muchos países, y España no es una excepción, se está evidenciando la presencia de las corporaciones mineras internacionales en el sector de los



Los trabajos de aproximación previa a un yacimiento de áridos naturales deben permitir definir:

- Parámetros geométricos
- Parámetros hidrogeológicos
- Parámetros de material extraíble
- Parámetros ambientales



Parámetros geométricos:

Los yacimientos explotables para fabricación de áridos de machaqueo están condicionados por un modelo geológico y estructural, por lo que los estudios de selección de zonas deben comenzar siempre por el estudio y desarrollo de un mapa geológico – estructural. Una vez establecido un mínimo de calidad, homogeneidad y continuidad en la formación geológica susceptible de ser canterable, se procederá a un estudio fotogeológico que permita definir con mayor detalle los puntos o zonas de afloramiento, el buzamiento o inclinación del cuerpo rocoso, los límites por accidentes estructurales (fallas, cabalgamientos) o sus límites en relación con los cambios laterales de facies.

El modelo geológico del yacimiento, que incluya con precisión suficiente toda la información sobre la forma y dimensiones en el espacio del cuerpo rocoso, es el elemento clave a la hora de establecer el método de explotación. En zonas áridas y cobertura vegetal poco desarrollada, muchas veces puede ser suficiente con un reconocimiento geológico detallado para llegar a establecer las características del modelo con muy pocos reconocimientos complementarios (geofísica y sondeos, o incluso sin ellos), establecer el volumen explotable, la densidad de fracturación o diaclasado natural del material, familias de orientaciones preferentes de debilidad del macizo rocoso, comportamiento mecánico de las discontinuidades y fracturas (rozamiento, neoformación de minerales arcillosos, fracturas selladas, etc.).

En otros casos, cuando la cobertura vegetal no permite realizar observaciones, los reconocimientos mediante técnicas geofísicas y de sondeos se hacen imprescindibles para definir los parámetros geométricos.

Parámetros hidrogeológicos:

Tienen como finalidad establecer la posición del nivel freático de la futura explotación que se configura como uno de los condicionantes de la

explotación, ya que mantener un bombeo permanente de la cantera puede significar un aumento extraordinario de los costes de operación.

Parámetros del material extraíble:

Constituyen el aspecto más determinante sobre el mayor o menor interés que puede tener un yacimiento de cara a su explotabilidad para fabricación de áridos en referencia a la calidad del material vendible, dado los requerimientos de calidad.

Las propiedades y el comportamiento de muchos materiales elaborados con áridos, como el hormigón o las mezclas bituminosas, dependen tanto de las proporciones en que entran a formar parte sus componentes, como de las propiedades individuales de cada uno de ellos. Solamente mediante el conocimiento y valoración de las propiedades de estos materiales a través de los oportunos ensayos y análisis, es posible proyectar de manera adecuada un hormigón o una mezcla bituminosa, cuantificar las propiedades de los áridos para atender la correcta dosificación en cada caso y anticipar su futuro comportamiento.

Las características de los áridos dependen tanto de las propiedades intrínsecas del propio árido (composición mineralógica, grado de alteración, textura, forma, tamaño de grano, naturaleza del cemento de la roca, porosidad, permeabilidad, absorción y retención de agua, tamaño y presencia de discontinuidades, etc.), como de su proceso de fabricación (granulometría, forma, limpieza del producto, etc.).

Las propiedades de los áridos que hay que considerar para estimar su calidad para las diferentes aplicaciones son, básicamente, las siguientes:

- Naturaleza petrológica, con objeto de determinar las características mineralógico – texturales que establecen tanto las propiedades geomecánicas y de durabilidad del árido (por ejemplo, adherencia o adhesividad al ligante). La composición mineralógica también se centra en el estudio de porcentajes de minerales estables, de minerales lábiles, de minerales oxidables, reactivos, hidratables, etc.
- Texturas superficiales por su influencia en el rozamiento interno y en la resistencia al pulimento del árido, tamaño y forma del grano o cristal, porosidad y tamaño de poro.
- Densidad de conjunto: función de la mineralogía y porosidad.
- Propiedades mecánicas: módulos elásticos de conjunto, función

de módulos elásticos de los minerales y de los poros presentes.

- Resistencia a la compresión, choque y atrición para valorar su calidad mecánica.
- Compacidad, por su influencia en la absorción de agua y de ligante.
- Actividad superficial de las partículas respecto al ligante y al agua.

La mineralogía es un factor determinante, aunque difícilmente cuantificable. Así, las propiedades de estabilidad química, gravimétricas, eléctricas, espectrales, magnéticas, elásticas, dureza superficial de las rocas, dependen de la composición mineralógica, de los poros y del fluido (aire, agua, agua salada, etc.), que rellena los poros, así como del tamaño y distribución de los mismos que permite o impide la accesibilidad de los fluidos del medio de trabajo a la roca. Los tests de aptitud para un determinado tipo de uso dependerán de las condiciones mecánicas a las que se someta el material, del ambiente físico – químico creado por el aglomerante y de las condiciones climáticas o, en general, ambientales en las que se ponga el material.

Por lo tanto, los estudios mineralógicos de detalle (Rayos X) y los estudios petrográficos (láminas delgadas) constituyen un método de trabajo fundamental, sin descartar las técnicas complementarias como el MEB (Microscopía Electrónica de Barrido), que permiten diagnosticar simultáneamente mineralogía y aspectos texturales.

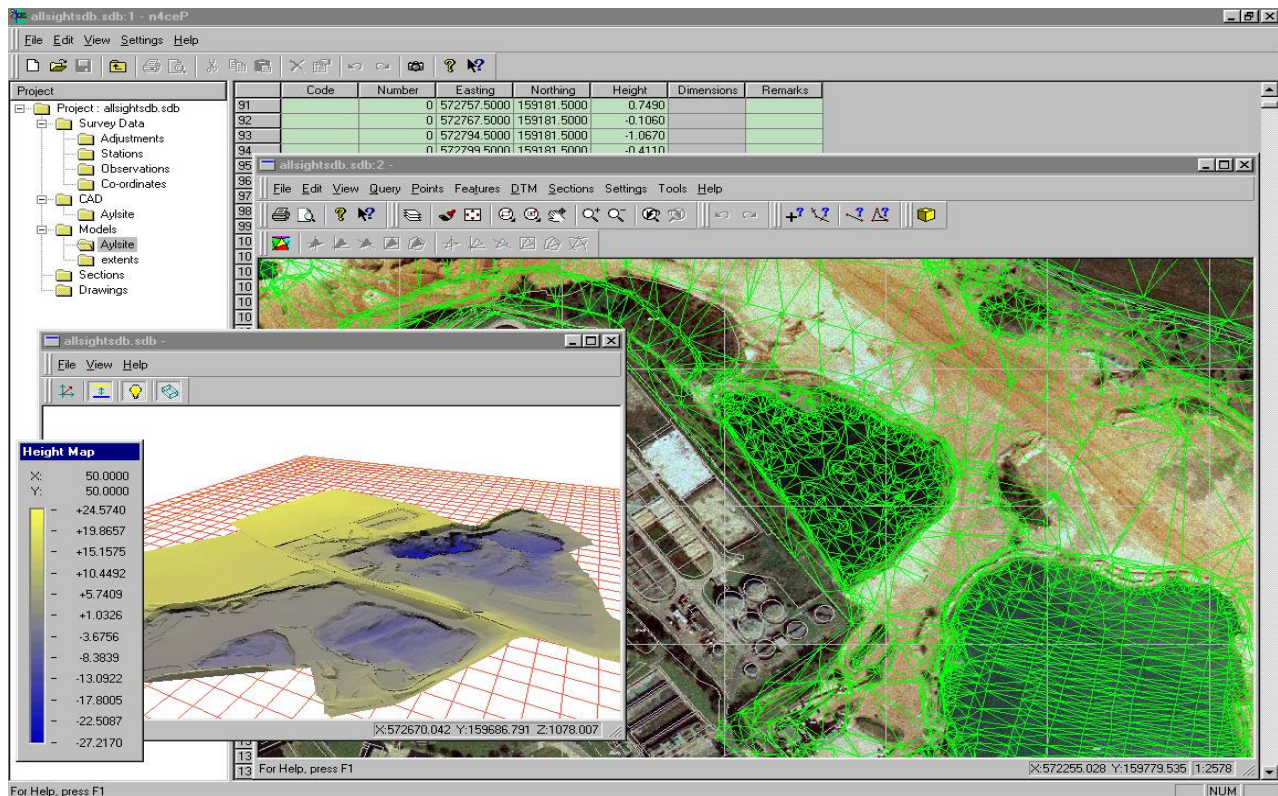
Parámetros ambientales:

La puesta en marcha y desarrollo de un proyecto de explotación exige dar respuesta a un capítulo cada vez más grande y complejo de aspectos medioambientales, que es necesario conocer y cuantificar a partir del cada vez más absolutamente necesario Estudio Medioambiental de Base. Este tipo de iniciativas no solamente se constituyen en una herramienta básica de una gestión medioambiental correcta, sino que son considerados modernamente como herramientas de competitividad.

En lo que se refiere al conjunto de restantes factores que definen la potencialidad de una masa rocosa como yacimiento de áridos de machaqueo, existen algunas normas sencillas y prácticas que establecen que deben, al menos tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

Características intrínsecas del yacimiento:

- Naturaleza del afloramiento, estructura del mismo en relación con la topografía del terreno
- Nivel freático regional.
- Estado tensional y distribución de diaclasas y fracturas en el macizo rocoso.
- Cobertera no utilizable.
- Composición mineralógica, grado de alteración de los minerales, estabilidad química, partículas friables, minerales oxidables, hidratables, hinchables y materia orgánica.
- Propiedades de conjunto de la roca: dureza, fragilidad, módulo elástico, dilatación térmica, etc.
- Aptitud para la molienda, desgaste de los elementos de trituración, producción de finos, etc.
- Forma y propiedades de superficie de los productos de trituración.



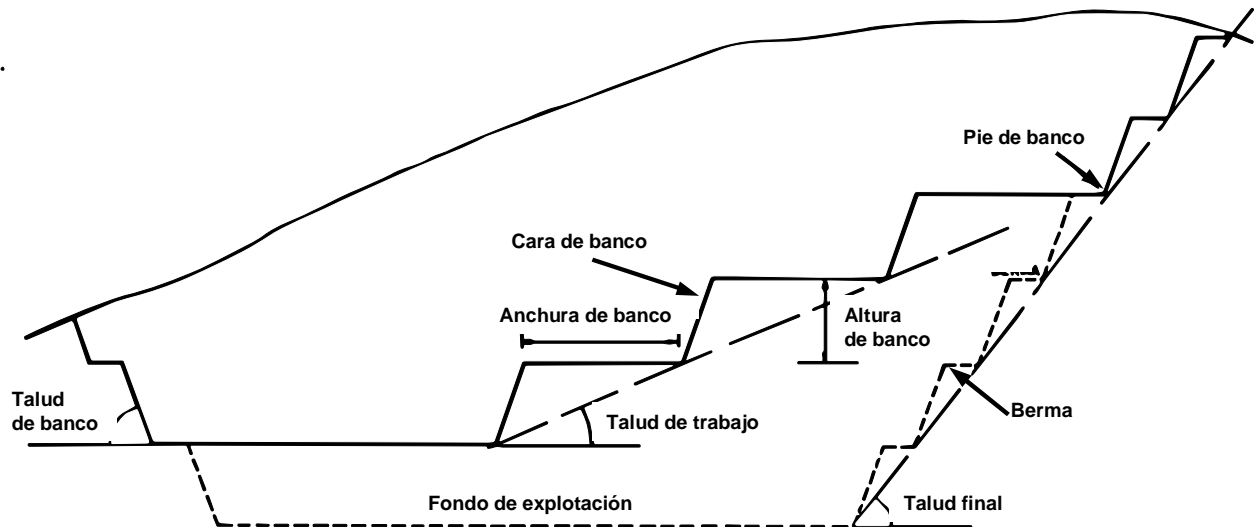
Características extrínsecas del yacimiento:

- Situación respecto del centro de consumo.
- Tipo de instalaciones, flexibilidad, rendimiento, etc.
- Tipo de demanda.
- Impacto ambiental, suelo edificable en proximidades a áreas urbanas.
- Características climáticas de la zona en la que se ubica la obra.

Es a partir de la consideración de este conjunto de factores que se podrá tomar una decisión respecto a la explotación o no de una masa rocosa para la obtención de áridos de machaqueo.

3. CONVENIO TERMINOLÓGICO EMPLEADO EN EXPLOTACIONES DE CANTERA

El procedimiento para realizar la explotación queda definido por la aplicación de unos parámetros o criterios de diseño de la excavación, que permiten alcanzar las producciones programadas, de la forma más económica posible y en las máximas condiciones de seguridad.



Los parámetros geométricos principales que configuran el diseño de las excavaciones corresponden a los siguientes términos:

Banco: es el módulo o escalón comprendido entre dos niveles que constituyen la rebanada que se explota de estéril y/o mineral, y que es objeto de excavación desde un punto del espacio hasta una posición final preestablecida.

Altura de banco: es la distancia vertical entre dos niveles o, lo que es lo mismo, desde el pie del banco hasta la parte más alta o cabeza del mismo.

Talud de banco: es el ángulo delimitado entre la horizontal y la línea de máxima pendiente de la cara del banco.

Talud de trabajo: es el ángulo determinado por los pies de los bancos entre los cuales se encuentra alguno de los tajos o plataformas de trabajo. Es, en consecuencia, una pendiente provisional de la excavación.

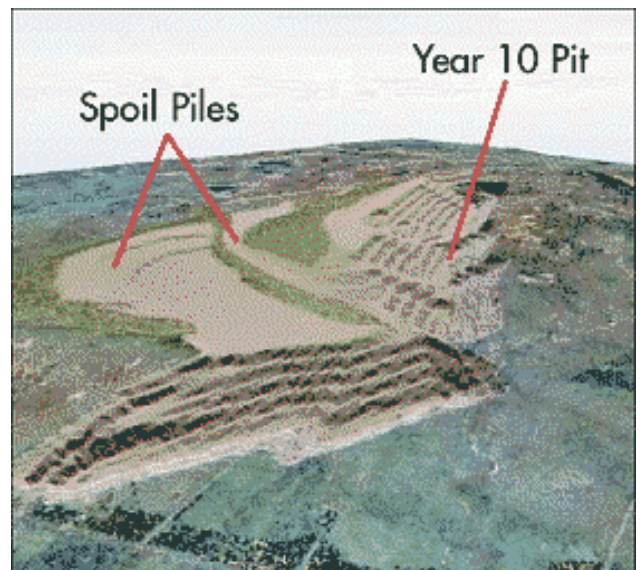
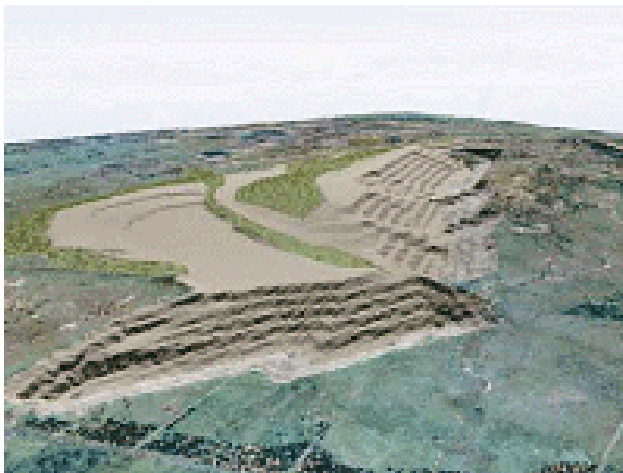
Límites finales de la explotación: son aquellas situaciones espaciales hasta las que se realizan las excavaciones. El límite vertical determina el fondo final de la explotación y los límites laterales los taludes finales de la misma.

Talud final de explotación: es el ángulo del talud estable delimitado por la horizontal y la línea que une el pie del banco inferior y la cabeza del superior.

Bermas: son aquellas plataformas horizontales existentes en los límites de la excavación sobre los taludes finales, que coadyuvan a mejorar la estabilidad de un talud y las condiciones de seguridad frente a deslizamientos o caídas de piedras.

Pistas: son las estructuras viarias dentro de una explotación a través de las cuales se extraen los materiales, o se efectúan los movimientos de equipos y servicios entre diferentes puntos de la misma. Se caracterizan por su anchura, su pendiente y su perfil.

Ángulo de reposo del material: es el talud máximo para el que es estable sin deslizar el material suelto que lo constituye y en condiciones de drenaje total, después de vertido.



4. MODELO GEOLÓGICO DEL YACIMIENTO

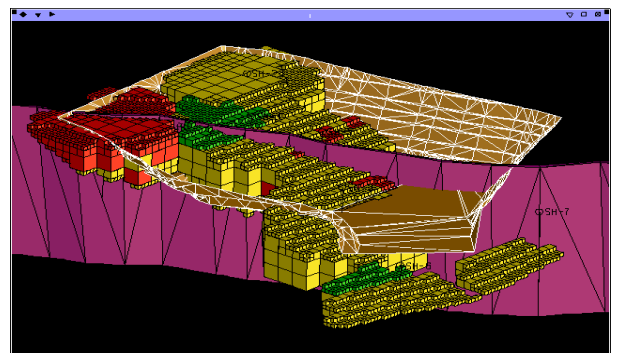
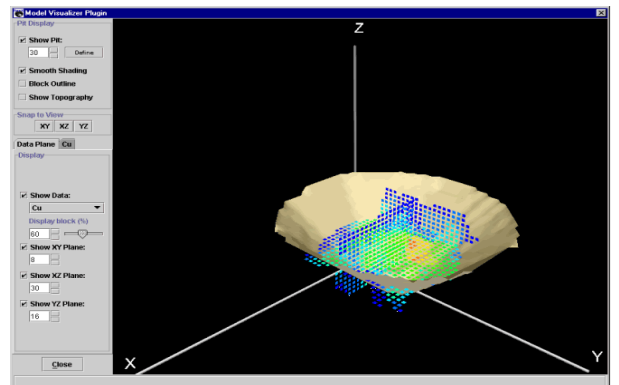
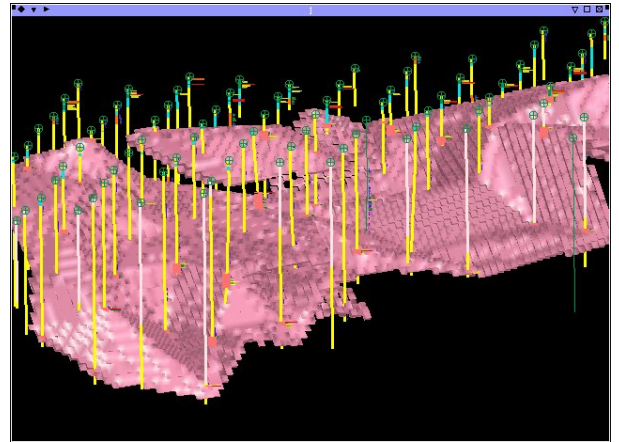
El punto de partida para el diseño de cualquier explotación es la correcta y completa modelización geológica – minera del yacimiento. Tras efectuar el diseño del hueco final a partir del modelo geológico y evaluar las reservas explotables, se pasa a diseñar algunas fases intermedias para, a continuación, definir el método y el sistema de explotación y seleccionar la maquinaria.

Los pasos seguidos en las distintas etapas de reconocimiento geológico se dividen en etapas en las que se va reduciendo el ámbito espacial del estudio, pero ampliando simultáneamente la escala de trabajo. Al mismo tiempo, deberá hacerse un inventario de recursos naturales, de cara a su protección o futura restauración. Las etapas son:

- Elección de las zonas objeto de prospección mediante un estudio bibliográfico.
- Búsqueda de posibles yacimientos mediante un estudio de formaciones o macizos rocosos.
- Estudio preliminar de uno o varios yacimientos probables.
- Estudio detallado, con labores de investigación, del yacimiento probable considerado como más interesante.
- Estudio de viabilidad de la explotación.

Así se evita realizar una investigación con medios muy escasos, lo que solo conduce a resultados insuficientes y a asumir riesgos muy grandes cuando se toma la decisión de iniciar la explotación y, por otro lado, a reducir el elevado coste que supondría abordar de entrada una prospección muy detallada.

El Proyecto de Explotación establecerá las fases de explotación de la cantera que puedan garantizar una producción sostenida anualmente, las labores de preparación necesarias para garantizar la operatividad y productividad de la cantera, y las fases en que debe llevarse a cabo. Se analizarán, en los planos y en las memorias las distintas fases de la planificación de la explotación hasta el final, representando la totalidad del diseño geométrico del hueco y, en consecuencia, de los bancos, bermas y accesos correspondientes a cada fase.

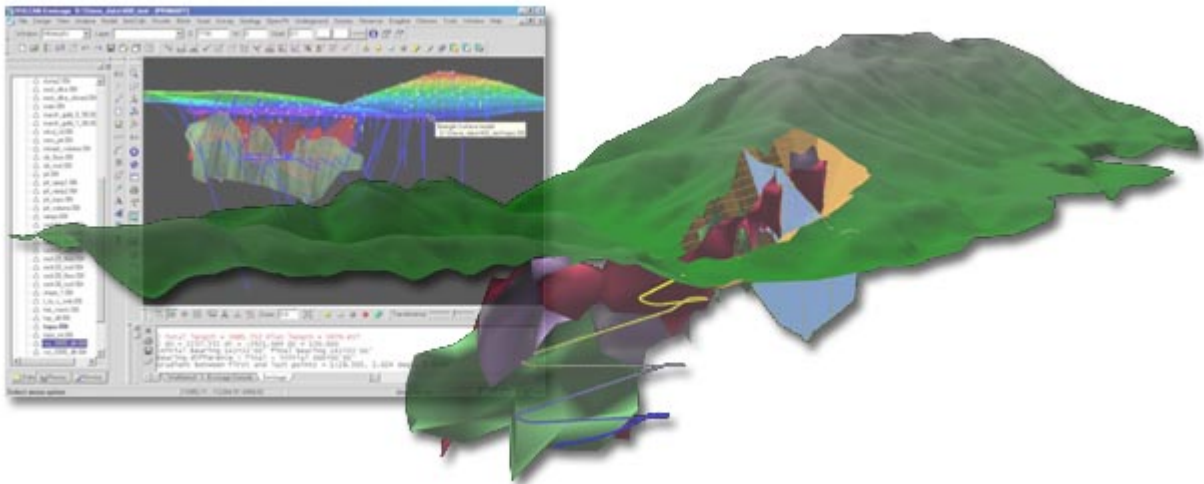


5. TITULARIDAD Y ACCESO A LOS TERRENOS NECESARIOS

El desarrollo de un proyecto de explotación de cantera debe necesariamente partir de la garantía del acceso a los terrenos necesarios. La totalidad de las parcelas, definidas de forma individualizada con el número o denominación en la que figuren en los documentos catastrales o en las escrituras de propiedad, deberán estar disponibles para el desarrollo de la explotación y quedar todo ello claramente documentado.

Cuando el promotor del proyecto no pueda acreditar la propiedad de la totalidad o parte de las parcelas necesarias, al menos deberá poder acreditar el tener asegurado por contrato que los titulares de los terrenos autorizan al titular de la explotación el uso de tales terrenos y que le confieren y garantizan los derechos de extracción, arriendos, ocupación, servidumbre u otros similares, durante el tiempo necesario para desarrollar el proyecto completo de explotación, es decir, por un período no inferior a la vida prevista de la explotación.

La buena práctica aconseja disponer, además de todos los datos e informaciones relativas a la titularidad y las características de las parcelas, el disponer de planos parcelarios y taquimétricos a distintas escalas (1:5.000, 1:1.000 y 1:500) con equidistancia máxima de curvas de nivel de 1 m, donde queden reflejadas la totalidad de las parcelas afectadas por el desarrollo del proyecto, incluso las limítrofes, y en los que se especifiquen los datos de cada parcela, la superficie, el propietario, el tipo de ocupación, etc. El área cubierta por la información deberá ser algo mayor que la necesaria para el desarrollo del proyecto planteado.



6. MÉTODO Y SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

6.1 DEFINICIÓN DEL MÉTODO

6.1.1 Canteras en terrenos horizontales

Las labores se inician en trinchera, hasta alcanzar la profundidad del primer nivel, ensanchándose a continuación el hueco creado y compaginando este avance lateral con la profundización.

Como ventajas de este tipo de explotaciones figuran:

- Posibilidad de trasladar las instalaciones de cantera al interior del hueco una vez alcanzadas las suficientes dimensiones, consiguiéndose un menor impacto y una menor ocupación de terrenos.
- Una mayor aceptación del proyecto por parte del entorno socio – económico, como consecuencia de un mejor control medioambiental del proyecto y un mucho menor impacto visual.
- Posibilidad de proyectar la pista general de transporte en una posición no inamovible en mucho tiempo.
- Permiten la instalación de un sistema de cintas transportadoras.

Como inconvenientes, figuran:

- La necesidad de efectuar el transporte ascendente de materiales y, por tanto, contra pendiente.
- Mayor coste de dimensionamiento de sistemas de drenaje y bombeo.



6.1.2 Canteras en ladera

Según la dirección en la que se realicen los trabajos de excavación, pueden distinguirse las siguientes alternativas:

Avance frontal y frente de trabajo de altura creciente:

- Es la alternativa más frecuente por la facilidad de apertura de las canteras y a la mínima distancia de transporte inicial hasta la planta de tratamiento
- El frente de trabajo está siempre activo, salvo en alguna pequeña zona.
- El frente es progresivamente más alto, por lo que es inviable proceder a la restauración de los taludes hasta que no finalice la explotación.



Excavación descendente y abandono del talud final en bancos altos:

- Permite iniciar la restauración con antelación y desde los bancos superiores hasta los de menor cota.
- Requieren una definición previa del talud final y, consecuentemente, un proyecto a largo plazo
- Exigen constituir toda la infraestructura viaria para acceder a los niveles superiores desde el principio y obliga a una mayor distancia de transporte en los primeros años de la cantera

Avance lateral y abandono del talud final:

- Se puede llevar a cabo cuando la cantera tiene un desarrollo transversal reducido, profundizándose poco en la ladera, pero con un avance lateral amplio.
- Permite recuperar taludes finales una vez excavado el hueco inicial, así como efectuar rellenos parciales
- Permite mantener de forma constante la distancia de transporte siempre que la instalación se encuentre en el centro de la corrida de la cantera.

Excavación troncocónica con pérdida de macizo de protección.

6.1.3 “Supercanteras”

Se trata de explotaciones que operan en yacimientos grandes con entornos de menor calidad ambiental y con ritmos de producción de entre 5 y 20 Mt/año, aprovechando los efectos de las economías de escala en los costes de operación, la utilización del método de “corta”, con arranque por perforación y voladura en bancos de entre 10 y 18 m para obtener una mayor



eficiencia, trituración dentro de la misma corta con equipos móviles y semimóviles y extracción por banda transportadora a través de túneles hasta la planta. Se consiguen altas eficiencias de operación y rendimientos.



Son explotaciones que requieren inversiones de capital muy fuertes, pero que permiten un desarrollo de la actividad con altas rentabilidades económicas.



6.1.4 Canteras subterráneas

Este tipo de explotaciones son ya, a pesar de su mayor coste, excelentes alternativas cuando aparecen restricciones de tipo geológico, económico y/o ambiental.

El proyecto de una cantera subterránea deberá prestar atención a los siguientes apartados:

- Métodos de explotación elegido en función de las características geomecánicas, costes de arranque,

infraestructura, características de la roca, etc. En general, es frecuente la utilización del método de cámaras y pilares.

- Selección de la maquinaria: es frecuente la utilización de equipos muy similares a los de superficie, debido a las ventajas de la estandarización de repuestos con otras canteras a cielo abierto, un menor coste de inversión, una mayor experiencia en el manejo y el mantenimiento de la maquinaria, mayor disponibilidad de los equipos empleados, mayor capacidad de producción por unidad de capital invertido, etc.
- Accesos a la cantera mediante túneles o rampas, ya que los pozos prácticamente no se utilizan por su alto coste de inversión y de desarrollo, aunque existen algunos casos conocidos con este último tipo de infraestructura.
- Técnica de sostenimiento (bulones, cables de anclaje, pletinas bulonadas, gunitado, etc.) en función de las características de la roca y del adecuado dimensionamiento de los pilares.
- Ventilación, bien dimensionada para la evacuación rápida de humos y gases generados por el funcionamiento de los equipos mecánicos y las voladuras.
- Usos futuros del espacio subterráneo creado, que puede compensar unos costes de explotación superiores y completar los proyectos mineros con usos más racionales. Generalmente, las cavidades abiertas presentan como características más significativas una temperatura prácticamente constante a lo largo de todo el año, una localización próxima o bajo áreas densamente pobladas y con un valor económico del suelo considerablemente alto, un reducido caudal de aguas subterráneas cuando los macizos poseen discontinuidades, etc. Por ello, muchas canteras subterráneas están siendo aprovechadas con finalidades tan diversas como el almacenamiento de sustancias peligrosas, la construcción de aparcamientos, talleres, almacenes, oficinas, etc.



6.2 VIDA Y RITMO DE LA EXPLOTACIÓN

La definición de la vida de la explotación y su ritmo de extracción debe fijarse mediante un análisis técnico y económico que justifiquen no solamente las necesidades de maquinaria de arranque, carga y transporte, sino que estas, así como las instalaciones de cantera (especialmente la planta), tengan la suficiente entidad y capacidad para extraer el tonelaje que se prevé.

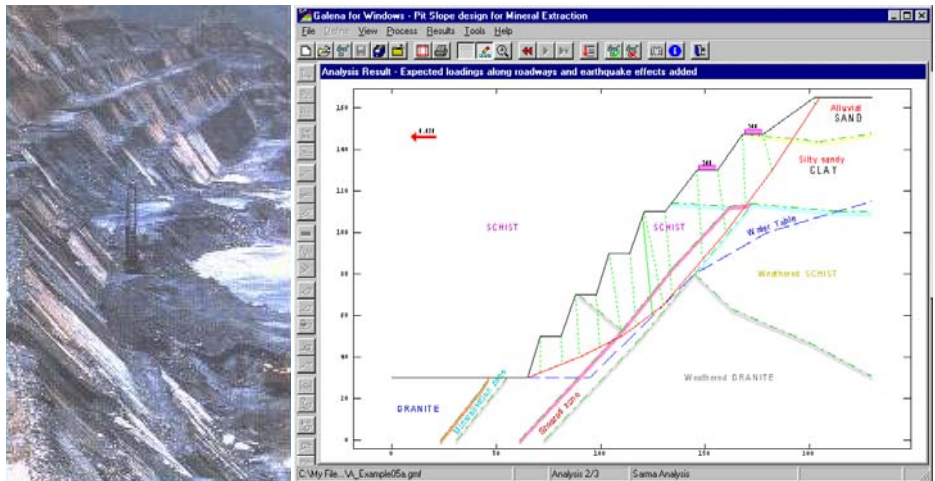
Este análisis permitirá definir también la cadencia de las voladuras, la producción estimada, las necesidades de personal, etc., pudiéndose obtener una idea razonada de la necesaria homogeneidad entre las previsiones de venta y el dimensionado de los medios humanos y materiales.



7. DISEÑO DE LA EXPLOTACIÓN

7.1 ESTABILIDAD DE TALUDES

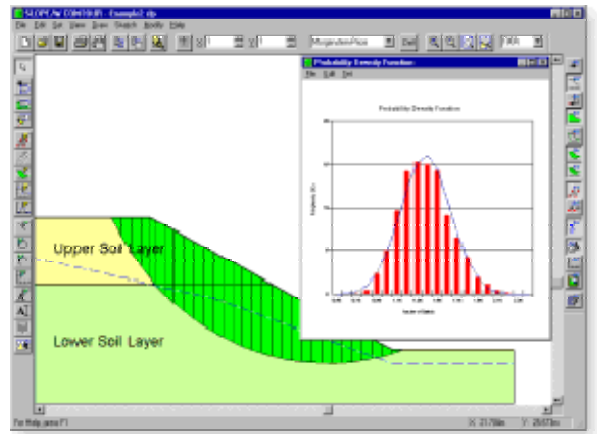
La estabilidad de los taludes en una explotación a cielo abierto no solamente es un aspecto de fundamental importancia, sino que es una de las claves de la viabilidad del proyecto, su seguridad y su rentabilidad. Es por ello que debe ser analizada desde las etapas iniciales del proyecto y ser comprobada y seguida con los datos obtenidos durante la explotación.



La importancia de los estudios geotécnicos será función de los condicionantes geométricos (altura del talud general, de banco y ángulos de talud), así como de cualquier incidencia que los taludes diseñados pudieran tener sobre las instalaciones o servicios previstos o existentes. Además, los estudios geotécnicos incorporarán los resultados, consideraciones, implicaciones y recomendaciones de los estudios hidrogeológicos realizados en relación a la influencia del agua en la estabilidad de los taludes.

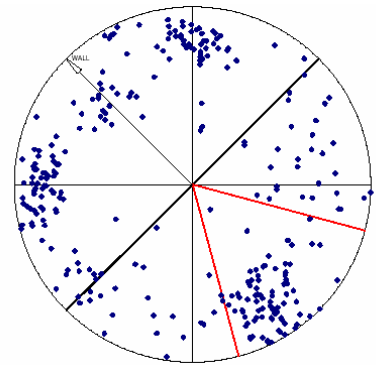
En líneas generales, los factores más importantes que afectan a la seguridad de las operaciones y cuyo estudio debe quedar perfectamente claro desde el principio de las operaciones, son los siguientes:

- Caída o deslizamiento de materiales sueltos.
- Colapso parcial de un banco.
- Colapso general del talud de la excavación.



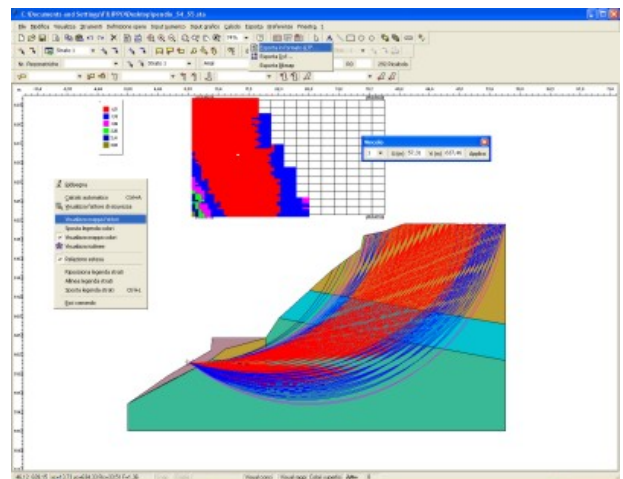
Las recomendaciones para el control y eliminación de estos y otros riesgos pasan por la puesta en práctica de los estudios necesarios para definir y dimensionar las siguientes medidas:

- Diseño adecuado de bancos y plataformas para retener los desprendimientos de materiales.
- Determinación y mantenimiento adecuado de taludes generales en condiciones seguras.
- Control de voladuras en el perímetro de la excavación, de cara a reducir los daños en el macizo remanente.
- Aplicación de sistemas de drenaje efectivo de los macizos para reducir los esfuerzos originados por el agua.
- Saneamiento sistemático y efectivo de materiales colgados.



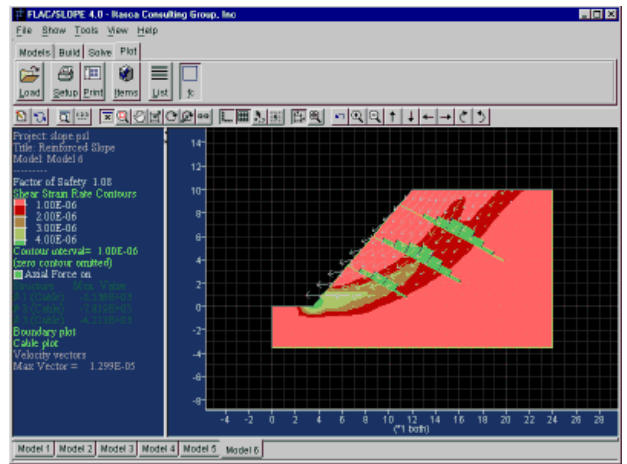
Los estudios previos necesarios para garantizar la estabilidad del diseño geotécnico de un talud implican una caracterización del macizo rocoso objeto de la excavación a partir de:

- Los sistemas de juntas y discontinuidades.
- La relación de estos y la excavación con los posibles planos de rotura.
- Los parámetros resistentes de las juntas, las características y propiedades de sus superficies, así como los materiales que las rellenan.
- Las propiedades geomecánicas de la matriz rocosa.
- Las características hidrogeológicas y las presiones de agua en juntas y fracturas.
- Efecto de las vibraciones sobre los macizos residuales, etc.

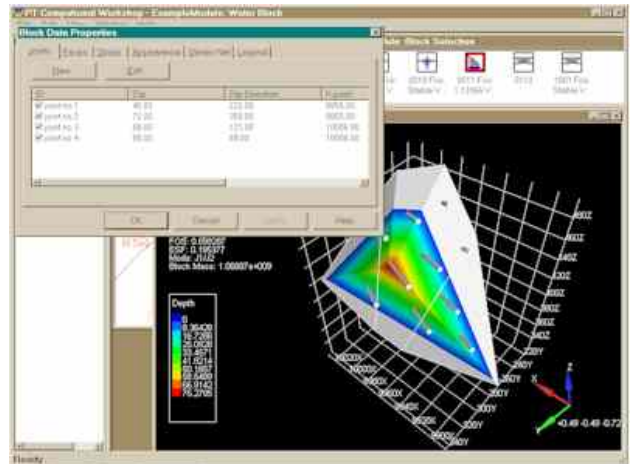


A continuación el estudio identificará los modos de rotura susceptibles de producirse, apoyándose en los datos registrados y en la experiencia de explotaciones próximas o con problemáticas análogas.

En caso de taludes rocosos, las superficies de rotura pueden determinarse a partir de las discontinuidades preexistentes en el macizo. Se puede aplicar un método gráfico para identificar las situaciones en las que cinemáticamente son posibles ciertos ángulos de rotura. También puede introducirse el ángulo de rozamiento de las discontinuidades, con el fin de eliminar ciertos casos para los que se verifica gráficamente la estabilidad, en ausencia de presiones intersticiales. La utilización de los métodos gráficos permite detectar los sectores de la explotación en los que son susceptibles de producirse roturas, y así dirigir los esfuerzos de reconocimiento hacia las zonas más críticas.



En el caso de macizos poco coherentes del tipo suelo, la experiencia ha demostrado que las roturas son de tipo circular. En los macizos rocosos muy fracturados y de manera aleatoria, o donde el talud general varía con respecto a la estructura, las superficies de rotura son muy complejas, pudiendo ser compuestas y formadas parcialmente por discontinuidades próximas a la superficie de deslizamiento y, por otro lado, por fracturas nuevas en la roca intacta. En el caso de una fracturación intensa, el grado de imbricación de bloques y sus posibilidades de movimiento juegan un papel importante, pudiendo adoptarse la hipótesis de rotura circular.



Los métodos de cálculo de estabilidad de equilibrio límite (basados sobre la mecánica de sólidos indeformables) se pueden aplicar para los diferentes tipos de rotura indicados.

En geotecnia, el riesgo de colapso de un talud se mide en términos del llamado coeficiente de seguridad F , que es la relación entre el conjunto de las fuerzas resistentes y las desestabilizadoras que provocarían la rotura del talud. La selección de un valor de F mayor implica una disminución de riesgo, pero supone en general taludes más tendidos.

El valor $F = 1$ señala la frontera en la cual un talud es, o deja de ser, estable. La necesidad de utilizar valores de $F > 1$ surge como consecuencia de los siguientes factores:

- La posible existencia de características geológicas y/o estructuras adversas que puedan afectar a la estabilidad del talud y que no han sido detectadas en el estudio geotécnico.

- Posibles errores en los ensayos de caracterización de los materiales del macizo.
- La variabilidad de las propiedades de los materiales dentro del macizo en estudio.
- La determinación y variabilidad estacional de las presiones de agua en el talud.
- Errores derivados de los supuestos de rotura utilizados.
- Errores de cálculo.

En la práctica, los valores que se adoptan varían en función de las consecuencias que resultarían de un colapso, así como del nivel de confianza en los datos utilizados. La experiencia considera que, debido a las elevadas implicaciones económicas, la selección de un coeficiente de seguridad F próximo a 1,3 puede ser adecuado para taludes cuya estabilidad no se considere a largo plazo, mientras que si tales condiciones son críticas o permanentes, F debe ser del orden de 1,5 a 1,6, valores que son superiores a los mínimos establecidos en la normativa española vigente.

En las explotaciones a cielo abierto, el coeficiente de seguridad se suele obtener para diferentes pendientes del talud general. Según sea la estructura geológica de los macizos, las variaciones de F con el ángulo de talud pueden ser continuas o discontinuas. Por otro lado, en la mayoría de los métodos de cálculo se supone que el talud es en planta rectilíneo, sin tener en cuenta la curvatura del hueco. En la práctica, se ha comprobado que los taludes con superficies convexas son más inestables que taludes con superficies cóncavas. En estos últimos es posible aplicar la siguiente regla empírica: si el ángulo de curvatura de un talud cóncavo (medido en el pie del mismo) es inferior a su altura, la pendiente resultante del cálculo bidimensional puede aumentarse 10° , mientras que en un talud convexo, habrá que disminuirlo en esa misma magnitud.

8. DIMENSIONES Y ORIENTACIONES DE LOS BANCOS

Una vez definidas las pendientes estables de los taludes generales, se pasa a estudiar la geometría de los bancos, que dependerá de la configuración de los taludes y su orientación relativa respecto a la estratificación o familias de discontinuidades dominantes. No obstante, es posible clasificar las diferentes situaciones de los bancos y dar unos criterios básicos de diseño.

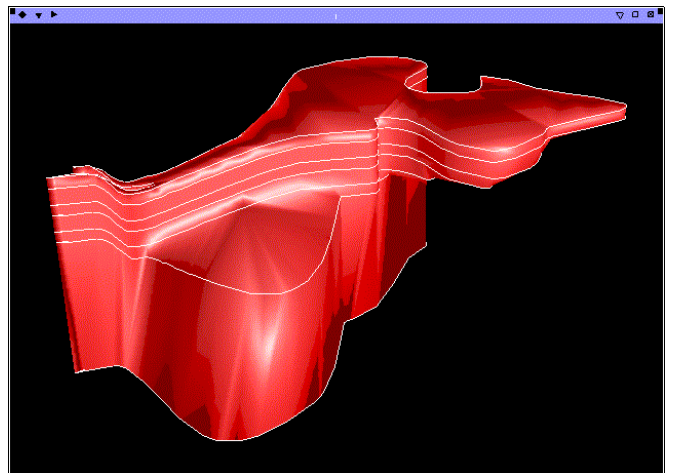
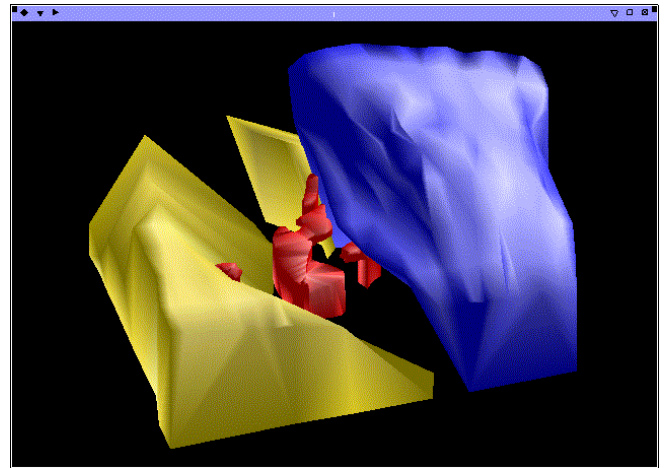
En el estudio de las dimensiones de los bancos se analizarán las alturas máximas y mínimas de los bancos, así como las alturas máximas finales de banco, que a su vez, estarán siempre condicionadas a las consideraciones expuestas en el proyecto de restauración del espacio afectado por las actividades extractivas y siempre que el ángulo general considerado sea suficientemente estable.

Siendo absolutamente necesaria la condición de estabilidad, esta no es suficiente, ya que la normativa vigente en España establece la obligatoriedad de que la pendiente máxima de un talud sea subvertical, prohibiéndose taxativamente la existencia de taludes invertidos.

Finalmente, es importante mencionar que, en numerosas ocasiones, los ángulos de los taludes finales se ven rebajados como consecuencia de la necesaria inclusión en los diseños de las pistas de transporte.

8.1 ALTURA DE BANCO

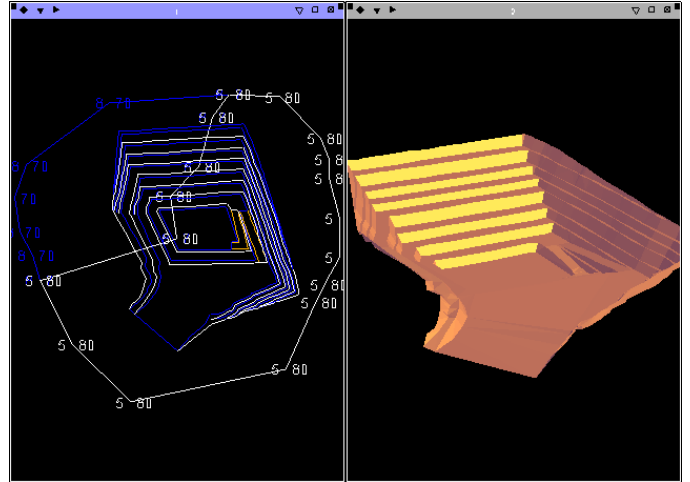
La altura de banco se establece, generalmente, a partir de las dimensiones de los equipos de excavación y carga, las características del macizo rocoso y de las exigencias de selectividad de la explotación. En líneas generales, el condicionante para establecer la altura de banco es el equipo de carga y la altura máxima que alcanza el cucharón. Este criterio permite utilizar la pala o



excavadora para sanear cualquier punto del frente y mantener unas condiciones de seguridad aceptables. Sin embargo, la experiencia en el sector de las canteras muestra como, casi de forma sistemática, se acude a alturas de banco comprendidas entre 10 y 20 m.

Las alturas de banco mayores tienen, a pesar de sus inconvenientes, las siguientes ventajas:

- Mayor rendimiento de la perforación al reducirse los tiempos muertos de cambio de posición y una menor repercusión de los costes relativos a sobreperforación y explosivos.
- Una geometría de voladura óptima, dentro de la tendencia actual hacia mayores diámetros de perforación.
- Mejora de los rendimientos de los equipos de carga al reducirse los tiempos muertos por cambio de tajo, así como por desplazamientos del equipo dentro del mismo.
- Menor número de bancos y, por tanto, mayor concentración y eficiencia de la maquinaria.
- Infraestructura de accesos más económica por menor número de niveles de trabajo.



Las ventajas de una altura de banco reducida, sin embargo, son las siguientes:

- Mejores condiciones de seguridad para el personal y maquinaria, pues el alcance de las máquinas permite un mejor saneo y limpieza de los frentes durante la operación.
- Control más efectivo de las desviaciones de los barrenos, especialmente si se utilizan perforadoras de martillo en cabeza.
- Menores cargas operantes de explosivo, por lo que, con secuencias de encendido adecuadas, se disminuyen los problemas de vibraciones y de onda aérea.
- Mayor rapidez en la ejecución de rampas de acceso entre bancos.
- Mejores condiciones para la restauración y tratamiento de los taludes finales.

La selección de la altura más adecuada dentro de las limitaciones establecidas por la normativa, es en

consecuencia, el resultado de un análisis técnico – económico apoyado en estudios geotécnicos que incluyen el aspecto de seguridad de las operaciones y los estudios de recuperación de los terrenos afectados por las actividades mineras.

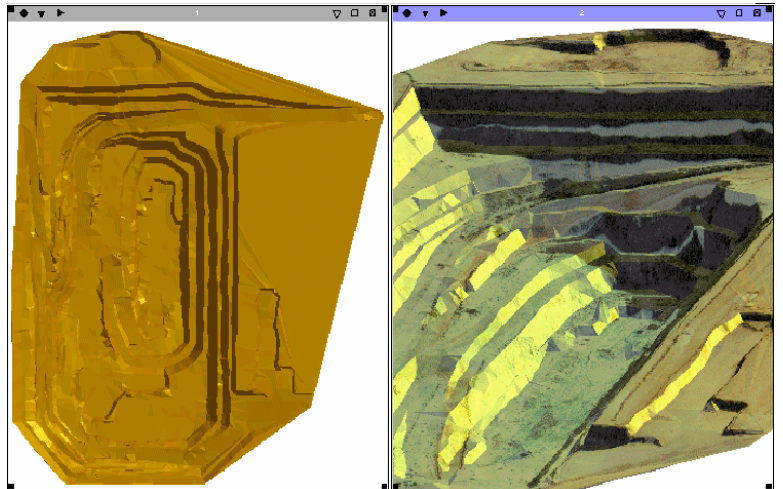
8.2 ANCHURA DE PLATAFORMAS DE TRABAJO (O TAJOS)

La anchura mínima de banco de trabajo es la suma de los espacios necesarios para el movimiento de la maquinaria que trabaja en ellos simultáneamente, de tal manera que sea suficientemente amplia para permitir que los volquetes y palas maniobren con facilidad sin aproximarse innecesariamente al frente de arranque y mantengan una distancia mínima de seguridad de cinco metros (5 m) al borde del banco en el desarrollo normal del trabajo.



Los tres procesos básicos que tienen lugar en el interior de una cantera son la perforación, la carga y el transporte, que

pueden, o no, simultanearse en el mismo banco. No obstante, en cada caso concreto (es decir, en cada proyecto de explotación) deberán definirse las operaciones que se proyecta realizar en la plataforma de trabajo y la maquinaria implicada, justificándose siempre que la anchura de la plataforma se ajusta a lo establecido en la normativa vigente.



Por tanto, es a partir del funcionamiento normal de la explotación que se definirá la geometría de las plazas de maniobra que existirán en la explotación, tanto en la fase final como en las etapas de trabajo. La práctica permite establecer que las plataformas donde opere maquinaria móvil no debieran tener nunca una anchura inferior a los 20 m hasta alcanzar la configuración del talud final, aunque en situaciones especiales como es la iniciación de plataformas o limitaciones de amplitud por diversas causas, deberán adoptarse condiciones especiales y precauciones adicionales. En cualquier caso, para evitar riesgos de vuelco o caídas, se colocarán topes o barreras franqueables en condiciones normales de trabajo.

De forma orientativa, se puede estimar que las dimensiones mínimas de las plataformas de trabajo en canteras donde se emplean maquinas de tamaño pequeño a mediano, pueden ser las que se indican en la siguiente tabla. Cuanto mayor sea el tamaño de la maquinaria, mayores son las dimensiones mínimas y más rígidos serán los criterios generales de diseño.

Operaciones de perforación, 1 fila	9,5 metros
Operaciones de carga y volteo con retroexcavadora	25 metros
Operaciones de carga (con retroexcavadora) y transporte	12,47 metros
Operaciones de carga (con cargadora de neumáticos) y transporte	12,47 metros + radio de giro
Operaciones de carga (con retroexcavadora), transporte y perforación (una fila)	19,47 metros
Operaciones de carga (cargadora de neumáticos), transporte y perforación (una fila)	19,47 metros + radio de giro

Lógicamente, el área correspondiente a la perforación dependerá de la anchura de la voladura proyectada y del espacio que ocupe la maquinaria de perforación, toda vez que en el caso de ejecutar barrenos verticales, será menor pues solo ocupará la mitad de su ancho detrás de la última fila al poder situarse longitudinalmente en el banco. Por debajo de las dimensiones definidas en la tabla, no se podrán considerar trabajos en plataformas y, en consecuencia, no se podrán desarrollar en ellas ningún tipo de labores. Por tanto, en la etapa de proyecto se determinará la anchura mínima de operación en dichas plataformas, su dimensionamiento en función de la maquinaria propuesta, del estudio de inestabilidades locales, del diseño de voladuras, etc., y todas las plataformas de trabajo deben quedar convenientemente reflejadas en los planos que reflejan las sucesivas fases de la explotación, definiéndose el modo de operación en las mismas.

La superficie de la plataforma de trabajo debe ser regular, de forma que permita la fácil maniobra de la maquinaria, su estabilidad y un desagüe eficaz. Debe preverse el prestar suficiente atención a la conservación y limpieza de los drenajes que se prevean y diseñen para evitar encharcamientos, así como al mantenimiento en sí de la propia

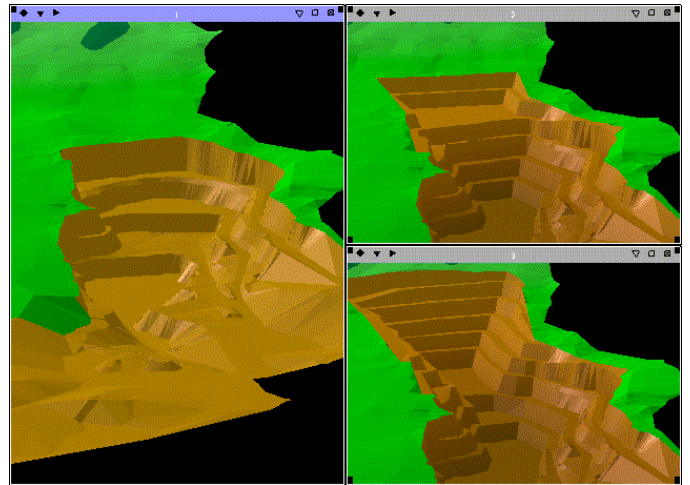


superficie de la plataforma para eliminar baches, blandones, roderas, etc., eliminándose también las piedras descalzadas de los taludes o caídas de las cajas de los vehículos.

En caso de actividad nocturna, las plataformas de trabajo deben estar dotadas con el sistema de iluminación que resulte más adecuado y esté suficientemente dimensionado para garantizar una operación absolutamente segura.

8.3 BERMAS

Las bermas se utilizan como plataformas de acceso en el talud de una excavación y también como áreas de protección al detener los materiales que pueden desprenderse de los frentes en los bancos superiores, hasta pistas o zonas de trabajo inferiores. Por consiguiente, las características y dimensiones de las bermas definitivas deberán ser justificadas por cálculo, para lo que deberá conocerse la inclinación



de las superficies de rotura de los bancos y el ángulo de reposo del material fragmentado. Si las bermas han de ser utilizadas como pistas de transporte de todo – uno de cantera, las mismas deberán ser dimensionadas de acuerdo a estas características.

Una vez determinadas qué bermas y en qué momento serán utilizadas como pista de transporte, se justificará por cálculo que esta anchura es de magnitud suficiente como para cumplir lo anteriormente expuesto y siempre condicionando la validez de la anchura mínima de las bermas a las consideraciones del proyecto de restauración definitivo y a que el ángulo general considerado sea lo suficientemente estable.

La altura o separación entre bermas es función del talud de cara de banco y de las dimensiones de los equipos existentes. Si el citado ángulo es inferior a 45° y los materiales que lo configuran son de tipo lajoso, su caída tendrá lugar por deslizamiento, recomendándose dejar una berma cada tres o cuatro bancos. Normalmente, con ángulos del orden de 75° , voladuras correctamente realizadas y características geomecánicas del macizo adecuadas, es frecuente recomendar una berma cada dos o tres bancos. En el supuesto de conocerse la inclinación de las superficies de rotura de los bancos y el ángulo de reposo del material fragmentado, es posible dimensionar las bermas para evitar caídas a niveles inferiores. Finalmente, en cualquiera de los casos, la normativa vigente en España establece

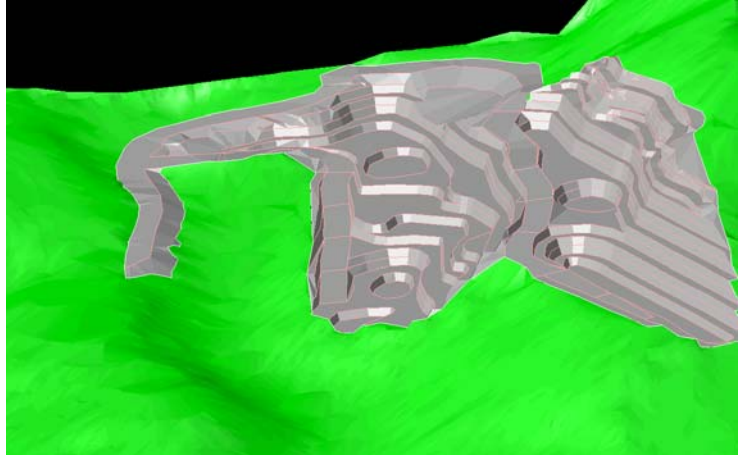


Lo que no permite la normativa de seguridad minera española. Véase el talud del fondo en particular.

(se sobreentiende que es para los casos de macizos rocosos de excelente calidad, frente absolutamente estable y que en ningún momento sobrepase la verticalidad) que no se permitirá una altura de talud superior a 40 metros sin bermas intermedias de seguridad.

9. PISTAS Y ACCESOS (RAMPAS)

Constituyen uno de los elementos de infraestructura más complejos de definir, diseñar, toda vez que deben asegurar la accesibilidad con total seguridad a todos los puntos de la cantera. Son las vías por las que circulan los vehículos dentro de la explotación y, en especial, las unidades de acarreo.



Las características de diseño de las pistas y de lo que se ha dado en llamar específicamente “acceso” son diferentes, porque mientras en las pistas la circulación es habitual y continua en los dos y a marcha rápida, en los denominados “accesos”, que se utilizan de forma eventual y exclusivamente para el acceso a sus tajos de las máquinas que efectúan el arranque u operaciones auxiliares, la circulación es mínima y a velocidad mucho más lenta.

9.1 ACCESOS

La pendiente de los accesos no debe sobrepasar, en ningún caso, el 20 % (11°) y con respecto a su anchura, ésta debe superar por lo menos en dos metros el ancho de vía de la unidad o máquina más ancha que vaya a circular por ellos, a lo que hay que sumar un arcén mínimo de dos metros entre el borde del acceso y el pie inferior de un talud. A la hora de definir y proyectar los accesos, deberá justificarse la anchura, cuneta y sobreebancho proyectados en función del tipo de acceso y de las características específicas de la maquinaria, lo cual permitirá definir, en plano y con suficiente detalle, el diseño de los accesos con expresión de los ejes, arcenes, centros y radios de curvatura en curvas, intersección con el terreno, acuerdos en entronques y representación de perfiles longitudinales y transversales.

Con todo ello, se deberá garantizar por cálculo que la maquinaria destinada a circular por los accesos sea capaz de hacerlo sin riesgo alguno, con tales condiciones de diseño. En caso contrario, deberá renunciarse a la utilización de dicho vial.

La norma general de diseño es la de garantizar una circulación absolutamente segura y sin dificultades para los

vehículos y unidades que vayan a utilizarlos, contando también con los vehículos de servicio de las máquinas en operación.

Se tendrá en cuenta la calidad de la superficie de rodadura, la estabilidad y posibilidad de frenado de los vehículos y se proyectarán con un perfil transversal que facilite el desagüe y un perfil longitudinal que evite la existencia de badenes y se prevea la existencia de topes o barreras no franqueables, junto con el correspondiente balizado en aquellas zonas donde exista riesgo de caída o vuelco, o donde la distancia mínima al bode superior de un talud sea inferior a los cinco metros de terreno absolutamente firme. Todo ello, deberá completarse con la adecuada señalización.

9.2 PISTAS

El diseño de las pistas debe ser tal que las unidades de transporte utilizadas se desplacen sin perder el ritmo de operación y en condiciones de máxima seguridad. Por ello, los criterios de diseño se centran fundamentalmente en:

- Firme.
- Pendiente.
- Anchura de pista.
- Curvas: radios, peraltes y sobrecancho.
- Visibilidad en curvas y cambios de rasante.
- Convexidad o bombeo.
- Conservación.



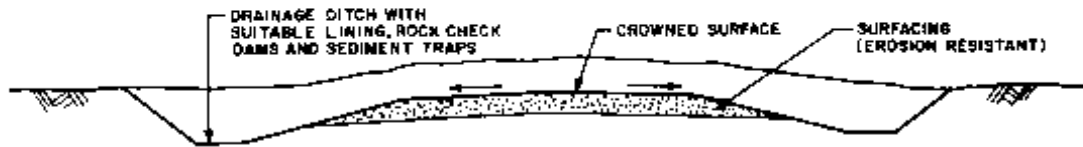
Los dos primeros parámetros tienen que ver básicamente con el rendimiento y coste del transporte, pero también con la seguridad. La determinación de la pendiente óptima de una pista se realiza a partir de las curvas características de los vehículos, que consideran la velocidad y la capacidad de frenado. Los mejores rendimientos y costes, junto con unas condiciones de seguridad adecuadas, se obtienen con pendientes en torno al 8 %, incluyendo una resistencia a la rodadura normal. No obstante, en cada caso deberá también tenerse en cuenta si el acarreo es ascendente o descendente.



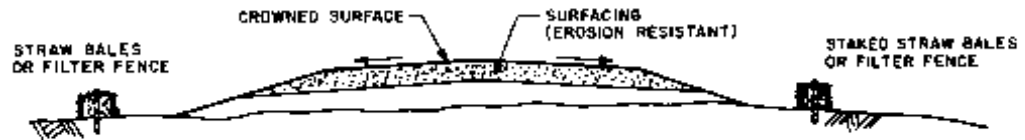
En planos de diseño, las pistas se representarán en planta y perfil tipo, con perfil longitudinal y transversal y

representación de eje, arcones, centros y radios de curvatura en curvas, acuerdos en entronques, etc. Se analizará el perfil longitudinal de la pista, sus ramales y los distintos perfiles transversales, justificándose por cálculo la elección de las distintas secciones.

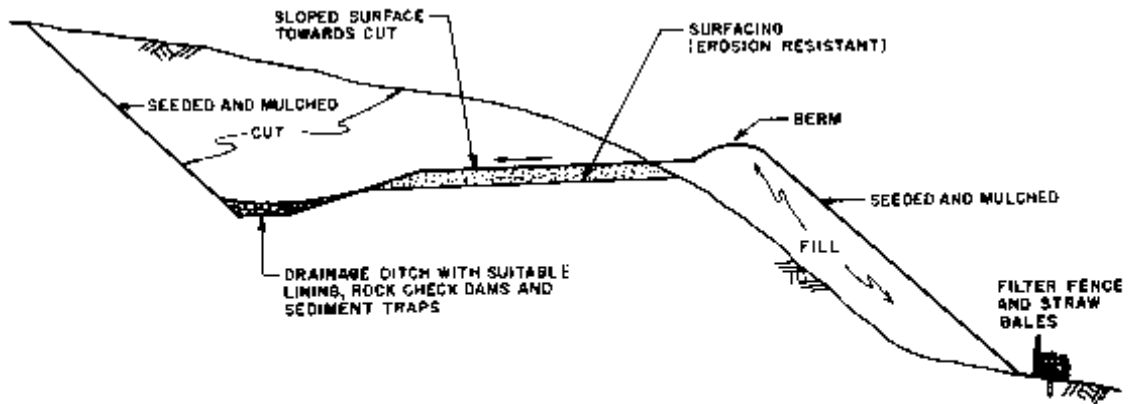
TYPICAL HAUL ROAD CROSS SECTIONS



TYPICAL CUT SECTION



TYPICAL FILL SECTION



TYPICAL CUT/FILL SECTION

9.2.1 Anchura de las pistas

La anchura de las pistas recomendada puede estimarse con la siguiente expresión:

$$A = a (0,5 + 1,5 n)$$

Donde:

A	Anchura total de la pista (m).
a	Anchura del vehículo (m).
N	Número de carriles deseados.

Esto significa que, en pistas de un solo carril, tanto a la izquierda como a la derecha de cada vehículo debe dejarse una separación de seguridad equivalente a la mitad de la anchura de éste, sin reducirse jamás por debajo de vez y media la anchura del mayor vehículo que se prevea que circule por ella. Deberá preverse además el diseño de los apartaderos necesarios para asegurar el cruce de vehículos, convenientemente espaciados y con una longitud mínima del doble del vehículo más largo que se prevea que circule por la pista y con la anchura mínima del vehículo más ancho. Tanto en cambios de rasante como en curvas que carezcan de visibilidad, la pista deberá ser de doble carril o disponer de apartaderos con un dispositivo de señales eficaz que regule el tráfico alternativo.



En pistas de dos carriles, la anchura mínima admisible puntualmente será de tres veces la del vehículo más ancho.

Se insiste en que estas cifras dadas se corresponden con mínimos absolutos y que un diseño responsable y basado en la seguridad de la operación debe manejar cifras siempre superiores a estas.

9.2.2 Radios de curvatura

Los radios de curvatura, en planta, deberán ser capaces de garantizar el giro de los vehículos y maquinaria de mayores dimensiones que circulen por ella, garantizándose que es capaz de hacerlo sin riesgo alguno con dichas condiciones de diseño. Es por ello necesario utilizar la suficiente información técnica por parte del fabricante de la maquinaria para garantizar la bondad del cálculo.

Para que las curvas no supongan una limitación en la producción deben tener un radio mínimo entre 20 y 30 m, dependiendo del vehículo que se utilice, de la velocidad prevista, del peralte y del coeficiente de rozamiento.

9.2.3 Sobreelevación en las curvas

Los volquetes ocupan en las curvas una anchura mayor que en las rectas, ya que sus ruedas traseras no siguen exactamente el movimiento de las delanteras debido a la rigidez del chasis y, además, existe una tendencia de los conductores a no mantenerse en su carril. Por ello, es necesario disponer de un sobreelevación, que será función del radio de la curva y de la longitud del camión.

Una expresión utilizada habitualmente para calcular el sobreelevación necesario es la debida a Voshell:

$$e = \frac{V^2}{127,14 \cdot R} - f$$

Donde:

f	Sobreelevación (m).
R	Radio de la curva (m).
L	Distancia entre ejes del volquete (m).

El RGNBSM y sus ITC establecen una expresión para calcular el sobreelevación mínimo admisible:

$$S = \frac{L^2}{2 \cdot R}$$

Donde:

S	Sobreelevación del carril (m).
R	Radio de la curva (m).
L	Distancia máxima (m) entre ejes del volquete o camión articulado.

9.2.4 Peraltes

Para contrarrestar la fuerza centrífuga que aparece en las curvas, originando deslizamientos transversales e incluso vuelcos, el peralte o sobreelevación del lado exterior de la curva se calcula a partir de la fórmula siguiente:

$$f = 2 \cdot \left(R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) \cdot \frac{5,8}{\sqrt{R}}$$

Donde:

e	Tangente del ángulo del plano horizontal con la pista.
---	--

- V Velocidad (Km/h).
- R Radio de la curva (m).
- F Coeficiente de fricción.

En la siguiente tabla se dan las relaciones recomendables entre el radio de una curva circular, peralte con la que se la debe dotar y velocidad más adecuada para recorrer la misma.

Radio (m)	12	25	50	75	100	150
Peralte máximo (%)	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0
Velocidad (Km/h)	10	15	20	22	25	30

En las uniones de tramos con diferentes peraltes es preciso establecer una longitud de pista en la que el peralte variará de forma gradual, esta es la denominada “zona de transición”.

9.2.5 Bombeo y convexidad

La sección transversal de la pista debe estar diseñada con un determinado bombeo, es decir, a dos aguas, con el fin de conseguir una evacuación efectiva de la escorrentía hacia las cunetas o bordes laterales. Los valores más usuales de dichas pendientes transversales varían entre un 2 % y un 4 %. El menor valor de 2 cm/m es adecuado para superficie con reducida resistencia a la rodadura que drenan fácilmente, y el valor máximo para casos de elevada resistencia a la rodadura.

En curva, la pendiente transversal de la superficie es la que corresponde al peralte y se dispone, por tanto en todos los casos, a una sola agua. La transición entre las pendientes o bombeos de las alineaciones rectas y los peraltes en curva se hará de forma gradual con una variación lineal de pendientes.

9.2.6 Visibilidad en curvas y cambios de rasante

Un factor importante que debe considerarse, tanto en las curvas como en los cambios de rasante, es la distancia de visibilidad de parada, es decir, aquella necesaria para que un vehículo pueda detenerse, sin deceleraciones inadmisibles, antes de llegar a chocar con cualquier obstáculo que pueda hallarse en su camino.

9.2.7 Conservación

El sistema de pistas diseñado debe tener previsto un mantenimiento periódico y sistemático, de tal manera que se conserven en todo momento en buenas condiciones de seguridad. Desde la propia fase de diseño deberá quedar establecido cuales serán las condiciones en las que se realizará este mantenimiento, cual será su frecuencia, los medios a emplear y las operaciones a desarrollar.

Como en el caso de las plataformas de trabajo, se prestará una especial atención a la conservación y limpieza de los drenajes existentes para evitar encharcamientos, así como a la restauración de la superficie de rodadura, eliminación de baches, blandones, roderas, etc., estableciendo los medios para la retirada de las piedras descalzadas de los taludes o caídas de las cajas de los vehículos.

Asimismo, deberá preverse la conservación y reposición periódica de las señales de tráfico establecidas.

En el tema de política de lucha contra el polvo, en tiempo seco se efectuarán riegos periódicos con el fin de reducir la emisión de polvo.

10. DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

10.1 LABORES DE PREPARACIÓN, FASES, REQUERIMIENTOS, ETC.

El diseño preliminar de una explotación de cantera y su planificación operativa a corto, medio y largo plazo debe tener cuantificado el volumen de recubrimiento en forma de tierras y suelos o en su caso, de formaciones litológicas no interesantes, que es necesario remover anualmente en operaciones de específicas de desmonte.

La importancia del correcto desarrollo de las operaciones de desmonte no está solo en conseguir un coste bajo, sino en también en permitir que los frentes sean lo más estables posible dándoles un talud apropiado en función de sus características geomecánicas, que muy frecuentemente son mucho peores que el macizo rocoso explotado por la cantera, y protegiéndolos de la acción erosiva de las aguas mediante la construcción de cunetas de guarda para las de escorrentía y de drenajes para las de infiltración.

El diseño de la explotación debe prever que, entre el pie del desmonte y la cabeza del frente de explotación, debe guardarse una berma de seguridad que impida que los posibles desprendimientos o corrimientos del

recubrimiento caigan sobre la explotación y se permita, si fuera necesario, la reanudación de los trabajos de desmonte en condiciones suficientes de seguridad al disponerse del espacio necesario para el acceso y maniobra de la maquinaria.

10.2 SANEOS

El diseño de la explotación debe prever el adecuado saneo de todos los frentes y taludes excavados para su conservación en perfectas condiciones y en prevención de la aparición de problemas de mayor gravedad.

Después de una parada y antes de comenzar los trabajos es necesario inspeccionar los frentes de explotación, asegurándose de que no existen masas de rocas inestables y ordenándose, en caso necesario, su saneo por parte de personal adecuadamente formado para estas labores y utilizando, preferiblemente, medios mecánicos.



Las inspecciones y los saneos deben realizarse de forma sistemática en los casos siguientes:

- Después de lluvias, heladas o nevadas intensas.
- Cuando se haya producido el desprendimiento de masas importantes de roca.
- Después de cada voladura.

Cuando exista riesgo de deslizamiento o de desprendimientos en los taludes que afecten a una pista, ésta debe protegerse mediante mallazo, bulonado, gunitado, etc., del talud, dejando en caso necesario un arcén de cinco metros de anchura.



10.3 SISTEMA DE CARGA Y TRANSPORTE. CARACTERÍSTICAS, PERSONAL Y EQUIPOS

Tras la selección del método aplicable a la explotación de áridos, es necesario establecer el sistema de explotación que se utilizará y que estará constituido por los diferentes equipo de arranque, carga y transporte. En función de estos, será necesario posteriormente definir los equipos de servicios.

Según la continuidad del ciclo básico, se diferencian los siguientes sistemas:

Sistema totalmente discontinuo.

La operación de arranque, con o sin voladura, se lleva a cabo con equipos discontinuos y el transporte se efectúa con volquetes mineros. Es el sistema más implantado debido a su gran flexibilidad y versatilidad.



Sistema mixto con trituradora estacionaria dentro de la cantera.

Una parte de la operación se realiza con medios semejantes al sistema anterior, hasta una trituradora instalada dentro de la explotación con la que se consigue una granulometría adecuada para poder efectuar desde ese punto el transporte continuo por cintas.



Sistema mixto con trituradora semimóvil dentro de la cantera.

Conceptualmente es igual al sistema anterior, pero con mayor flexibilidad, ya que la trituradora puede cambiarse de emplazamiento cada cierto tiempo, invirtiendo en estos traslados varios días o semanas.



Planta semi-móvil de trituración y clasificación.

Sistema continuo con trituradora móvil y arranque discontinuo.

En este sistema se prescinde del transporte con volquetes, ya que la trituradora móvil acompaña constantemente por el tajo el equipo de arranque y carga discontinuo.



Sistema de transporte mixto y arranque continuo.

Es una variante de la tercera alternativa, donde se sustituye el arranque discontinuo por un minador continuo. Es un sistema poco utilizado, aunque algunas canteras lo aplican.



Sistema de arranque y transporte continuos.

Es el sistema que presenta mayor porcentaje de electrificación, puesto que todas las unidades a excepción de las auxiliares, van accionadas por motores eléctricos.

A su vez, en cada uno de esos sistemas, la maquinaria utilizada puede ser distinta pues, por ejemplo, en el arranque continuo es posible emplear minadores y, en el transporte continuo, cintas transportadoras convencionales, cintas de alta pendiente, etc.

10.4 CONSIDERACIONES AL ARRANQUE POR EXPLOSIVOS

En las explotaciones de cantera para la fabricación de áridos de machaqueo, el arranque suele realizarse por medio de perforación y voladura, quedando el arranque directo reservado para aquellas formaciones de tipo gravera o formaciones arenosas.

La perforación para la carga del explosivo debe realizarse según un conjunto de proyectos – tipo, diseñados para cada una de las voladuras que se prevea deban darse en la cantera y dimensionadas de tal manera que los frentes queden saneados y se eviten, en lo posible, la ejecución de voladuras de repies o de troceo secundario.



11. DESAGÜE Y DRENAJE

El diseño de la explotación debe asentarse sobre los necesarios estudios hidrológicos e hidrogeológicos encaminados a caracterizar las necesidades de desagüe y de drenaje de la explotación, estableciendo las medidas preventivas y correctivas correspondientes.

Se estudiará y diseñará una red de drenaje que garantice que las aguas recogidas en la explotación son adecuadamente canalizadas, tratadas y depuradas antes de su vertido a los cauces públicos. Se deberán contemplar, en los cálculos, los caudales aportados tanto por los cauces y cuencas superficiales, como por las

estructuras hidrogeológicas, de manera a determinar la suficiencia de la red de drenaje y desagüe diseñada.

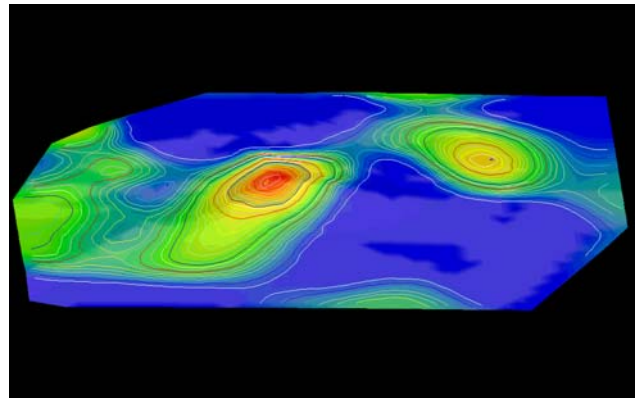
Los estudios también deberán prever las calidades de las aguas evacuadas en cada sitio y sus necesidades de depuración, tanto en condiciones normales de operación como en condiciones climáticas extraordinarias.

12. CORRECCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DURANTE LA EXPLOTACIÓN

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 de las características del lugar en el que se proyecta. Su consideración es clave no solo por las repercusiones económicas en el desarrollo del proyecto, sino por la directa incidencia en la reputación y fama de la compañía, así como en la accesibilidad a nuevos proyectos.



El origen de los problemas o efectos puede derivarse de la fase de planeamiento del proyecto donde se abordan los objetivos concretos de la explotación a través del interés que la empresa tiene de las dedicaciones presupuestarias. O de la fase de diseño donde se recoge como se debe hacer la explotación (diseño de apertura de mina, de localización, tamaño y forma de la escombrera, etc.), o bien de la propia fase de ejecución, cuando la explotación está funcionando.



En cada caso, la forma de abordar el problema requiere de un análisis diferenciado pero que posteriormente se integre dentro del conjunto de la problemática ambiental de la explotación, de manera tal a conseguir soluciones integrales, bien planteadas, más efectivas que las soluciones parciales, mejor implantadas y de coste proporcionalmente más reducido.

A la hora de proceder al estudio de los distintos tipos de contaminación producidos en una explotación, es frecuente recurrir a los modelos de simulación. Sin poner en duda las ventajas de la utilización de los mismos, es necesario tener en cuenta, sin embargo, que estos tienen una estructura básica que depende de las características y propiedades consideradas en los sistemas ambientales, y que la calidad del modelo depende

considerablemente de la calidad de los supuestos de partida, así como de su tratamiento.

En el capítulo de la adopción de medidas preventivas o correctoras de los distintos impactos ambientales, es necesario tener en cuenta que siempre es mejor no producir la alteración que establecer una medida correctora, pues aparte de suponer un coste adicional de tiempo y de dinero, en la mayoría de los casos solamente se elimina una parte de la alteración y, en otros, ni siquiera esto.

La política de establecimiento de medidas preventivas en los diseños se basa en el empleo de metodologías basadas en el conocimiento por expertos de los impactos generados en proyectos similares. Posteriormente, el diseño y dimensionamiento de las medidas correctoras deberán tener en cuenta la clasificación de las mismas:

- **Medidas que reducen el impacto:** Este tipo de medidas correctoras se consiguen, generalmente, con un **diseño adecuado del proyecto** o limitando la intensidad de las acciones.
- **Medidas que compensan el impacto:** Mediante la reposición y conservación de los elementos que permanecen, desarrollo de otros nuevos que permitan suplir los elementos alterados.
- **Cambian la condición del impacto:** Favorecen los procesos de regeneración natural o permiten restaurar el entorno afectado.

Otro aspecto a considerar sobre las medidas correctoras, es la escala temporal de su aplicación, pues es conveniente llevarlas a la práctica lo antes posible, ya que de este modo se pueden evitar impactos secundarios.

12.1 PREVENCIÓN Y ELIMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR POLVO Y GASES

La contaminación producida por partículas sólidas, polvo y gases, derivada de las operaciones de apertura de huecos, de la creación de las escombreras y del tráfico de volquetes y de maquinaria pesada (que es cuando se producen los impactos más severos de este tipo) y, en menor cuantía, de la construcción de pistas, ha tenido tradicionalmente un conjunto de medidas correctoras basadas en:

- Riego periódico de las pistas con agua, acudiéndose algunas veces a la utilización de sustancias químicas o salinas reductoras de la emisión de polvo. Ello requiere dimensionar desde el principio las necesidades en medios humanos y equipos, para el adecuado riego de las pistas, así como la

infraestructura adecuada para el suministro y canalización del agua necesaria hasta la explotación. En este sentido, es frecuente observar prácticas manifiestamente contraproducentes como la instalación de aspersores de funcionamiento permanente en las pistas.

- Estabilización química de pistas.
- Pavimentación de los accesos permanentes a la mina, práctica cada vez más extendida en las explotaciones especialmente en zonas de terrenos muy áridos.
- Retirada de las pistas del material formado por acumulación del polvo mediante el uso de motoniveladoras, barredoras, etc.
- Revegetación rápida de los terrenos restituidos (superficies finales de vertederos y taludes excavados), estableciendo en la planificación de la explotación los medios materiales, humanos y económicos necesarios para ello.
- Control del polvo durante la perforación por medio de captadores (hoy día ya obligatoria en todos los casos) y reducción del número de tajos con voladuras y retirada del detritus de la perforación, evitando siempre su utilización en el retacado de las voladuras.
- Reducción del tiempo entre las fases de explotación y restitución mediante el desarrollo de una óptima planificación.

12.2 PREVENCIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO POR ACTIVIDADES RUIDOSAS

La reducción de los impactos acústicos se consigue mediante:

- La reducción de la velocidad de circulación de los vehículos, especialmente de los de transporte, lo que redundará en una menor formación de polvo y en un incremento de la seguridad.
- Minimización de los cruces en las pistas.
- Planificación, construcción y desarrollo de pantallas vegetales contra el viento, de manera tal que dificulten su libre circulación en los niveles superficiales.
- Sustitución de los volquetes por cintas transportadoras.
- Riego de las pilas de materiales que se cargan sobre los volquetes.
- Estudio de la ubicación de las plantas de tratamiento conforme a las direcciones predominantes de los vientos.
- Ubicación de las plantas lo más alejadas posible de las zonas habitadas.
- Construcción de barreras sónicas perimetrales.
- Instalación de silenciadores en equipos móviles.
- Estudio de rutas alternativas de transporte en zonas próximas a las áreas habitadas.

- Desarrollo de las políticas más adecuadas de mantenimiento preventivo, lo que redundará en una reducción del coste de operación.
- Recubrimiento con gomas de todos los elementos metálicos que sufren los impactos de las rocas (por ejemplo, las cajas de los camiones, etc.).
- Utilización de equipos accionados eléctricamente.
- Limitación a las horas diurnas de aquellas unidades más ruidosas o molestas.
- Disminución de las cargas operantes de explosivo y empleo de detonadores y de accesorios de microrretardo.
- Recubrimiento del cordón detonante expuesto al aire libre.
- Reducción al máximo de las operaciones de taqueo de bolos con explosivos, etc.

12.3 PREVENCIÓN DEL PROCESO DE EROSIÓN

Se encuentran relacionados con este tipo de riesgos la ocupación irreversible de suelo fértil por la creación de huecos y escombreras, y por la construcción de pistas, edificios y plantas de tratamiento. Otro efecto es la inducción de efectos edáficos negativos en los alrededores de la explotación por las operaciones derivadas de la creación de huecos, escombreras y pistas, debido a la acumulación de residuos, elementos finos, polvo, etc.

También se incluyen en este capítulo el aumento del riesgo de desprendimientos, deslizamientos o hundimientos por la creación de escombreras, el aumento de la carga de sedimentación aguas abajo debidas a la adición de materiales sólidos derivados de la creación de las escombreras y la construcción de las pistas e infraestructuras, el aumento de la erosión derivadas de todo este tipo de operaciones, etc.

Entre las acciones correctoras o de recuperación habitualmente empleadas figuran:

- Retirada y acopio de las tierras vegetales de las zonas ocupadas por la explotación.
- Diseño de un modelado en la recuperación que permita la reutilización productiva y ecológica del terreno a la conclusión de la explotación.
- Adopción de medidas que eviten la producción de polvo, desprendimientos y deslizamientos.
- Preparación del suelo, mejora del microclima (riego y abonado) y revegetación con especies autóctonas de los sistemas afectados.
- Adecuado diseño de las estructuras mineras, con esquemas constructivos que aseguren la existencia de los necesarios elementos de drenaje interno y la estabilidad.
- Desarrollo de buenos estudios y a cargo de profesionales solventes para el análisis del emplazamiento

de cada estructura.

- Adopción de medidas que eviten la formación de polvo.
- Establecimiento de sistemas de drenaje generales y particulares
- Revegetación rápida tras los movimientos finales de tierra en cada zona.
- Disminución de pendientes y de longitudes de declive en taludes de pistas y escombreras, situándose en los límites inferiores que permitan la correcta explotación.

13. IMPOSICIONES DERIVADAS DEL PROYECTO DE RESTAURACIÓN DEFINITIVA

La gestión moderna de los proyectos mineros establece la incorporación desde el principio de todas las consideraciones derivadas de la necesidad de cerrar la explotación y proceder a su restauración y abandono. Esto ha llevado a permitir tener en cuenta no solamente todas las implicaciones económicas, sino al desarrollo de diseños que faciliten al final la gestión de las actividades de restauración.

Las exigencias derivadas del necesario acondicionamiento de los terrenos van desde la reduplicación exacta de las condiciones originales, que es cuando se debe hablar con rigor de restauración, hasta el intento de conseguir un aprovechamiento nuevo y sustancialmente diferente al que correspondía a la situación primitiva, que es lo que se entiende por rehabilitación o recuperación.

Modernamente se ha venido implantando en Europa la concepción americana de la "Remediación" o restablecimiento del medio, entendiéndose por tal un paso más avanzado y más complejo a lo que es la propia restauración, pues se trata de dejar el emplazamiento y el espacio afectado por la actividad minera mejor que estaba en términos de actividad biológica.

En cualquier caso, independientemente del uso previsto para los terrenos afectados por las labores mineras, la revegetación suele jugar un papel protagonista, ya que posibilita:

- La restauración de la producción biológica del suelo.
- La reducción y el control de la erosión.
- La restauración de los terrenos sin consolidar.
- La protección de los recursos hídricos.
- La integración paisajística.

