EL RECORRIDO DE LOS MINERALES

en la Comunidad Foral de Navarra



MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

Instituto Geológico
y Minero de España

Gobierno
de Navarra

EL RECORRIDO DE LOS MINERALES

en la Comunidad Foral de Navarra

Esta obra es una adaptación del original "El Recorrido de los Minerales en la Comunidad de Madrid", editado por la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid.

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN
Instituto Geológico y Minero de España

Gobierno de Navarra
Departamento de Innovación, Empresa y Empleo

DIRECCIÓN: **Carlos López Jimeno**
Director General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid

COORDINACIÓN TÉCNICA: **Emilio Llorente Gómez**
Doctor Ingeniero de Minas
Profesor Emérito de la E.T.S.I. de Minas de la U.P.M.

Pilar García Bermúdez
Doctor Ingeniero de Minas

Jorge Vega Calle
Ingeniero Técnico Industrial

© DE LA EDICIÓN: Domènech e-learning multimedia, S.A.

PRIMERA EDICIÓN: 2007

DISEÑO Y MAQUETACIÓN: Enrique Domínguez

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN
Instituto Geológico y Minero de España

Gobierno de Navarra
Departamento de Innovación, Empresa y Empleo

TEXTOS COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA: **Carmen Marchán** (IGME) y **Mª del Mar Trapote** (CF Navarra).

© Comunidad Foral de Navarra
Departamento de Innovación, Empresa y Empleo

Depósito Legal:

Versión adaptada del Recorrido de los Minerales de la Comunidad de Madrid realizado por la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid.

La Suma de Todos
Comunidad de Madrid

Dirección General de Industria, Energía y Minas
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA
Comunidad de Madrid



LA MINERÍA
ORÍGENES Y DESARROLLO



LOS ÁRIDOS
Y EL CEMENTO



LOS MINERALES
INDUSTRIALES



LA PIEDRA NATURAL

índice

9 ¿QUÉ ES LA MINERÍA?
14 EL RECORRIDO DE LA MINERÍA
27 APLICACIONES MINERAS
33 LAS LEGISLACIONES MINERAS
34 LA MINERÍA EN LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA, EN ESPAÑA Y EN EL MUNDO

39 ¿QUÉ SON LOS ÁRIDOS?
42 EL RECORRIDO DE LOS ÁRIDOS
51 APLICACIONES Y USOS DE LOS ÁRIDOS. LOS ÁRIDOS EN TU VIDA
56 LOS ÁRIDOS EN LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA, EN ESPAÑA Y EN EL MUNDO
59 EL CEMENTO

67 ¿QUÉ SON LOS MINERALES INDUSTRIALES?
72 EL RECORRIDO DE LOS MINERALES INDUSTRIALES
78 LAS APLICACIONES DE LOS MINERALES INDUSTRIALES
84 LOS MINERALES INDUSTRIALES EN LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA, EN ESPAÑA Y EN EL MUNDO

89 ¿QUÉ ES LA PIEDRA NATURAL?
92 EL RECORRIDO DE LA PIEDRA NATURAL
99 APLICACIONES Y USOS DE LA PIEDRA NATURAL
102 LA PIEDRA NATURAL EN LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA, EN ESPAÑA Y EN EL MUNDO



LA MINERÍA Y EL MEDIO AMBIENTE

107 ¿QUÉ ES EL MEDIO AMBIENTE EN MINERÍA?

109 EL RECORRIDO DEL MEDIO AMBIENTE EN MINERÍA

117 LA RESTAURACIÓN DE LAS EXPLOTACIONES MINERAS

123 MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE EN LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA, EN ESPAÑA Y EN EL MUNDO

ANEXOS

127 ITINERARIOS

133 EXPERIENCIAS

MURALES

presentación

Los minerales, y los materiales derivados de los mismos, han estado siempre estrechamente ligados a todos los aspectos de la civilización, a sus instituciones, sus actividades, su bienestar y su calidad de vida.

La búsqueda incansable por el hombre de las riquezas naturales le ha llevado a través de la historia al descubrimiento y colonización de nuevas tierras y a la expansión del comercio, además del arte y la tecnología. Incluso, muchos enfrentamientos bélicos han surgido de la disputa por la posesión de yacimientos minerales.

Con frecuencia, el nivel de desarrollo de una sociedad se mide por los usos que cada nación hace de sus propios recursos mineros o con los importados, y su valor económico en las diferentes etapas de procesamiento y utilización. Efectivamente, si se compara el PIB per cápita, como indicador del bienestar o desarrollo económico, con el consumo de minerales per cápita, se aprecia que existe una correlación positiva entre ambas variables.

Los minerales y la sociedad han estado ligados desde los tiempos más remotos de la humanidad, conociéndose así las etapas prehistóricas con el nombre de Edad de Piedra, Edad de Cobre y Edad de Bronce, en clara alusión a la naturaleza de los utensilios en ellas empleados.

Aún, en los tiempos contemporáneos, se puede decir que tal relación se mantiene, habiéndose pasado de una Edad del Petróleo a la Edad del Silicio, en la cual nos encontramos inmersos.

El consumo de minerales ha crecido, a lo largo de la historia, de manera incesante, sobre todo a partir de la Revolución Industrial.

Actualmente, la demanda de minerales en los países más industrializados, como Estados Unidos, Japón y Alemania, supera las 18 toneladas por habitante y año, sin considerar el petróleo, estando previsto que estos consumos per cápita alcancen las 22 t en menos de una década.

En España, aunque todavía no nos encontremos en esos niveles de demanda, la tendencia es a aumentar.

Aproximadamente la mitad de tales cantidades corresponde a los áridos, es decir, arenas y gravas destinadas al sector de la construcción y obra civil, seguidos por los carbones, el hierro y el cemento.

En cualquier instante de nuestra vida cotidiana los minerales están siempre presentes. Para iluminar una habitación se necesita un combustible fósil para generar energía eléctrica, y cables de cobre o aluminio para el transporte de ésta. Para construir un coche de tipo medio se requiere actualmente 1.000 kg de acero, 70 kg de aluminio, 20 kg de cobre, 10 kg de cinc y 2 de magnesio. Para fabricar un televisor o un ordenador personal se precisan 35 minerales distintos, para un teléfono 30, para la pasta de dientes 5, y así con un sinfín de productos y equipos.

Resulta, pues, patente el papel fundamental que juega la minería en el contexto económico, e incluso en el proceso para alcanzar la calidad de vida deseada.

La minería, lejos de desaparecer, permanecerá y se intensificará, con una distribución geográfica cambiante, dependiente de la potencialidad geológica de los distintos países.

Todo ello irá unido a unas políticas de gestión más racionales, que harán no sólo de la minería una actividad sostenible, sino incluso del impulso de actividades relacionadas con la adecuada reutilización y reciclado de los residuos cuyo origen tienen las materias primas minerales.



AEMINA – AGRUPACIÓN EMPRESARIAL MINERA NAVARRA

La Agrupación Empresarial Minera Navarra – AEMINA se constituyó en noviembre de 2008 con el objetivo de difundir la importancia de la minería para el desarrollo económico y social de la Comunidad Foral de Navarra.

AEMINA nace para representar, defender y dar a conocer la minería de la Comunidad Foral de Navarra.

Está integrada por empresas productoras de áridos, magnesitas, rocas ornamentales, sales y yesos. También forman parte de AEMINA, empresas que utilizan estos minerales como materia prima principal en la fabricación de sus productos. Otras empresas asociadas a AEMINA son fabricantes de bienes de equipo y proveedores de servicios técnicos y de consultoría para la minería.

AEMINA tiene como objetivo principal trabajar por el mantenimiento y el desarrollo de la industria minera de Navarra, de forma que ésta industria pueda seguir contribuyendo a la generación de riqueza y empleo en la Comunidad Foral, de manera sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

AEMINA está integrada en la CEN – Confederación de Empresarios de Navarra, con la que mantiene una estrecha colaboración en su labor de representación de los empresarios navarros y de defensa y protección de los intereses comunes y privados.

Asociados

1. Miembros activos. Son las empresas mineras titulares o explotadores de un derecho minero

a. Áridos
- Aridos y Canteras del Ega, S.L. – www.canterasega.com
- Caleras de Liskar, S.A. – www.horpasa.org
- Canteras Acha, S.A.
- Canteras de Alaiz, S.A.
- Canteras de Yanci, S.A.
- Construcciones Sobrino, S.L.
- HORMAVASA
- Hormigones Azagra, S.A.
- Hormigones Beriain, S.A.
- Hormigones Delfín, S.A.
- Hormigones Lodosa, S.A.
- Hormigones Vicente, S.L. – www.hormigonesvicente.com
- Lázaro Echeverría, S.A.
- Manufactura de Productos Minerales, S.L. – www.el-cisne.com
- Transportes Richard, S.L.
- UNCONA, S.A.

b. Magnesitas
- Magnesitas Navarras, S.A. – www.magnesitasnavarras.es

c. Rocas Ornamentales
- Construcciones Zubillaga, S.A.
- Francisco San Martín, S.L.
- Mármoles Couceiro, S.L. www.marmolesypiedrascouceiro.com
- Mármoles del Baztán, S.A. – www.marmolesdelbaztan.com

d. Sales
- Potasas de Subiza, S.A.

e. Yesos
- Hormigones Pamplona, S.A. – www.horpasa.org
- Sulfatos La Ribera, S.L. – www.sulfatoslaribera.com
- Yesos Ibéricos, S.A. – www.uralita.com

2. Miembros adheridos. Personas físicas o jurídicas relacionadas o interesadas con la actividad minera

   a. Servicios Técnicos y Consultoría
      - GEEA Geólogos, S.L. – www.geea.es

   b. Otros
      - Excavaciones y Transportes Hermanos Azanza López, S.L.
      - Excavaciones y Voladuras Alzania, S.L.
      - Timac Agro, S.A.

Contacto
AEMINA – Agrupación Empresarial Minera Navarra
Doctor Huarte nº 3 (Edificio CEN)
31003 Pamplona (Navarra)
Tel. 620 250 940
aemina@aemina.es
www.aemina.es

FdA – FEDERACIÓN DE ÁRIDOS

La Federación de Áridos (FdA) representa los intereses de las empresas productoras de áridos de España, tanto en el ámbito nacional, como en el internacional.

La Federación de Áridos, constituida en 2007, asume las competencias y las representaciones que, hasta la fecha, ostentaba ANEFA frente a la Administración Central del Estado y en las Instituciones Nacionales e Internacionales.

La FdA representa un salto cualitativo y cuantitativo en el fortalecimiento de la representación del sector ante las administraciones e instituciones estatales e internacionales; gracias a su creación, el sector será oído con una sola voz, respetada y consolidada, que permitirá trabajar para satisfacer los intereses y competencias de las entidades que la integran. Aparte de esta labor de interlocución, la FdA no tiene entre sus objetivos ofrecer servicios a sus miembros.

Actualmente, la FdA integra a cerca de 950 empresas y 1200 explotaciones de áridos de todas las Comunidades Autónomas, siendo, sin duda alguna, la Federación más representativa de la Minería española.

Contacto
Federación de Áridos - FdA
Travesía de Téllez 4, entreplanta izquierda CP: 28007 Madrid
Tel: 0034 915522526 Fax: 0034 914344415
E-mail: secretariafda@aridos.info

ANEFA – ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESARIOS FABRICANTES DE ÁRIDOS

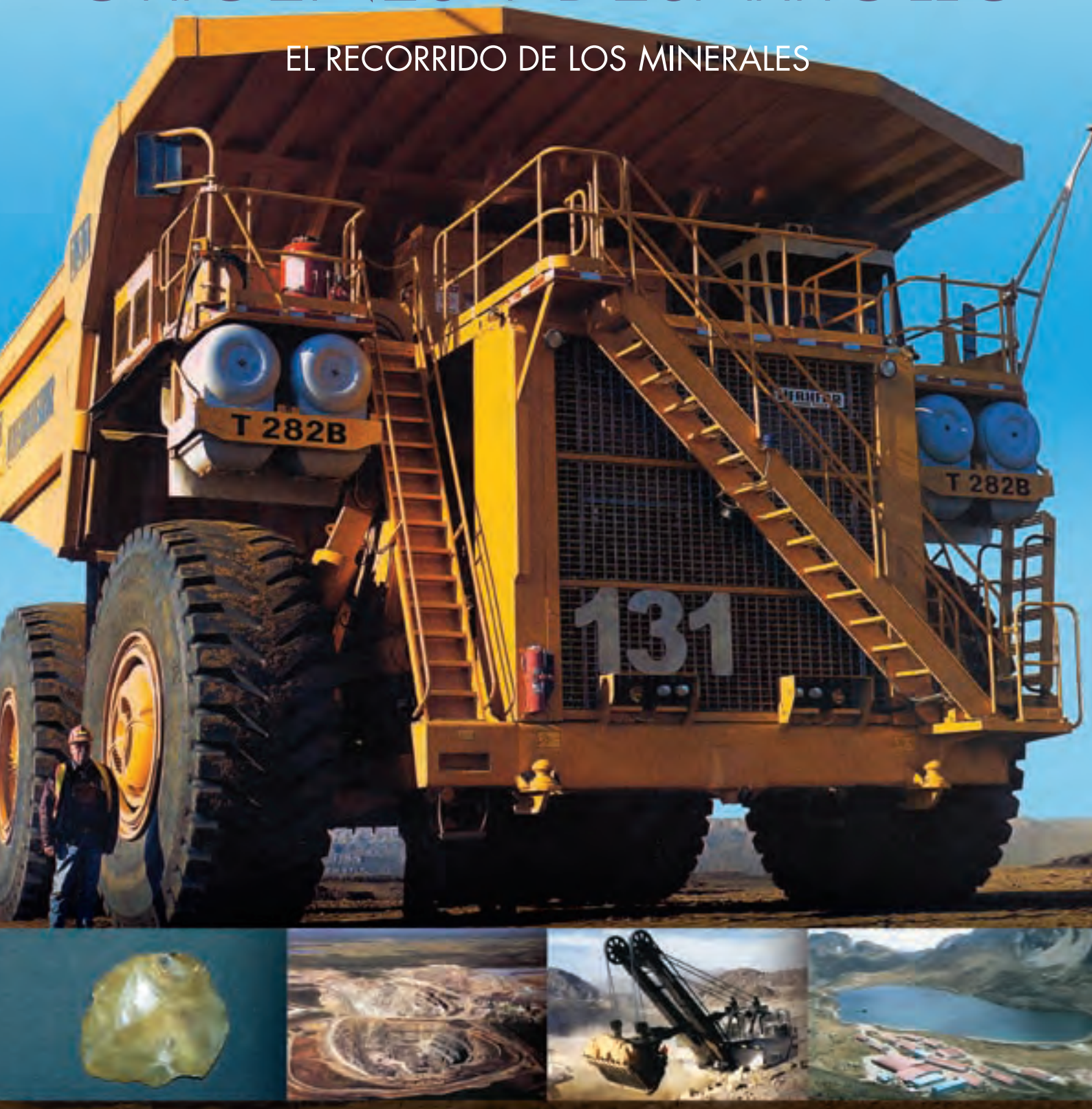
La Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos (ANEFA) agrupa a **650 explotaciones** y está integrada por **500 Empresas** repartidas por todo el territorio nacional, enmarcadas en ANEFA directamente como **Empresas Miembro activo** o bien a través de las Asociaciones miembro. En esas cifras, se incluyen **41 Empresas Miembro** adherido, proveedoras de bienes de equipo y de servicios para el sector.

Hasta principios de 2007, momento en que ha fundado la Federación de Áridos, ANEFA ha ostentado la representación del sector de áridos, tanto en el plano nacional como en el ámbito internacional. Hasta entonces, la Asociación ha ejercido la representación oficial del sector español de los áridos en la Unión Europea de Productores de Áridos (UEPG), organización que agrupa a 21 países europeos, en la Federación Iberoamericana de Productores de Áridos (FIPA), en el Comité Europeo de Normalización (CEN) y en otros organismos internacionales.

Contacto
ANEFA: Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos
Travesía de Téllez, 4 Entreplanta Izq 28007 Madrid
Telf: 902 11 03 29
Fax: +34 914 33 91 55
anefa@aridos.org
www.aridos.org

LA MINERÍA
ORÍGENES Y DESARROLLO

EL RECORRIDO DE LOS MINERALES



MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

Instituto Geológico
y Minero de España

Gobierno de Navarra
Departamento de Innovación,
Empresa y Empleo



Gobierno de Navarra
Departamento de Innovación,
Empresa y Empleo

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

contenido

1. QUÉ ES LA MINERÍA
- 1.1. Definición
- 1.2. Propiedades y características
- 1.3. Clasificación de la minería

2. EL RECORRIDO DE LA MINERÍA
- 2.1. Un poco de historia: origen y desarrollo de la minería en el Mundo
- 2.2. La minería moderna

3. APLICACIONES MINERAS
- 3.1. Recursos energéticos
- 3.2. Metales
- 3.3. Minerales no metálicos
- 3.4. Piedras naturales
- 3.5. Gemas y piedras preciosas

4. LA LEGISLACIÓN MINERA

5. LA MINERÍA EN LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA, EN ESPAÑA Y EN EL MUNDO

Ingeniero de Minas
Profesor Titular de la U.P.N.

Ingeniero de Minas
Catedrático de la U.P.N.

Ingeniero de Minas

Depósito Legal:

© Gobierno de Navarra

Diseño y maquetación:

1. QUÉ ES LA MINERÍA

La minería consiste en la obtención selectiva de sustancias y minerales existentes en la corteza terrestre con el fin de cubrir las necesidades de materiales adecuados para el desarrollo de nuestra civilización.

Se trata de una de las actividades más antiguas de la Humanidad, surgida cuando el hombre observó la posibilidad de utilizar determinados tipos de rocas para la mejora de sus actividades en cuanto a la fabricación de herramientas y armas, así como adornos tallados.

1.1. DEFINICIÓN

El manual de clasificación de normas industriales (SIC, *Standard Industrial Classification*) de Estados Unidos, define la minería como "la actividad industrial de extracción de recursos minerales naturales, ya sean sólidos (minerales y carbones), líquidos (sobre todo el petróleo) y gaseosos (el gas natural)".

El término minería usado en un sentido amplio incluye, además de las operaciones subterráneas y a cielo abierto, las que se producen en el tratamiento de las sustancias minerales extraídas, tales como su trituración, la separación por tamaños, el lavado, la concentración por diversos medios, su espesado y el secado, buscando en todo momento el acondicionamiento de esas sustancias para su venta y transformación.

Por extensión, también pueden incluirse en este concepto otro tipo de actividades, tales como la recuperación de escombreras antiguas. Sin embargo, no suelen introducirse en este apartado las primeras transformaciones de los minerales: la preparación de las arcillas, las plantas de hormigones y otros.

De la definición anterior se deriva que resulta necesario identificar muy bien lo que significa el término **recurso mineral.** Con él nos referimos a las concentraciones minerales de origen natural que proceden directamente de la corteza terrestre (materiales sólidos, líquidos o gaseosos, inorgánicos u orgánicos fósiles).

Estos materiales deben encontrarse en cantidad y calidad determinadas para que sean susceptibles de ser explotados. Una operación característica de la actividad minera, la primera fase de su ciclo de vida, consiste en determinar su ubicación, cantidad, riqueza (ley), características geológicas y continuidad: es la etapa de la exploración minera.



Mina metálica a cielo abierto en primer plano y escombreras de estériles rocosos.



Explotación de caliza ornamental "Crema Marfil" en Cehegín, Murcia.

1.2. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS

La actividad minera no deja de ser una actividad industrial más, pero de carácter muy singular. Sus propiedades más sobresalientes pueden ser, entre otras, las siguientes:

- Se relaciona íntimamente con la naturaleza. En realidad, proviene directamente de ella y en muchos casos resulta una fracción de la corteza terrestre, usada directamente para nuestro provecho: una placa o tablero de granito o mármol se extrae del yacimiento simplemente cortándolo y con un tratamiento superficial que puede ser un pulimento. A continuación, suele ser usado directamente en un edificio.

- La minería resulta muy intensiva en consumo de energía y arranca bastante más materia de la naturaleza que la que constituye el propio mineral o roca aprovechable.

  Esto acarrea dos consecuencias importantes, desde el punto de vista medioambiental. Por un lado, puede provocar importantes impactos visuales por acumulación de materiales residuales en la superficie (escombreras, huecos de mina), además de otros efectos sobre las aguas superficiales y una alteración de la biodiversidad de la zona. Desde otro punto de vista ambiental, el mero hecho de consumir gran cantidad de energía y materia supone una afección importante al mantenimiento de los recursos naturales.

  Por todo ello, se diseñan políticas "sostenibles" de reducción de consumo de materiales escasos o contaminantes, el reciclado de residuos producidos por la explotación de los recursos minerales, y, sobre todo, la elección de los yacimientos, de tal forma que se sitúen en el lugar apropiado (ordenación territorial), que sus propiedades sean las menos impactantes (escasa generación de ácido residual, minería subterránea menos agresiva, por ejemplo), y sobre todo, que la calidad del depósito mineral sea la mejor posible (riquezas o leyes muy altas, facilidad de concentración, escasa energía de liberación de las partículas de minerales, etc.).

- La minería también resulta intensiva en el capital inicial para su descubrimiento y puesta en marcha, y, además, se encuentra sujeta a un gran número de incertidumbres.

  La minería necesita equipos humanos y técnicas especializadas para el descubrimiento de nuevos yacimientos y para las instalaciones de la explotación y el tratamiento de sus minerales. Además, ello supone importantes inversiones que, a gran escala, se encuentran lejos de muchas compañías de tipo medio.

- Otra característica se refiere a la incertidumbre que acompaña a las inversiones dedicadas a la exploración de los recursos minerales y a los precios que éstos alcanzarán en los mercados terminales. A tales riesgos se unen aquellos derivados del aprovechamiento de los recursos de la naturaleza: variabilidad de las leyes y de los comportamientos ante los procesos fisicoquímicos a los que serán sometidos, las legislaciones cambiantes, la situación política de los países en vías de desarrollo y otros muchos más.

- Pero la minería también produce grandes éxitos económicos; ha sido pionera en muchos aspectos del control ambiental y resulta un motor para la riqueza de los pueblos, y, sobre todo, en aquellos lugares donde apenas existen otras alternativas de desarrollo.

  En los últimos años, y gracias a los modernos sistemas de exploración mineral, se han descubierto nuevos recursos que han supuesto un beneficio económico para todos los participantes del proceso, incluidas las poblaciones autóctonas.



Transporte de mineral de fosfatos en Marruecos.



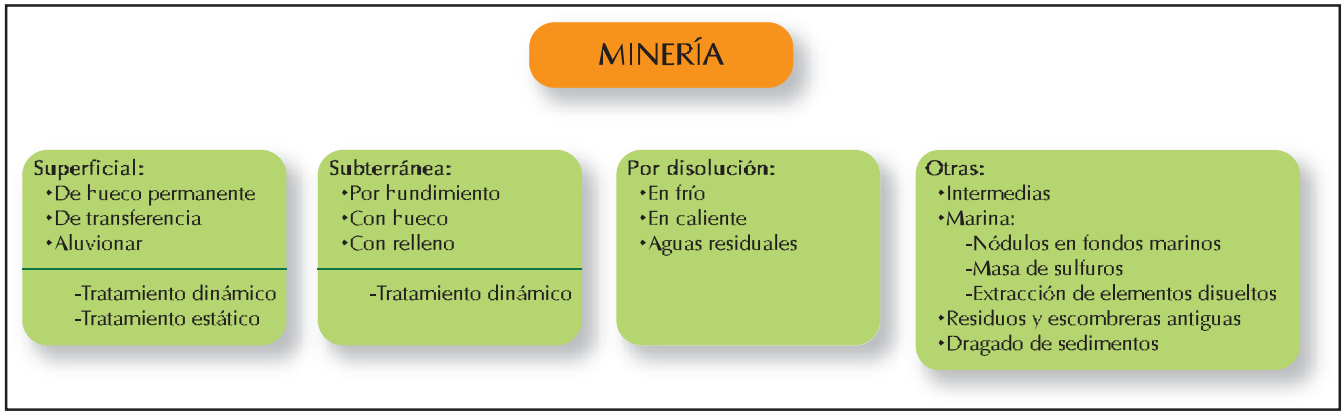
Explotación de pizarra en el límite del Parque Natural de la Baña, León.



Restauración cuidadosa de las explotaciones de sulfato sódico (glauberita) de Santa Marta, Burgos.

1.3. CLASIFICACIÓN DE LA MINERÍA

Se podrían elaborar extensísimas clasificaciones de las actividades mineras, ya que todas las explotaciones poseen características muy propias. No obstante, y tomando imágenes muy comunes, se propone la siguiente:



1.3.1 Minería de superficie o "a cielo abierto"

La minería de superficie comprende todas las operaciones mineras que se desarrollan en la superficie terrestre, a excepción de las aguas interiores y marinas.

Características comunes. El coste unitario de movimiento de rocas es muy bajo, desarrollándose en las grandes explotaciones unas concepciones de maquinaria que tienden al gigantismo a fin de rebajar aún más esos costes. Así, hoy se dispone de camiones mineros de 400 t de carga útil (por comparación, el peso de casi 300 automóviles de tipo normal). Los consumos totales de energía son enormes. Se dirigen sobre todo hacia yacimientos de baja ley y de grandes dimensiones.

Condiciones ambientales. Los impactos visuales, de ruido y polvo pueden ser elevados y por ello se estudian convenientemente las operaciones.



Camión minero capaz de transportar una carga de 400 toneladas.



Explotación a cielo abierto en la Mina de Reocín, Cantabria.



Extraordinario movimiento de mineral de oro muy pobre (300.000 t/año) en Yanacocha (Perú).

1.3.2. Minería subterránea

La minería subterránea es aquella que desarrolla su actividad en el interior de la tierra, desde unos pocos metros hasta los 4.000 m de profundidad de algunas minas sudafricanas.

Características comunes. La minería subterránea nace de la necesidad de seguir la producción sobre aquellos recursos que se han agotado en la superficie.



Equipo de perforación -jumbo- en una mina subterránea.

Debido a las altas leyes de los minerales extraídos de esta manera, el necesario tratamiento del mineral para concentrarlo ha de ser de tipo dinámico, es decir, moliéndolo finamente.



La minería subterránea resulta muy variada, adaptándose a las circunstancias del yacimiento y realizando, a veces, una verdadera arquitectura interior.

Condiciones ambientales. La minería subterránea es más selectiva y extrae menos roca inservible y, por ello, gasta menos energía. Además, el impacto visual, cuando las operaciones se realizan con cuidado, resulta mucho menor que en la minería de superficie.

1.3.3. Minería por disolución

Este tipo de minería consiste en el procedimiento de inyección desde la superficie de un agente disolvente en líquido o en vapor que, al acceder al mineral buscado lo disuelve y lo transporta a la superficie donde se separa de su disolvente y se reintegra nuevamente en el proceso.

Características comunes. Se comprende que su aplicación sea posible en minerales fácilmente solubles en agua líquida y en frío (sal gema de diapiro, en Polanco - Santander y sales potásicas) en agua líquida y en caliente (sulfato sódico, en la Comunidad de Madrid y en Burgos), en agua acidulada natural o artificialmente (minerales de uranio, de cobre sulfurado y oxidado) y en vapor de agua recalentado (azufre, en México).



Minería por disolución de sulfato sódico. Mina Santa Marta de Belorado, Burgos.

Las condiciones de explotación exigen que, además de que su objeto sea un mineral susceptible de ser disuelto, el líquido disolvente debe llegar fácilmente a su objetivo, y, también, que la disolución quede convenientemente confinada en un nivel subterráneo a fin de que pueda ser extraída totalmente.

Las aguas residuales de mina siempre han existido, y en algunas épocas han sido aprovechadas, tal como en un principio hizo la minería romana sobre las aguas ácidas procedentes de la oxidación de los potentes sulfuros del suroeste de la Península Ibérica.

Condiciones ambientales. No cabe duda que la minería por disolución presenta unas características que favorecen el descenso de su impacto ambiental: escasa alteración paisajística, disminución del consumo eléctrico, descenso del riesgo de la explotación, etc. Sin embargo, la disolución en caliente precisa un enorme consumo de energía, pero que, aplicando medidas de eficiencia energética adecuadas (como la cogeneración, biomasa, etc.), supondrá una importante reducción en la emisión de gases de "efecto invernadero".

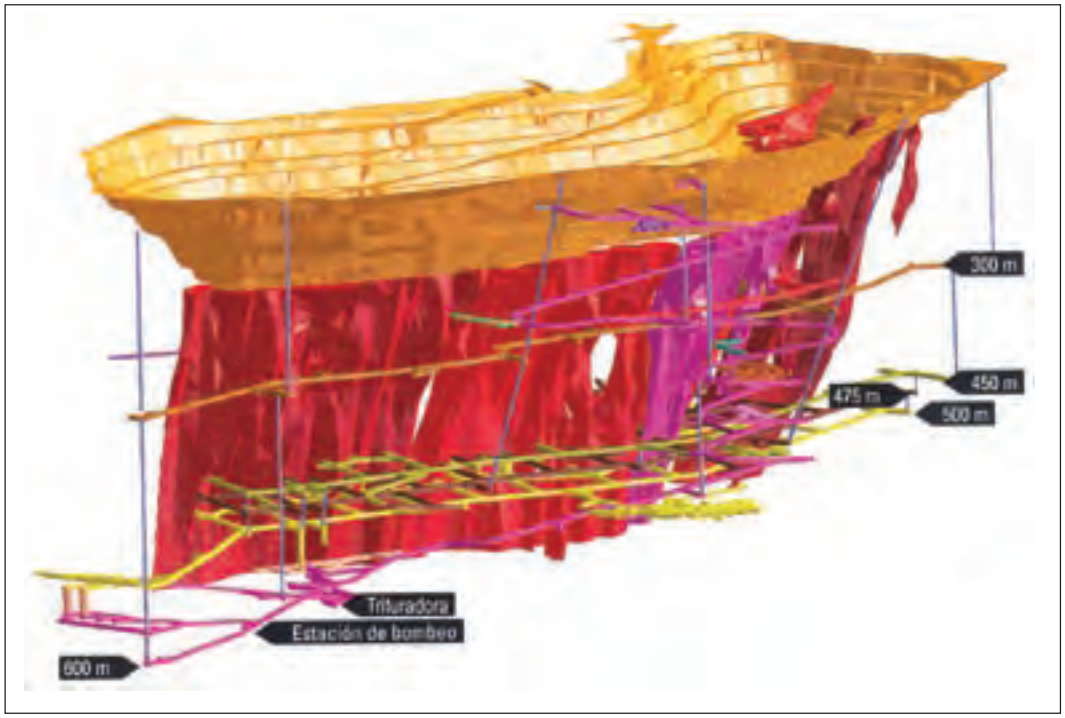


Aprovechamiento de las aguas ácidas residuales (de color oscuro) en la mina de Andacollo, Chile.

1.3.4. Otras minerías

Existen situaciones intermedias (minería subterránea y superficial al mismo tiempo) o un paso de una a otra (Palabora, en Sudáfrica, por ejemplo), la explotación de residuos antiguos, aprovechados con nuevas tecnologías, el dragado de sedimentos fluviales (una parte significativa de la producción de oro), de sedimentos marinos (la mayor parte de la producción mundial del estaño, oro y diamantes, éstos últimos en Namibia) y por fin, la minería marina, referida sobre todo al enorme potencial de cobalto, manganeso y cobre contenidos en los nódulos abisales (profundidades superiores a 3.000 m).

Además, también se incluyen las masas de sulfuros muy ricas en cobre, cinc y plomo, conteniendo apreciables cantidades de oro, que se sitúan de manera cercana a los centros de emisión profunda en algunos puntos de la corteza oceánica. En todos ellos, su aprovechamiento estará ligado a las condiciones de la tecnología disponible y a los acuerdos sobre el aprovechamiento de los recursos naturales en las aguas internacionales.



Modelización hecha con ordenador en 3D del yacimiento de cromita de Kemi en el norte de Finlandia. En la parte alta se ve la mina a cielo abierto -corta- y en la parte inferior las galerías de la mina subterránea.

2. EL RECORRIDO DE LA MINERÍA

2.1. UN POCO DE HISTORIA: ORIGEN Y DESARROLLO DE LA MINERÍA EN EL MUNDO

La minería más rudimentaria, que empezó a tomar forma en la Edad de Piedra, nació de la necesidad de crear instrumentos cortantes y duraderos para la caza, el tratamiento de las pieles animales, etc. La calidad del material condicionaba los resultados obtenidos, lo que obligaba a una cuidadosa selección de los mismos. Este proceso de búsqueda de productos naturales, que se adaptan con calidad a las necesidades de la sociedad, ha sido el comportamiento universal de la minería de todos los tiempos.

• Los utensilios de piedra y su evolución tecnológica

Las evidencias más antiguas de la utilización por los homínidos de utensilios de piedra proceden de la cuenca del río Omo, al sur de Etiopía (2,4 millones de años), y de la Garganta de Olduvai, en Tanzania (2 millones de años). Estos útiles "chopper", extremadamente primitivos, están formados por núcleos de basalto, cuarzo cristalino, o bien, de sílice amorfa "chert" a los que mediante percusión se les han extraído lascas a fin de producir cierto filo. La selección de estos materiales indica que los homínidos "Homo Habilis" apreciaban las características de ciertas rocas y minerales.

Hace 1,5 millones de años en el Centro y Este de África apareció la industria lítica denominada Achelense, atribuida a la especie "Homo Erectus". Esta cultura industrial logró conformar los utensilios de piedra con una forma preestablecida, buscando la simetría de las herramientas así como el labrado en ambas caras de la piedra (bifacial).

El periodo Musteriense abarca desde los 200.000 hasta los 40.000 años de antigüedad y se desarrolla en Europa, Oriente Próximo y África. Los útiles adquieren diseños más refinados, buscando la esbeltez de las piezas, el corte más agudo, así como una mayor productividad en su confección. Por ello, la calidad de los materiales se convierte en imprescindible y su selección se realiza con mucho rigor.

Hace aproximadamente 12.000 años, finaliza la época de la Piedra Tallada y simultáneamente en Asia y África (Paleolítico Superior), comienzan a proliferar formas que distinguen estéticamente unas culturas regionales de otras a causa, probablemente, de los materiales disponibles y de los diferentes usos.

El perfeccionamiento final de la piedra llegó con su pulimento. La herramienta, que primeramente era fabricada según los cánones de la piedra tallada, buscando

Se denomina "chopper" a un instrumento toscamente labrado que busca la aparición de bordes cortantes y sin una idea preconcebida. El material suele ser muy variado, buscando la tenacidad de la roca y la posibilidad de crear aristas muy agudas. En este caso, se creó sobre un canto de cuarcita.



Núcleo de sílex o pedernal

Este material natural ha sido ampliamente utilizado durante todo el Paleolítico. Sus propiedades singulares lo hacían enormemente atractivo para el hombre paleolítico: su fractura resulta predecible cuando se le golpea con cierta habilidad y los bordes así labrados son muy cortantes.



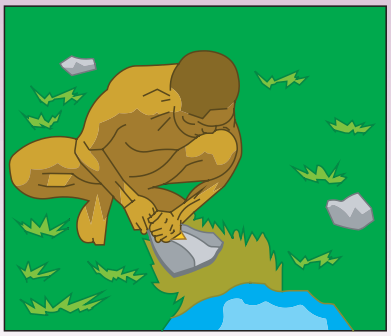


Instrumentos realizados en sílex de no muy buena calidad (grano algo grueso, numerosas inclusiones y algunas oquedades). Paleolítico Medio. Madrid, terrazas del río Manzanares. Colección de Alberto Navarro.



Hojas de sílex con cantos muy afilados a pesar del tiempo transcurrido. El sílex, aunque escaso, se utilizó en enormes cantidades. De esta forma, el rendimiento en la talla de los instrumentos, con elevado aprovechamiento del material de partida, constituyó un objetivo de la tecnología de la época, utilizando las hojas desprendidas de la talla de los útiles de mayor tamaño. El sílex de buena calidad llegó a ser muy apreciado, buscándose incluso mediante pocillos y galerías. Terrazas del Manzanares. Colección de Alberto Navarro.

la forma de lágrima, posteriormente sobre una base, también de piedra, era desgastada con arena fina de cuarzo. Con ello, surgían esbeltas formas con tal atractivo que, a veces, constituían objetos rituales, como los que en la actualidad se han encontrado en las poblaciones indígenas de Papúa, donde se siguen fabricando con la técnica milenaria.



El proceso de la piedra pulida empieza por la extracción de una pieza de roca de la calidad y el tamaño adecuados. Este ejemplo es actual y los aborígenes de Papúa seleccionan con cuidado el material más conveniente para el pulido. En muchas ocasiones, las piezas finales resultan símbolos de representación social, debido al tamaño y esmero con que están realizadas. Una vez elegida la pieza, se recorta y talla toscamente como proceso de preparación para el pulido final, en este caso frotando con arena y agua contra otra piedra también abrasiva.

Un aspecto fundamental de la elaboración de estos útiles era el material de partida, que debía ser tenaz y, al mismo tiempo, contar con una dureza inferior a la de la arena de cuarzo, que lo debía desgastar. Por ello, la materia prima más utilizada en todo el mundo fueron las rocas ígneas básicas (serpentinitas, gabros, basaltos y otras).



El pulimento de la piedra supone un extraordinario cuidado en su elaboración, incluyendo una acertada elección de las rocas trabajadas. Así, las rocas ígneas básicas (verdes, densas, tenaces y que admiten bien el pulimento) han sido las más utilizadas, pero otras rocas y minerales (sobre todo la sillimanita) también se han utilizado frecuentemente. Museo de Felipe Borbón y Grecia (MFBG).



En el Neolítico, además de la aparición de la agricultura, la cerámica, el comienzo de la estratificación de la sociedad y otros cambios muy drásticos en la civilización humana, también se cuidó con esmero la fabricación y apariencia de los útiles de la vida cotidiana. Para fabricar instrumentos de piedra pulimentada, se requieren materiales adecuados, además de un abrasivo (arena de cuarzo) y mucha paciencia. La sillimanita, las rocas ígneas máficas (con tamaño de grano generalmente fino y minerales no muy duros en su composición) fueron los más usados en ese periodo. Este ejemplar procede de Timimoun, en el Sahara argelino.

- **La Edad de Piedra: búsqueda de materiales de calidad y primeros balbuceos de la minería**

Cuando los homínidos comenzaron a fabricar herramientas a partir de las rocas y guijarros, enseguida se dieron cuenta de que aquellos materiales que mejores propiedades poseían no siempre se encontraban cerca de su hábitat habitual y que, además, su abundancia era limitada.

A medida que la tecnología de fabricación evolucionaba, las propiedades demandadas a las materias primas minerales fueron cada vez más exigentes. La calidad debía ser un factor determinante en la localización de talleres de confección de instrumentos que, posteriormente, viajaban hacia lugares apartados.

En el tránsito entre el Paleolítico (Edad de la Piedra Tallada) al Neolítico (Edad de la Piedra Pulimentada), en Europa aparecieron multitud de manifestaciones de minería subterránea en Francia, Alemania, Suiza, Bélgica, Holanda, Dinamarca, Polonia y España. Los pozos se abrían utilizando las herramientas construidas con el mismo sílex y, de manera muy ardua, excavaban la caliza golpeándola con pesadas mazas unidas a astas de ciervo.

El sílex superficial se agotó por el extraordinario consumo y hubo que buscarlo sobre el nivel geológico portador. En Francia, Países Bajos, Alemania y Europa central, existieron manifestaciones de esta minería subterránea.



Los bloques de pedernal de buena calidad acabaron siendo escasos, debido a la gran utilización del sílex durante miles de años.



La sillimanita (también denominada "fibrolita" por su apariencia semejante a un conjunto de fibras), fue elegida por los constructores de instrumentos de piedra pulimentada. Para conseguirla debía buscarse en lugares muy precisos y generalmente escasos. Además, se han descubierto instrumentos fabricados a mucha distancia del lugar de su hallazgo, lo que supone un comercio incipiente.

• Los metales básicos y sus características

Todos los arqueólogos e investigadores coinciden en que el cobre fue el primer metal trabajado por el hombre debido, sin duda, a la enorme facilidad que presenta para ello.

Las primeras evidencias de su uso se encuentran en Irán y en Anatolia (Turquía), hacia el VIII y VII milenio a.C.

Otros metales que aparecen en la etapa pre-metalúrgica de la Humanidad han sido el oro y la plata, siempre nativos; es decir, el metal sin combinar con otros elementos. Aparte de ellos, existen vestigios de que el hierro meteórico (procedente del espacio) también fue utilizado.

Se ha denominado periodo Calcolítico al del tránsito entre la Edad de Piedra y la de los Metales. En esta época, la invención del horno metalúrgico fue la innovación más importante. Con el soplado por medio de la boca (largas varas huecas que se introducían en el fuego) o mejor, con primitivos fuelles realizados con pieles de animales, el metalúrgico del momento podía alcanzar los 1.100 ºC.

En Europa, el periodo Calcolítico aparece ya en el siglo VI a.C. en la región de los Balcanes. La Península Ibérica entra en el Calcolítico hacia el III milenio a.C. y se desarrolla asociado a la cultura de Los Millares (Almería). Se diferencia de las culturas europeas antes mencionadas por su carácter muy local, en un modelo en que casi todas las poblaciones poseían su propia metalurgia.

El uso de las aleaciones entre metales surge de manera espontánea. Los primeros metalúrgicos observaron que de ciertos minerales que contenían cobre se obtenía un metal mucho más duro. Eran los bronces arsenicales, ya que el arsénico le presta dureza con su presencia. El excesivo arsénico ponía en peligro la salud de los metalúrgicos y cuando se produjo de manera fortuita la aleación cobre y estaño, a principios del III milenio a.C., estos dos metales conformaron una época de metal más duro y más resistente a la corrosión, la Edad del Bronce.

Este instrumento minero de asta de venado se utilizó enmangado. Probablemente, se usaba para introducirlo entre la roca fracturada, o bien, en terrenos no consolidados. En la punta mellada, se conservan restos de mineral de cobre. Mina "El Milagro" Valdelamesa, Asturias (MFBG).





Este martillo de mina ha sido extremadamente cuidado en su realización, y su edad se podría situar entre el Neolítico y la Edad de Bronce temprana. Fuenteovejuna, Córdoba. (MFBG).

La tecnología de la fabricación de pesados martillos mineros con una muesca en su perímetro, aunque de apariencia bastante simple, exigía una buena elección de los materiales y una manipulación exigente. En los ejemplares más grandes, probablemente exigía estar colgado de una cuerda y ejecutar un movimiento pendular contra la roca a destrozar.

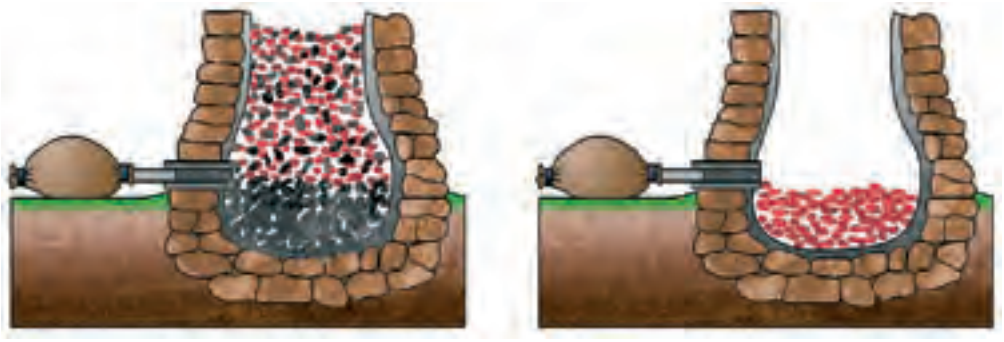




Hacha plana de bronce de forma simple. Su concepción es muy parecida a la de instrumentos muy actuales. Mina "El Milagro" Valdelamesa, Asturias, Museo de Felipe Borbón y Grecia (MFBG).



Hacha de bronce. Esta aleación de cobre y estaño (a veces, cobre con arsénico) supuso un paso adelante, pues la unión de estos metales endurecía enormemente el cobre y aumentaba la resistencia a la oxidación. Este tipo de instrumento se denomina "Hacha de talón con anillas." Estas últimas se utilizaban para asegurar la hoja al mango. Se encontró en Pola de Laviana, Asturias, y pertenece a la Edad de Bronce Final. (MFBG).



En la metalurgia más primitiva, un horno de fundición tan sólo era un hoyo en la tierra donde se introducían varas para el soplado del combustible y el aumento consiguiente de la temperatura. Éste, así esquematizado, al menos posee una protección lateral y un fuelle de pieles. La carga de mineral, siempre de metal oxidado o carbonatado, se mezclaba con carbón vegetal.

• **La extracción secuencial de los metales: la minería nace definitivamente**

Aunque hoy en día se tiene la seguridad de que ciertas técnicas metalúrgicas del cobre se conocieron ya en los milenios VII y VIII a.C., los primeros vestigios existentes de una minería reconocible, proceden del IV milenio a.C. Las labores consistían en trincheras o zanjas y el arranque se realizaba con mazas de piedra sobre la roca, que previamente se había calentado con hogueras y apagado con agua a fin de provocar su agrietamiento.



Este cráneo humano, perteneciente a un minero joven de la Edad del Bronce, fue encontrado en la mina de cobre asturiana de "El Milagro" en Valdelamesa, Asturias. En las explotaciones antiguas, se aprecian señales del empleo del fuego para calentar y resquebrajar la roca. (MFBG).

El horno de fundición era tan importante como la mina. Los primitivos artilugios de piedra, donde el mineral y el carbón vegetal llenaban un hueco realizado en la tierra y protegido con paredes de piedra resistente, dieron paso a los verdaderos hornos del siglo XIV a.C. de Timma, en los que una tobera desembocaba a la media altura de una pequeña cuba tapizada de piedra y arcilla. Por la tobera, se insuflaba aire procedente de unos fuelles de piel y en el fondo del horno, existía una cubeta para recoger el metal fundido. La asociación del estaño con el cobre rebajaba el punto de fusión del nuevo metal (bronce), aumentando la fluidez del producto y, al solidificarse, la aleación resultante (bronce) resultaba mucho más dura que el cobre puro. Estas aleaciones se solían obtener en otros hornos especiales, en donde los metales se refundían dentro de un crisol de arcilla.

Sin lugar a dudas, la aparición de la Civilización Romana marca un hito en la minería de todo el mundo y todavía hoy nos asombramos de lo que tal civilización llegó a realizar para obtener el dominio de un gran imperio, basado en gran medida en su poderío tecnológico y su gran organización industrial.



La minería romana, aunque empleaba masivamente la mano de obra humana, también introduce los más recientes inventos aplicados a la industria de la superficie. La minería romana utiliza casi exclusivamente las herramientas de hierro, como este pico de la mina de plata de La Lapilla, en la provincia de Huelva.

La minería romana se enfrentó con gran audacia a los retos de explotar a una profundidad mucho mayor que la de sus antecesores. Basta con citar algunos ejemplos: en el Neolítico, se habían alcanzado profundidades de hasta 15 m en las minas de sílex de Spiennes, en Bélgica; en Timma, Israel, se profundizaron pozos de 30 m para extraer el mineral de cobre; pero en Cartagena, algunos pozos superaban los 100 m de profundidad en la época romana. Naturalmente, con la profundidad crecía el problema de las invasiones de surgimientos de agua, que impedían en muchos casos seguir profundizando las labores. Por ello, los ingenieros romanos mejoraron ideas y modelos heredados de Grecia, como las norias y los tornillos de Arquímedes que, en saltos de 4 m y en cascada, extraían el agua de las profundidades.

Los mineros romanos emplearon siempre útiles de hierro tales como picos, azadas, cuñas, punteros y mazas. También realizaban obras de sostenimiento de los huecos de explotación con madera y muros de piedra y, a veces, cuando el mineral lo justificaba, realizaban obras de mampostería.

• **La Edad del Hierro**



Sin duda, el hierro procedente del espacio (meteoritos metálicos) fue la primera manifestación del uso de este metal en la fabricación de instrumentos, como éste, procedente de las culturas andinas y utilizado, una vez atado a una larga correa, como arma de combate.

La Edad del Hierro comienza a finales del II Milenio. Se cree que se empleó por primera vez en la India, Mesopotamia y Asia Menor y que se utilizó en el valle del Indo para hacer herramientas. Las colonizaciones griega y fenicia contribuyeron a que este metal se extendiera por la Península Ibérica y el Norte de África, alcanzando su máximo desarrollo en el mundo céltico.

La Edad del Hierro llega a nuestros días y la Revolución Industrial del siglo XIX se fundamentó en la producción de aceros, a partir de este metal.

La Gran Revolución Industrial se apoyó en gran medida en los metales ya conocidos, pero su consumo, sobre todo de los aceros, se disparó a niveles insospechados, al formar parte de los elementos de construcción y de los ingenios de una tecnología que, rápidamente, se desarrollaba al amparo de una demanda sostenida.

2.2. LA MINERÍA MODERNA

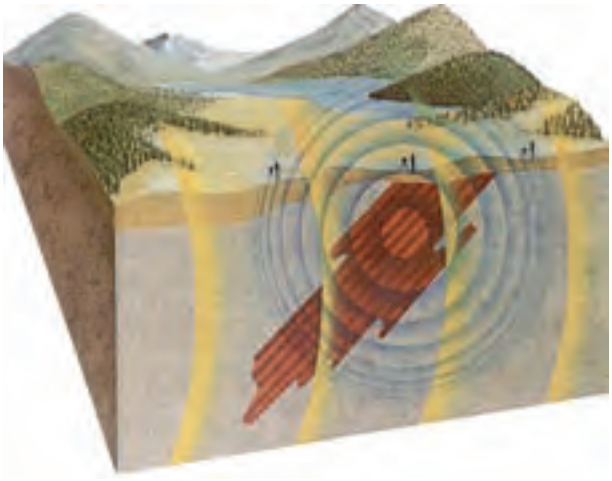
Una mina consiste en un conjunto de construcciones civiles, maquinaria, obras de preparación realizadas en la misma roca e infraestructuras necesarias para la extracción, procesamiento y deposición de los residuos generados en las mejores condiciones ambientales posibles. Externamente, apenas se puede apreciar el esfuerzo tecnológico, económico y humano que ello supone.

2.2.1. El ciclo de vida de una mina actual

Desde que, hace 2.000 años, Roma, por ejemplo, empleaba miles de personas en una mina como las Médulas en León, para producir en algo más de un siglo 300 t de oro, hoy, una sola mina, Yanacocha en Perú, sin llegar a mil personas, lo produce en menos de tres años. El esfuerzo actual de las explotaciones mineras está encaminado a producir miles de toneladas diarias de mineral con mano de obra escasa. Las matemáticas, física, química y metalurgia combinadas con las ciencias de ingeniería y la informática han propiciado estos resultados. Su ciclo es el siguiente:

- **La exploración y la planificación.** La exploración o investigación minera es el primer paso de la minería y constituye una especie de combustible o energía para que la industria minera funcione. Los recursos minerales no son recursos renovables y hay que sustituirlos cuando se agotan. Las tecnologías modernas de exploración se basan en aparatos sensibles que descubren variaciones en las características físicas y químicas de la corteza terrestre, ligadas a la existencia de los yacimientos minerales.

  Así, los minerales metálicos son investigados utilizando sus propiedades físicas y fisicoquímicas: por su alta densidad, se diferencian de los de su entorno ("Métodos Gravimétricos"); por sus propiedades electromagnéticas y conductoras de la electricidad, ("Métodos Electromagnéticos", "Aeromagnéticos" y otros); por la movilidad de los metales que los componen en la parte superficial de la corteza terrestre ("Métodos Geoquímicos"); las imágenes aéreas y de satélite, y otros muchos más. Hoy, todos ellos suponen sofisticados sistemas y el procesamiento de ingentes cantidades de datos. Todo ello dentro de un, cada vez más profundo, conocimiento de la geología y de los modelos de formación de los yacimientos minerales.



Los métodos de exploración geofísica utilizan directa o indirectamente las propiedades petro-físicas de los minerales. Un ejemplo: una zona mineralizada de la corteza terrestre puede emitir ondas electromagnéticas secundarias (color azul) cuando un campo principal (color amarillo) incide sobre una concentración de minerales metálicos de cierta envergadura.

Una vez detectadas esas anomalías geofísicas, se procede normalmente a la realización de perforaciones -sondeos- para recuperar muestras de mineral y estudiar así sus contenidos en metal o sustancia aprovechable, sus propiedades, etc.



Trabajos de investigación mediante sondeos.



Avión preparado para la exploración aeromagnética.

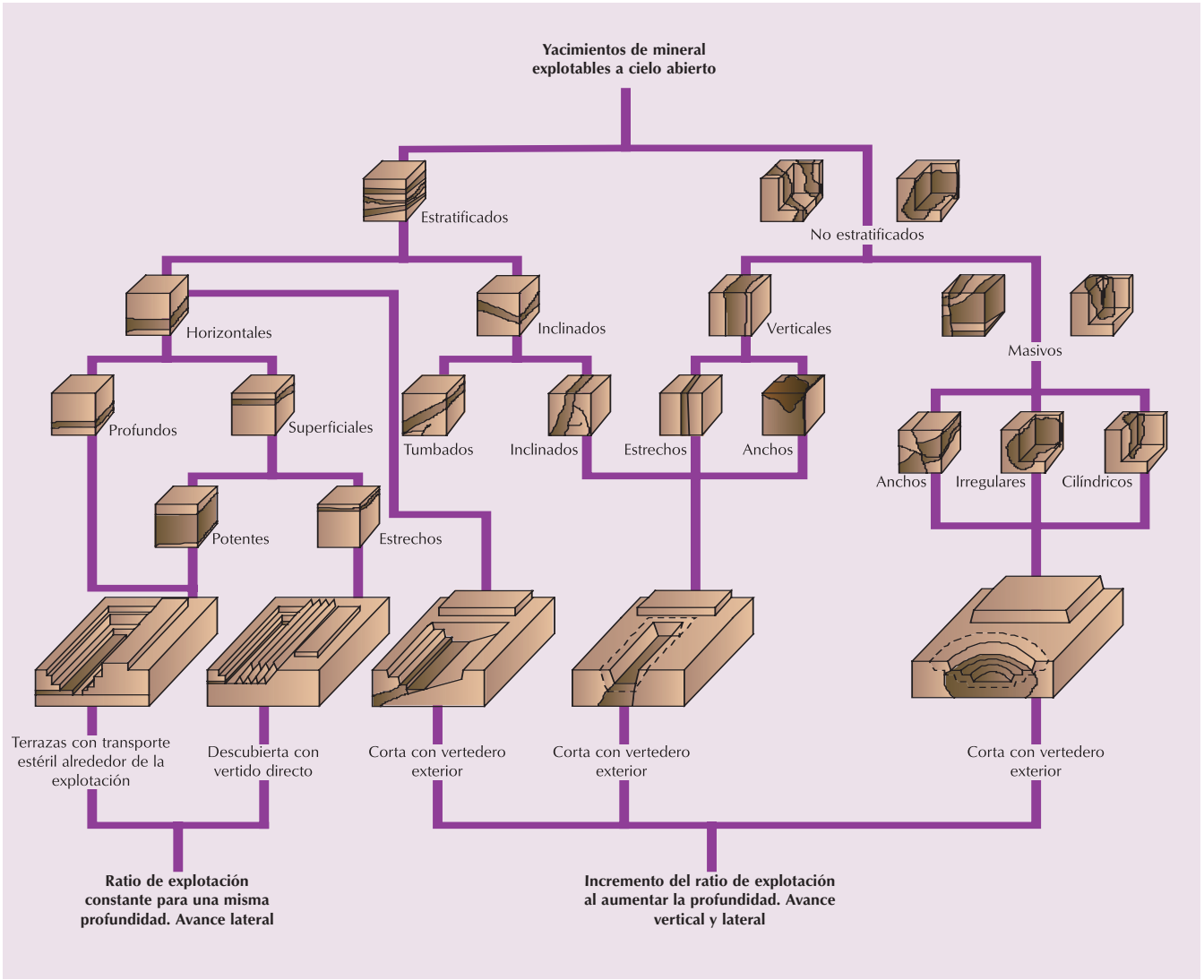
La siguiente etapa la constituye la valoración o medida de los recursos minerales descubiertos, que derivarán hacia la planificación de una nueva explotación, si los resultados obtenidos dieran lugar a la decisión de invertir en un nuevo proyecto de explotación.

- **La Explotación y Procesamiento de los minerales.** La naturaleza y posición del depósito mineral determina el sistema general de extracción. Cuando el cuerpo del mineral se encuentra cubierto por una cantidad limitada de roca no aprovechable, y habiendo demostrado su viabilidad económica, se puede proceder a su explotación, realizando una excavación superficial servida por palas cargadoras y camiones de gran tonelaje si las posibilidades económicas del mineral así lo justifican. En caso contrario, se procede al diseño de una explotación de interior o subterránea.



Testigos obtenidos en un sondeo al investigar un yacimiento.

TIPOS DE YACIMIENTOS Y MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN APLICADOS



Ratio de explotación: volumen de estéril a mover por cada tonelada de mineral.

El ciclo general de la explotación comprende, en general, tres etapas:

EN MINA "A CIELO ABIERTO" O EN SUPERFICIE

• Extracción

El arranque

Cuando el mineral y la roca acompañante se encuentran sin consolidar, puede procederse a su arranque y carga directa con palas cargadoras, normalmente sobre neumáticos y, mejor aún, con excavadoras. Otras veces, puede compensar el uso de un *bulldozer* que lo afloja con un escarificador o *ripper* y lo desplaza con la hoja frontal. De esta manera, pueden extraerse las capas horizontales de los carbones, los aluviones y arenas que contienen metales pesados (oro, estaño y titanio), algunos minerales industriales (arcillas especiales, caolines, talco, diatomitas, yesos, etc.), áridos y arenas, arcillas rojas, etc.



Tractor de orugas o *bulldozer*, con sus dos herramientas de trabajo: escarificador o *ripper* en la parte porterior y la hoja de empuje en la parte delantera.





Pala cargadora con una cuchara capaz de levantar 35 t.

Un caso especial lo constituyen los gigantescos depósitos de carbones, fosfatos y otros minerales, que por su elevada magnitud admiten la compra e instalación de maquinaria muy pesada como las "rotopalas" y "dragalinas", que de manera casi continua arrancan el mineral y lo cargan en una cinta transportadora (las primeras), o por medio de una cuchara muy voluminosa y pesada, y un brazo muy largo arrancan, cargan y transportan cantidades importantes de mineral y roca (las segundas).



Dragalina trabajando en la extracción de fosfatos en Marruecos. El gigantismo de la maquinaria ha sido una opción para la reducción de los costes de explotación. Esta máquina es capaz de llenar su cazo con 40 m^3 de mineral.

Sin embargo, los minerales y las rocas que las contienen resultan frecuentemente demasiado cohesivos para la extracción directa por lo que debe recurrirse a la perforación de barrenos y a la voladura con explosivo. En la actualidad, las perforadoras realizan barrenos de elevado diámetro y se posicionan con GPS, según un plan cuidadosamente determinado, procurando la fragmentación de la roca al grado deseado y la eficacia del explosivo utilizado.

El avance producido en la explotación de piedras naturales se ha dirigido al empleo del hilo diamantado (cable de acero con elementos cortantes con polvo de diamante) y de maquinaria auxiliar de gran tamaño para la manipulación de los bloques de roca.



Cantera de roca ornamental, en Cehegín, Murcia. Se aprecia el corte y la carga de los bloques de mármol, con destino al taller de serrado y pulido.

La carga

El material (mineral o estéril, volado o desprendido mediante el *bulldozer*) se carga en los camiones mediante las máquinas, cuyo tamaño debe ser el adecuado para la capacidad de éstos.



Empleo directo de arranque y carga con una retroexcavadora.

Las máquinas de carga pueden ser: palas de ruedas (accionadas por un motor diesel y de alta movilidad), excavadoras de cable (eléctricas, muy robustas y de lenta movilidad) o excavadoras hidráulicas (accionadas por motores diesel y también bastante robustas). Todos los tipos son adecuados para los grupos de minerales ya descritos, aunque en las grandes minas metálicas y de carbón se usan habitualmente las excavadoras citadas.



Volquete minero y excavadora hidráulica de gran capacidad.

Asimismo, en las canteras de piedra natural, para la carga se usan palas de ruedas, con cazo convencional para manipular trozos de roca inservibles y de pequeño tamaño, u horquillas para la elevación, desplazamiento y colocación de los grandes bloques sobre los camiones.

El transporte

El acarreo del mineral volado hasta la planta de tratamiento o hasta la escombrera, si se trata de roca sin interés, se realiza mediante camiones "fuera de carretera o volquetes", también llamados *dumper*. En la gran minería metálica y en las explotaciones superficiales de carbón, el tamaño de las unidades ha comenzado a crecer (hasta las 400 t de carga útil).



Transporte de roca estéril de una mina de carbón a cielo abierto. Mina Emma de Puertollano, Ciudad Real.

En explotaciones de minerales industriales y en las de minerales metálicos de tamaño medio, las unidades suelen ser de tamaño relativamente moderado (45-150 t). Un caso especial son las explotaciones de gravas y arenas, donde para el transporte a obra se deben utilizar camiones de carretera (25 t). Esta operación es la más costosa de las tres que constituyen el ciclo de la explotación minera y, por ello, debe ser cuidadosamente planeada reduciendo los tiempos muertos de estas máquinas.

Hoy, en las minas más importantes, el control de movimiento de los camiones se realiza bajo el apoyo de los sistemas de *dispatch*, que localizan cualquier unidad en la mina, registran la cantidad de material que transportan y dirigen el destino y recorrido de todas las unidades en operación.

En algunas minas de gran producción, con sistemas continuos de arranque como por ejemplo rotopalas, se usan cintas transportadoras para el transporte.

EN MINERÍA SUBTERRÁNEA

Cuando el desmonte inicial de roca situada encima del mineral resulta costoso, se impone la explotación subterránea. En este tipo de minería, se conjugan habilidades, conocimientos y equipos especializados mayores que en otras actividades industriales. El proceso de cálculo y planificación resulta muy delicado y, en él, se solapan los conocimientos, tanto del mineral, con su ley o riqueza, como su geometría, que determinará la forma de realizar la explotación. Ella dependerá de las propiedades de la roca que rodea al yacimiento: resistencia de las rocas que rodean al mineral una vez abierto el hueco.

En la mina subterránea, casi siempre es necesario realizar la perforación, la voladura mediante explosivo, la carga y el acarreo hasta superficie. No se arranca tanto material o roca inservible como en una explotación de superficie, pero el coste unitario de una tonelada arrancada resulta bastante mayor que el de la tonelada extraída a cielo abierto. Ello exige que el yacimiento explotado por minería subterránea posea una riqueza (ley) mayor que la de los depósitos minerales explotados a cielo abierto. Al mismo tiempo, el daño paisajístico causado por este tipo de explotaciones es prácticamente insignificante.

- **Extracción**

El arranque

El uso de los explosivos en la minería subterránea resulta universal, tanto en el avance por galerías como en el arranque en los frentes de producción. La perforación, hoy, se realiza mediante los martillos perforadores que van montados en brazos (hasta cuatro) en una misma máquina ("jumbo") que transporta los motores y la central hidráulica. De esta manera, se optimiza el avance de las perforaciones y se disminuye el consumo específico de explosivo (más del doble del que se usa en la minería de superficie por unidad de volumen).

Casi todos los grupos de minerales emplean estas tecnologías. Un caso especial pueden ser las voladuras de seguridad realizadas en capas del carbón con explosivos encartuchados especiales confinados con tacos de agua.



Equipo moderno para la instalación de bulones de sostenimiento.

El refuerzo de las rocas que configuran el espacio hueco requiere, en muchas ocasiones, la perforación de taladros y la introducción en éstos de barras de acero -bulones- que se unen a las rocas mediante cemento o resinas. A veces se introducen largos cables de acero con una lechada de cemento.

La carga

Las palas cargadoras de mina, de bajo perfil se denominan *scooptrans*, son específicas para este cometido y se mueven sobre neumáticos. Las tecnologías y maquinaria empleadas en este cometido resultan comunes a todas las agrupaciones de yacimientos y minerales a las que nos hemos referido.



Pala cargadora en una mina subterránea.

El transporte

También aquí el transporte resulta el capítulo más costoso de la operación minera. El ferrocarril interno ha ido siendo reemplazado por los accesos fáciles a las plantas de trabajo (rampas de forma helicoidal) y el empleo de camiones de perfil bajo (25-50 t de capacidad) y cintas transportadoras hasta la superficie por largos túneles o galerías llamados planos inclinados.



Ferrocarril minero.

Existen numerosas variantes de los sistemas de explotación, siempre adaptándose a las peculiaridades de los depósitos minerales. Así, para la explotación de capas horizontales de minerales blandos (carbones, sales potásicas) se pueden emplear "tajos largos" con arranque y carga en la misma máquina (cepillos, minadores continuos etc.), que aprovechan la fragilidad del mineral para arrancarlo de manera continua con ruedas giratorias armadas con picas de metal duro. También, el hueco producido por la extracción del mineral se puede dejar libre (filones de minerales metálicos), se puede rellenar (masas de diversos minerales metálicos e industriales) o simplemente provocar su hundimiento (capas continuas de carbón, minerales de cobre de baja ley), según se estime el comportamiento de la roca de caja.



Rozadora para el arranque del mineral en un tajo largo.

El procesamiento de los minerales extraídos

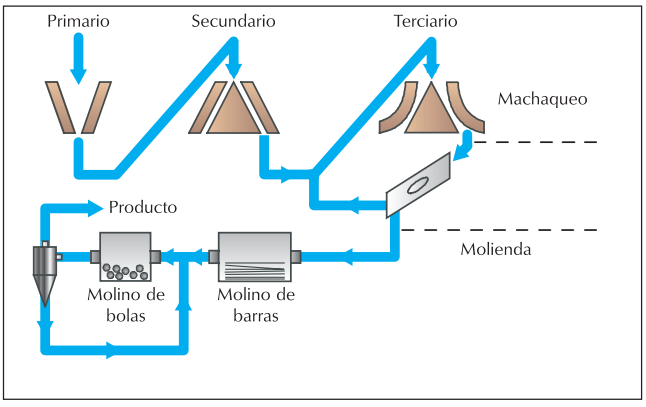
El tratamiento del mineral consiste, generalmente, en una concentración de los componentes valiosos que contiene, a fin de alcanzar una riqueza que permita venderlos para su posterior utilización o aprovechamiento. El procedimiento para conseguirlo es muy variado, pues las pérdidas del proceso pueden invalidar la explotación de la mina.

De manera muy sintética, los procesos de preparación y concentración de los minerales obedecen a estas etapas:

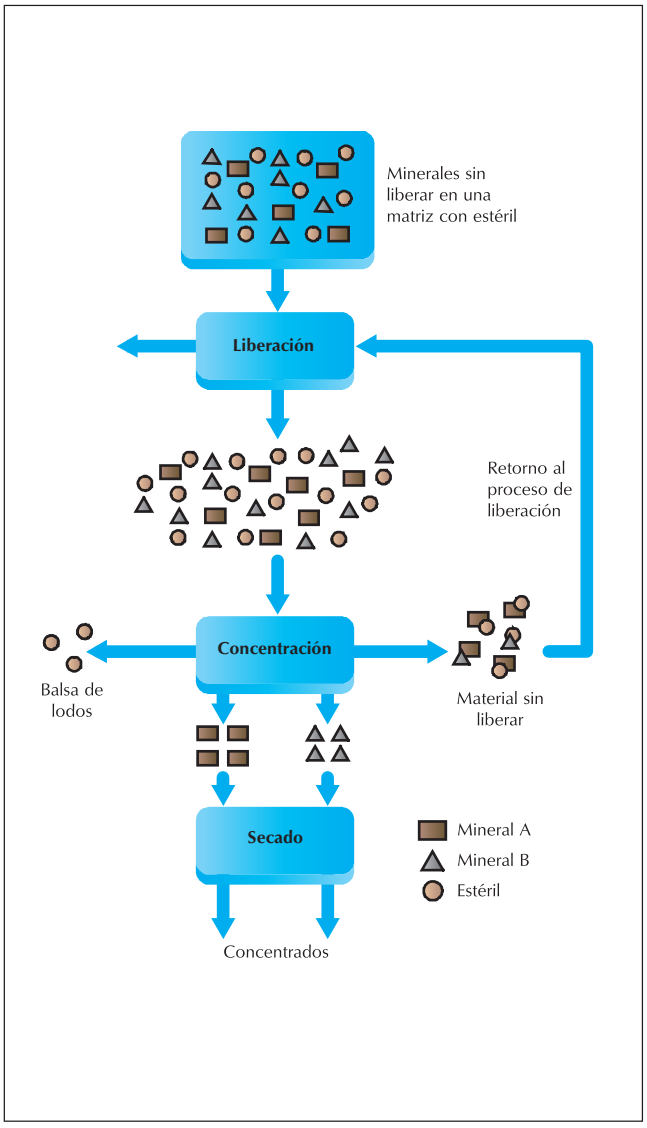
TRITURACIÓN Y LAVADO

Esta fase es común para casi todo tipo de mineral. En ella, los bloques de mineral son triturados (y en su caso, lavados para eliminar las partículas arcillosas) al tamaño conveniente. Éste se consigue con grandes máquinas de trituración (de mandíbulas o giratorias) en hasta tres etapas. Esta fase la sufren los minerales metálicos para obtener el tamaño conveniente para su introducción en los molinos. Sin embargo, el producto de dos o tres fases de trituración puede ser el producto final de los áridos de trituración y también de los carbones, mineral de hierro y ciertos minerales industriales (arcillas especiales y fosfatos).

ESQUEMA DE UN SISTEMA SIMPLE DE TRITURACIÓN Y MOLIENDA



PRINCIPALES PROCESOS QUE TIENEN LUGAR EN EL TRATAMIENTO DEL MINERAL



MOLIENDA

Para concentrar un mineral (aumentar su ley hasta un grado comercial) resulta imprescindible liberar las partículas del propio mineral de su roca acompañante. Es decir, hay que molerlo hasta obtener un tamaño adecuado de partícula. Esto se consigue mediante molinos cilíndricos con una carga de pesadas bolas de acero o trozos del propio mineral. Con ello se consiguen tamaños de partículas inferiores al milímetro, que ya son aptas para el proceso de concentración. Sin embargo, el producto de esta etapa ya es un mineral vendible cuando se trata de arenas para la construcción. Esta fase resulta con mucho la más costosa de todos los procesos, ya que el consumo de energía eléctrica es enorme.



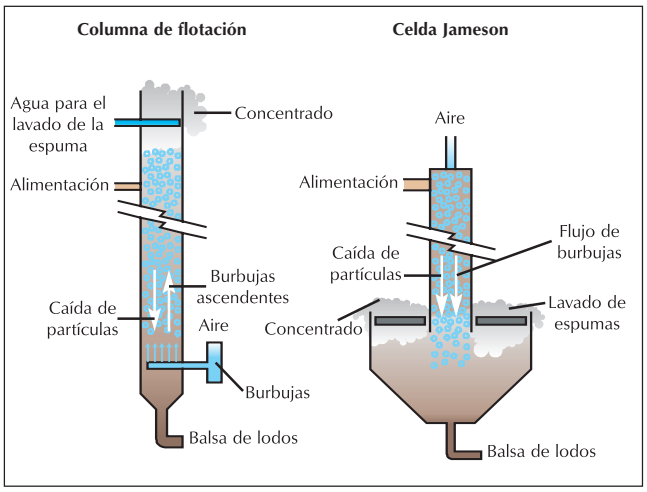
Instalación de molienda en una planta de concentración.

CONCENTRACIÓN

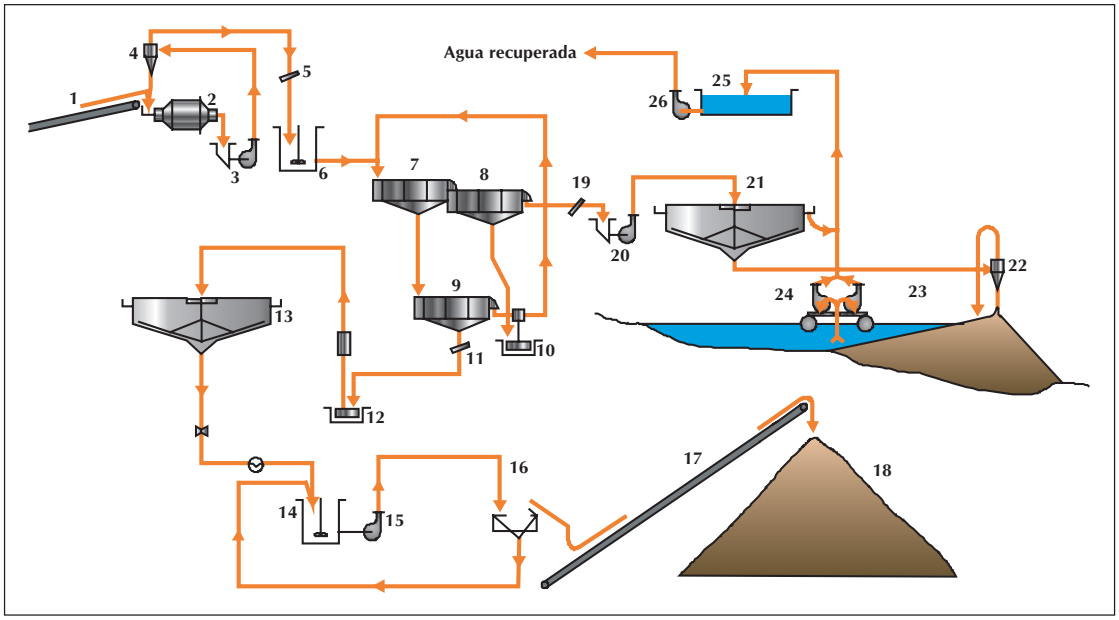
En esta etapa, se procede a la separación de las partículas de mineral de la roca o mineral acompañante, basándose en diferencias físicas (densidad, magnetismo, gravimetría, separación magnética, separación electrostática) o fisico-químicas (impermealibidad de los minerales a ciertos reactivos: flotación, aglomeración selectiva) o bien por el ataque y disolución de los metales en soluciones agresivas (cianuración y ataque ácido).

De esta manera, por gravimetría se concentran los minerales metálicos (oro, estaño, titanio, mineral de hierro), ciertos carbones y algunos minerales industriales (barita, fluorita, granates, etc.). Mediante la flotación, se concentran una enorme variedad de minerales metálicos (plata, cobre, cinc, plomo, níquel, hierro, estaño y otros) y no metálicos (fluorita, feldespatos, fosfatos, grafito, etc.). Por ataque químico, hoy se concentran el oro y la plata (con cianuro sódico), el cobre oxidado y el níquel (con ácido sulfúrico).

COLUMNA DE FLOTACIÓN Y CELDA JAMESON



ESQUEMA BÁSICO DE FLOTACIÓN POR ESPUMAS PARA UN SOLO PRODUCTO



1. Cinta de alimentación
2. Molino
3. Bomba
4. Ciclón
5. Tomamuestras
6. Acondicionador
7. Celdas de desbaste
8. Celdas de afino
9. Celdas de relave
10. Bomba
11. Tomamuestras
12. Bomba
13. Espesador
14. Acondicionador
15. Bomba
16. Tambor
17. Cinta
18. Concentrados

La vía química se va imponiendo desde que, a finales del siglo XIX, se descubrió el procedimiento de lixiviación (disolución química) de los minerales de oro con una disolución de cianuro sódico.

Hoy es el método más utilizado en la producción de los metales preciosos, de una parte importante de la producción del cobre que llega a producirse en forma de planchas de metal (cátodos de una instalación de electrólisis) en las propias instalaciones de la mina. En la actualidad, ha empezado a utilizarse con los minerales oxidados de níquel y cobalto.

En los minerales no metálicos y las rocas industriales, normalmente no llega a emplearse el proceso de concentración y el mineral o roca arrancada se prepara cortándolo (en el caso de las piedras naturales), moliéndolo al tamaño adecuado (minerales industriales) y, en todo caso, simplemente se seca para su venta.

FILTRACIÓN Y SECADO

La última etapa de la concentración de los minerales es, en algunos casos, la filtración, que consiste en extraer mediante el vacío toda el agua posible al producto final (minerales metálicos y no metálicos, carbones) y en ciertos casos el secado (algunos minerales no metálicos). Después de esta etapa, en algunos minerales no metálicos se procede a su ensacado. En los metálicos, se envía directamente al fundidor con un 5 % - 10 % de agua.

Todas estas operaciones también producen residuos muy agresivos, que obligan a realizar operaciones de consolidación y a veces de neutralización.

LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

En la industria, el progreso tecnológico habitual ya se manifiesta en las operaciones mineras desde hace años. El control de posición de vehículos en una mina "a cielo abierto" mediante GPS y la transmisión de órdenes de operación a los elementos de producción de la cantera, a fin de eliminar tiempos de espera de máquinas muy costosas, se encuentra totalmente generalizado en las grandes explotaciones. Es más, la carga de los camiones es medida en el propio vehículo y un ordenador centralizado se encarga de la distribución de los trabajos.



Utilización del sistema GPS para el levantamiento topográfico de la mina.

Otra línea de evolución que vuelve a tomar cuerpo es el gigantismo de la maquinaria, dirigida a conseguir cada vez costes más bajos.



Excavadora de cables de gran tamaño trabajando en una mina de cobre.



En la actualidad, el enorme coste de la maquinaria de movimiento de tierras obliga a un elevado grado de utilización y a la eliminación de los tiempos de espera. En la gran minería, esto se consigue mediante el control de movimientos utilizando el GPS y los sistemas informáticos.

Las operaciones en minería subterránea progresan hacia la eliminación del servicio de la mano del hombre en lugares peligrosos (como la carga remota bajo techos inestables) e incluso ya existen prototipos de camiones mineros de transporte de mineral en labores de interior totalmente automatizados y sin conductor.



Sala de control de una planta de concentración con imagen en el monitor de la trituradora primaria.

Las operaciones en planta de tratamiento de minerales ya hace años que cuentan con análisis químicos en tiempo real y bucles de control en los puntos clave. Además, en la actualidad existe una tendencia generalizada hacia el gigantismo de las operaciones, propio de una industria que busca afanosamente rebajar sus costes, por ejemplo mediante la utilización de celdas de flotación y sistemas de trituración y molienda de tamaño descomunal con la consiguiente reducción de los costes energéticos.

La minería por disolución presenta ventajas innegables cuando se puede emplear, y hoy, en España, contamos con sistemas de recuperación del sulfato sódico mediante disolución en piscinas y cianuración (disolución del oro con reactivos químicos).



Minería por disolución. Santa Marta, Burgos. Preparación de las balsas en las que se disuelve el sulfato sódico (Glauberita) por inyección de agua, que se envía a la planta de cristalización, obteniéndose un sulfato prácticamente puro.

La mecanización y la automatización de los trabajos han hecho que éstos sean no solamente menos arriesgados que hace décadas sino que se puedan desarrollar en condiciones confortables.



La incorporación de la mujer a los trabajos mineros es algo muy habitual en países civilizados.

La integración de los residuos mineros en el paisaje es uno de los graves problemas a los que se enfrenta la minería actual. En el río Narcea, Gold Mines, que explotaba un yacimiento de oro en Asturias, cuidó extraordinariamente este aspecto, debido a la gran calidad paisajística del entorno.

El medio ambiente y las relaciones con las comunidades de la región

El control ambiental de las operaciones mineras y la restauración de los espacios por ellas originados forman parte habitual de la planificación, operación y clausura de las explotaciones mineras, pudiendo empezar en su primer año de trabajo, y el proceso de restauración continúa hasta mucho después del cierre de la mina.



En la actualidad, el reconocimiento de las comunidades autóctonas afectadas por la gran minería resulta una de las variables a ser tenida en cuenta en el momento de iniciar una nueva explotación.

La prioridad de una mina consiste en proteger las aguas y el área circundante de las sustancias contaminantes generadas por la explotación. En los últimos años, las reivindicaciones de las comunidades que habitan en una región afectada por la minería han sido cada vez más poderosas, sobre todo en países con una importante población agrícola. La transparencia informativa, la participación en decisiones que les pueden afectar, el desarrollo comunitario propiciado por la empresa explotadora, la construcción de servicios para la comunidad, el fomento del empleo y capacitación local, son algunas de las medidas más empleadas en estas regiones del Planeta, con el fin de incrementar la convivencia con las comunidades autóctonas.

Sostenibilidad

El desarrollo de una explotación "sostenible" implica la integración del resultado económico en una estrategia de riguroso control medioambiental y un aseguramiento de las condiciones de trabajo personal y, además de una sensibilidad por la sociedad afectada por las operaciones de explotación, así como de una persistente conciencia de mejorar los sistemas que pueden verse involucrados en la calidad ambiental de las explotaciones.



3. APLICACIONES MINERAS

Las aplicaciones de los recursos minerales pueden agruparse en función de las características de los mismos, los cuales pueden ser clasificados en función de aquéllas. Su tratamiento detallado será objeto de las distintas unidades que componen este recorrido de los minerales y que de una forma somera se enumeran a continuación.

3.1. RECURSOS ENERGÉTICOS

A finales del siglo XIX y comienzos del XX, el carbón sobrepasó la utilización de la madera como principal fuente energética, para, posteriormente, compartirla con el petróleo, gas natural y energía nuclear.

El carbón en sus distintos grados de maduración (turba, lignito, hulla y antracita) es utilizado como combustible en calefacciones domésticas, industrias manufactureras y en la industria química. Pero su más importante utilización es como carbón térmico, para la generación de energía eléctrica, y como carbón siderúrgico, para la obtención del coque en la producción de acero.

Una futura utilización será su gasificación "in situ", que evitará los problemas de contaminación ambiental que conlleva su utilización actual, a causa de los distintos elementos menores que suelen acompañarle, como azufre, mercurio, uranio, etc.

El petróleo y el gas natural son, actualmente, combustibles de vital importancia para la economía mundial. Al igual que en el carbón, el azufre es el elemento que determina la calidad de los mismos y cuyo contenido está sujeto a estrictas regulaciones medioambientales. La producción de gasóleos y gasolinas, el consumo en centrales térmicas, el abastecimiento doméstico, la industria petroquímica, etc., son importantes campos de aplicación.

Cuando las condiciones económicas lo permitan en el futuro, petróleos pesados, arenas asfálticas y pizarras bituminosas serán explotados, con mayor intensidad que en la actualidad, como fuentes complementarias o sustitutivas de las actuales reservas de petróleos de calidad.

Dejando aparte las aplicaciones no pacíficas de la energía nuclear, el uranio ha sido usado ampliamente en reactores de fisión, que requieren del isótopo U_{235} y otros isótopos fisibles de Pu (plutonio) y Th (thorio), para la generación de energía eléctrica. El almacenamiento de los residuos radiactivos que producen los reactores nucleares es el principal problema de esta industria, que encuentra un fuerte rechazo en la sociedad actual.

Finalmente, otra fuente de energía la constituye la energía geotérmica, a partir del agua y vapor calientes existentes en el interior de la Tierra. Cuando las aguas con al menos 150 ºC son bombeadas a la superficie terrestre, el vapor generado puede ser utilizado en turbinas para la producción de energía eléctrica. Igualmente, pueden ser utilizadas para calefacción en invernaderos y otros usos.

Carbón, petróleo, gas natural, pizarras bituminosas y arenas asfálticas se denominan combustibles fósiles, originados a partir de materia orgánica, por procesos geológicos tales como enterramiento, presión y temperatura, junto con el factor tiempo.



Plataforma Casablanca de REPSOL.

3.2. METALES

3.2.1 Metales férreos y ferroaleaciones

Hierro y acero constituyen las bases del desarrollo de nuestra civilización. Barcos, puentes, edificios, hornos, maquinaria, reactores, etc., son construidos con acero.

Las propiedades del acero se ven mejoradas, y en muchos casos son imprescindibles, con la adición al hierro de otros metales, como níquel, cromo, manganeso, molibdeno, cobalto, vanadio, etc., formando las denominadas ferroaleaciones (ferrocromo, ferrosilíceo, ferromolibdeno, etc.). Cada una de estas aleaciones posee características propias.

De gran incidencia en la industria siderúrgica, por el alto consumo en los revestimientos refractarios de hornos, convertidores, piezas de moldeo, etc., se incluyen, aunque no sean minerales férreos, cianita, sillimanita y andalucita. Se trata de silicatos de aluminio anhidros, con la misma composición pero distinta estructura cristalina.



Tren de alta velocidad.

3.2.2. Metales no férreos

Se consideran aquellos minerales y metales no estrechamente relacionados con la industria siderúrgica y se dividen tres grupos:

- metales ligeros, aluminio, magnesio, titanio y berilio;
- metales bases, cobre, plomo, cinc y estaño;
- y metales preciosos, oro, plata y elementos del grupo del platino.

El resto, formado por aquellos cuya utilización es pequeña, en volumen, pero con una amplia aplicación en la industria química y eléctrica, son clasificados como metales químico-industriales.

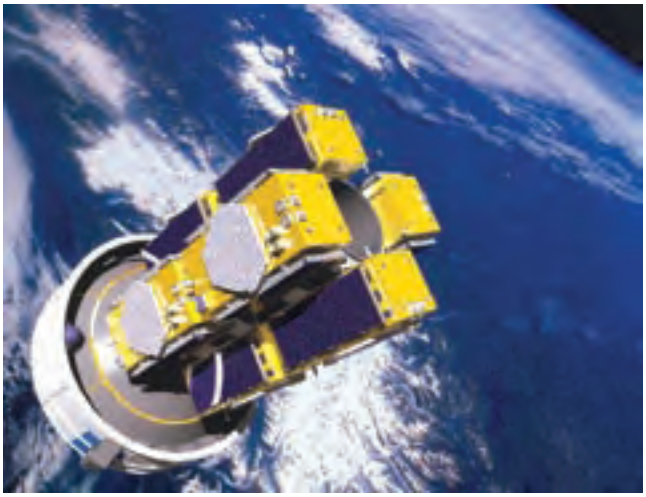
Los metales como el aluminio, cobre, cinc y plomo, seguidos del estaño, magnesio, titanio, etc., son los de utilización más amplia y sus precios experimentan incrementos o bajadas cíclicas.

Metales ligeros

Tienen densidades muy inferiores a los de la mayoría del resto de los metales. Frente a densidades de 7,87 g/cm^3 del hierro y 8,96 del cobre, las densidades para los metales ligeros son de 1,74 para el magnesio, de 2,7 para el aluminio y de 4,51 para el titanio. La combinación de sus características, escaso peso junto con una gran resistencia, ha originado una fuerte demanda en los últimos años.

El aluminio se obtiene a partir de la bauxita (el mineral) mediante un proceso que requiere un gran consumo de energía eléctrica y conlleva diversos problemas medioambientales. El 90 % de la bauxita obtenida en el mundo es convertida en aluminio metal y el resto para producción de abrasivos, refractarios y componentes químicos.

El magnesio es utilizado en su mayor parte como compuesto mineral no metálico para la industria siderúrgica, así como para el recubrimiento refractario de hornos y piezas de moldeo, en la textil y en la química.



Satélite del nuevo sistema de posicionamiento Galileo.

El 95 % de la producción mundial de titanio es consumida, como óxido, para la fabricación de pigmentos. El resto es utilizado como titanio metal, con importantes aplicaciones en la industria aeronáutica y espacial, a causa de su menor peso con relación al acero pero similar resistencia y temperatura de fusión.



Montaje del fuselaje de un avión.



En las aeronaves se utilizan grandes cantidades de aleaciones de metales ligeros.

Finalmente, el berilio es utilizado en aleaciones con cobre y otros metales de un extraordinario escaso peso.

Metales base

Así llamados por los alquimistas medievales, que no consiguieron convertirlos en oro u otros metales preciosos, han adquirido una importancia extrema por sus múltiples aplicaciones en la industria moderna.

El cobre fue uno de los primeros metales usados por el hombre. Aleado con el estaño fabricó herramientas y armas de una mayor dureza, iniciando la Edad de Bronce, y aleado con el cinc obtuvo el latón. Durante muchos siglos, el cobre fue el metal más ampliamente usado, si bien la utilización del hierro y el acero lo han relegado a las aplicaciones más adecuadas a sus propiedades, como la conducción del calor y la electricidad y la resistencia a la corrosión. Su obtención en las fundiciones obliga a minimizar las emisiones de SO_2 y de elementos traza, como arsénico, cadmio y mercurio.

El plomo y el cinc suelen encontrarse juntos en los yacimientos, pero su comportamiento y uso son diferentes; mientras el cinc es esencial para la vida, ya que es un constituyente de enzimas, ADN, ARN, etc., el plomo es fisiológica y neurológicamente nocivo.



Pinolitos de bauxitas de la zona de Weipa, Australia.

Ello ha originado que la producción de minerales de cinc aumente progresivamente, y que la del plomo haya disminuido de manera significativa en las últimas décadas, limitándose su uso casi exclusivamente a la fabricación de baterías, habiéndose abandonado su utilización en vidrios, cerámicas, pinturas y gasolinas.

Por el contrario, el cinc tiene una gran utilización en el mundo industrial; casi la mitad de su consumo es para aceros galvanizados.

Por último, el estaño es otro de los metales utilizado en la lucha contra la corrosión. Su aplicación es mayoritaria en la industria alimentaria con la utilización de la hojalata, aunque sufre la competencia del aluminio y los plásticos.

Metales químico-industriales

Antimonio, arsénico, bismuto, cadmio, germanio, hafnio, indio, mercurio, tierras raras, renio, selenio, tantalio, talio y circonio; son utilizados en aplicaciones industriales y químicas, teniendo un comportamiento desigual en cuanto a su aceptación en el mercado y en el aspecto medioambiental. Arsénico, cadmio, mercurio y talio son muy tóxicos y su utilización encuentra un fuerte rechazo en la sociedad actual.

Son metales que entran como componentes cerámicos y de aleaciones en aplicaciones de alto valor en: fibra óptica, imanes permanentes, tubos de rayos catódicos, semiconductores, baterías, amalgamas, lámparas, reactores nucleares, etc.

Metales preciosos

Se encuentran entre los más apreciados por las sociedades de todos los tiempos. El oro es el más importante de este grupo, seguido del grupo del platino (EGP) y la plata, por este orden.

Alrededor de un 90 % de la producción mundial de oro se destina a joyería y a medallas y monedas conmemorativas. El resto se reparte entre la industria electrónica, a causa de la gran conductividad eléctrica y resistencia a perder brillo, la dental para la fabricación de coronas, y otras aplicaciones industriales y decorativas.



Ordenador PDA

La plata compagina su utilización como metal precioso con la de un metal industrial, con diferencias significativas entre los países desarrollados y no desarrollados. En estos últimos, el consumo es bajo y es utilizado fundamentalmente en joyería, en tanto que en los primeros es también usado en aplicaciones industriales (películas fotográficas y placas radiográficas, baterías con cinc, amalgamas dentales, farmacia, espejos de alta capacidad reflectante, en electrónica por su alta conductividad eléctrica y térmica) y en monedas, con un consumo mucho más elevado.

Los elementos del grupo del platino poseen características químicas similares, se presentan agrupados en la naturaleza y su utilización es casi exclusivamente industrial, especialmente como catalizadores en la industria automovilística, en la del refino de petróleo, en dispositivos electrónicos, en sensores de medida, en soldaduras especiales, etc.



Reloj fabricado con platino y diamantes.

3.3. MINERALES NO METÁLICOS

Constituyen un importante conjunto en el que pueden agruparse según las distintas industrias para las que tienen su mayor utilización, como la industria de fertilizantes y otros que proporcionan elementos para la industria química (calizas, dolomías, cretas, fosforitas, sales, azufre, nitrógeno, flúor, yodo, bromo) y del vidrio (cuarzo, trona, flúor, boro, litio, estroncio, feldespatos, etc.).

3.3.1. Minerales para la agricultura, la industria química y otras

Calizas, dolomías y creta son la principal fuente de suministro de calcio y magnesio para diversas aplicaciones químicas, junto con su utilización en agricultura, para el control de la acidez de los suelos, fabricación de refractarios y en las manufacturas de vidrio y papel.

La importancia del fósforo para la vida es evidente, por ser un componente del material genético ADN y uno de los nutrientes, junto con el potasio y nitrógeno, en el desarrollo de la vida vegetal y animal. El 95 % de su consumo se destina a la fabricación de fertilizantes y el resto a múltiples aplicaciones como la elaboración de detergentes, alimentación animal, fotografía, farmacia y usos militares.

Los depósitos de sales sódicas proporcionan la materia prima para la elaboración de sal de mesa (cloruros), detergentes, sosa cáustica, etc. (sulfatos). También la sal común o halita se usa, de manera directa, como activador del deshielo de carreteras.

Alrededor del 90 % de las sales potásicas se utilizan en la industria de fertilizantes, con una incidencia medioambiental mucho menor que la contaminación producida por el fósforo o los nitratos.

Igualmente, aproximadamente un 90 % del consumo de azufre se dedica a la fabricación del ácido sulfúrico, el ácido industrial más importante y la base para la industria química del azufre. La mayoría de este ácido se emplea en la fabricación del ácido fosfórico y de los fertilizantes superfosfatados. En la fabricación del ácido fosfórico, por cada tonelada de roca fosfatada tratada, se produce 1,5 t de yeso, con el consiguiente problema de su almacenamiento.

Como se ha señalado anteriormente, el nitrógeno es uno de los nutrientes más importantes de las plantas a las que es añadido en forma de nitrato amónico o bien urea. La mayoría de los fertilizantes nitrogenados son oxidados, formando nitratos solubles, que es la principal forma en que el nitrógeno se incorpora a las plantas. Desafortunadamente, los suelos retienen poco este nitrógeno que se incorpora a las aguas, contaminándolas.



Complejo químico para la fabricación de fertilizantes de Jorf-Lasfar, Marruecos.

El resto, alrededor del 15 % de la producción mundial de nitrógeno, se consume en la fabricación de ácido nítrico, un importante ácido industrial, sulfato amónico y otros compuestos utilizados en explosivos, plásticos, resinas y fibras sintéticas. Uno de los nuevos usos del nitrógeno es como azida sódica (NaN_3), como propulsor en los *airbag* de los automóviles.

Puesto que los fertilizantes son muy solubles, algunos de sus elementos se dispersan en forma iónica en suelos, rocas y aguas circundantes, por lo que debe limitarse su utilización.

Asimismo, la utilización de otros minerales no metálicos es cuestionada por su incidencia en el medio ambiente y la salud humana. El yodo, usado como aditivo en alimentación, es un buen ejemplo de un elemento esencial para la vida, pero que es tóxico en altas concentraciones, hasta el punto de estar limitado en ambientes de trabajo.

3.3.2. Productos de cantera

Generalmente, son productos relacionados con la construcción y las obras públicas y/o de infraestructuras (cemento, yeso, arcilla, arena, grava, rocas volcánicas, etc.).

El cemento es producido a partir de calizas, margas y pequeñas cantidades de óxido de hierro, adecuadamente trituradas y sometidas a unos 1.000 ºC de temperatura en hornos rotatorios. Si bien puede usarse solo, es más frecuentemente utilizado como mortero en el que actúa como aglomerante de arenas, gravas y otros materiales.

El yeso es la principal materia prima para la obtención de productos y materiales prefabricados para la industria de la construcción, en el retardo del fraguado del cemento, en la agricultura para la mejora de la permeabilidad y corrección de suelos, como soporte catalítico de fertilizantes, etc., y como elemento de carga.

En aquellas construcciones en las que el peso es un factor importante, se emplean rocas o materias minerales de baja densidad pero de una gran resistencia, denominados materiales ligeros. Rocas volcánicas, como andesitas, basaltos, tobas, pómez, etc., tienen bajas densidades a causa de sus numerosas vesículas. También son empleadas como aislantes y como aditivo a suelos y otros materiales en los que interesa incrementar su porosidad.

De la misma manera, pueden fabricarse materiales ligeros a partir de minerales y rocas que contienen agua en su estructura cristalina, cuyo calentamiento origina espacios huecos. Tal es el caso de las pizarras arcillosas, la vermiculita y el vidrio volcánico perlita.

Algunas escorias y desechos industriales también son utilizados, a veces, como materiales ligeros.

3.3.3. Minerales para carga o relleno, cubrimiento, pigmentos y filtros

Ciertos minerales son utilizados para proporcionar características especiales a determinados productos o para abaratar su coste. Son los denominados minerales de carga y de cubrición o cubrientes, con un gran número de aplicaciones, algunas de ellas ciertamente curiosas. Por ejemplo, las pinturas que contienen barita son utilizadas en los automóviles para reducir su propio ruido al rodar, y pequeñas cantidades de mica, finamente molida, realzan el brillo del contenido de las barras de labios. Otros minerales se utilizan en la elaboración de pigmentos para proporcionar los colores requeridos. Y otros, son utilizados como filtros. Buenos ejemplos son el grupo de las arcillas especiales (sepiolita, bentonita y attapulgita) y las diatomitas, junto con otros minerales como caolines, yeso, etc.

Las características del grupo de las arcillas especiales, caolín, bentonita y attapulgita, son aprovechadas en la fabricación de papel, pinturas, absorbentes, lodos de sondeos, etc.

La diatomita, roca formada fundamentalmente por diatomeas, tiene su mayor utilización como filtro para eliminar sólidos en suspensión de bebidas, zumos de fruta, aguas de piscinas, barnices, etc. También es usada como carga y cubriente en pinturas, papel, etc., y como componente abrasivo en productos para pulir.

Finalmente, destacan la ilmenita y el rutilo, como fuentes de titanio metal, para la elaboración de pigmentos.

3.3.4. Minerales para la industria del vidrio y de la cerámica

Sílice o cuarzo, flúor, carbonato sódico, boro, estroncio, litio, caolín (ya citado) y wollastonita son las principales materias primas o aditivos utilizados en estas industrias.

El cuarzo, procedente de arenas y gravas, es el constituyente principal del vidrio y con mayor consumo en esta industria. El resto tiene aplicación como fundente, abrasivo y para incrementar la porosidad de los campos o almacenes petrolíferos.

El 50 % del consumo de carbonato sódico, procedente del mineral natural (trona) y de su fabricación industrial a partir de sal común y caliza se da en la industria del vidrio. El resto se emplea en sistemas de desulfuración, tratamiento de aguas, jabones y detergentes, papel y productos químicos.

El flúor, ampliamente utilizado como fundente en la industria siderúrgica y del vidrio, y en aparatos de refrigeración y aerosoles, centra la discusión sobre el uso de compuestos fluoroclorados al estimarse su intervención en la destrucción de la capa de ozono, una de las principales causas del cáncer de piel.

El boro es ampliamente utilizado en los Estados Unidos como fundente en la fabricación de vidrio, fibra de vidrio y material aislante, en tanto que en Europa se utiliza como elemento de carga en jabones y detergentes.

La demanda comercial de estroncio ha sufrido cambios recientes, por la presencia en el mercado de pantallas planas para monitores de TV, ordenador o radar, como sustitutivas de las pantallas en color, en las que la adición de estroncio al vidrio permite el bloqueo de la radiación. Este cambio tecnológico está teniendo profundo impacto en los países desarrollados, haciendo descender de forma radical el consumo de estroncio para este fin. No obstante en otros mercados mundiales los tubos de vacío para TV mantienen posición dominante. Los compuestos de estroncio se utilizan también en pirotecnia para dar color, en la producción de ferritas para imanes cerámicos y en las fundiciones de cinc electrolítico. España es el único país de la Unión Europea con minas en explotación, en la provincia de Granada.

Otro aditivo importante es el litio, que evita la expansión y contracción en los productos cerámicos con los cambios de temperatura, propiedad básica en multitud de productos, desde las naves espaciales a los utensilios de cocina.

Finalmente, las características químicas de la wollastonita predominan en su utilización en la industria cerámica (aislantes eléctricos, vitrificados, etc.). Su dureza, blancura, baja pérdida al fuego, pH y ser químicamente estable propician su utilización en pinturas, plásticos, adhesivos, etc.



Piedras preciosas.

3.4. PIEDRAS NATURALES

Las más usuales son el granito y rocas intrusivas conexas, la caliza, el mármol, la arenisca y la pizarra. Su utilización más frecuente es en forma de tableros, placas o losetas para recubrimiento y aislamiento de paredes, fachadas y tejados.



Cubierta de pizarra.

La extracción en granitos, calizas y mármoles se realiza mediante el uso de un cable, que lleva insertado unos pequeños cilindros con polvo de diamante, que corta la roca formando grandes bloques, que son cortados en tableros y losetas de dimensiones adecuadas y, posteriormente, pulidos. En el caso de las pizarras, se aprovechan los planos o superficies de esquistosidad, para obtener placas de espesores milimétricos, cuya principal utilización es la de cubierta exterior de tejados y, en menor proporción, para pavimentación y revestimiento, mampostería, mesas de billar, mezcla de asfalto, etc.

Dada la importancia adquirida por estas rocas en el sector de la construcción, existen normas que regulan su clasificación, su utilización, etc., en las que se especifican los ensayos para determinar su comportamiento frente a los esfuerzos, presiones, envejecimiento y agentes atmosféricos.

Es evidente que una gran parte de los residuos o desechos de la elaboración de bloques, tableros y losetas pueden emplearse como áridos o bien servir de materia prima para elaborar productos como carbonato cálcico, a partir de calizas o mármoles de gran pureza.

3.5. GEMAS Y PIEDRAS PRECIOSAS

Si bien los diamantes son los más conocidos y apreciados en el grupo de las gemas o piedras preciosas, las esmeraldas, rubíes, zafiros, ópalos, aguamarinas, ámbar, etc., son igualmente apreciadas por su rareza o escasez, color, brillo, dureza, etc. La mayoría son ofrecidas al mercado, tras su corte y pulido, con formas diferentes a como existen en la naturaleza.

4. LA LEGISLACIÓN MINERÍA

La legislación minera establece que todos los yacimientos de origen natural y demás recursos geológicos existentes en el territorio nacional son bienes de dominio público, cuya investigación y aprovechamiento está sujeto a un régimen jurídico específico que le permite a la Administración imponer condiciones para la cesión del derecho a terceros.

Los yacimientos minerales y demás recursos geológicos se clasifican en secciones:

- **Sección A:** recurso de escaso valor económico o aquellos otros que se usan directamente en obras de infraestructura, construcción y otros usos que no exigen más operaciones que las de arranque, quebrantado y calibrado.

  En Navarra, se clasifican en esta Sección algunas de las canteras de arcilla, ofita, arenisca y las graveras.

- **Sección B:** aguas minerales, termales, estructuras subterráneas y yacimientos de origen no natural.

  Además de las aguas minerales, se incluye en Navarra una escombrera de sal gema, procedente de las antiguas explotaciones de potasa, y una escombrera para áridos, de una antigua cantera de mármol.

- **Sección C:** recursos no incluidos en el apartado de la sección A anterior. En Navarra, se incluyen aquí las canteras de mayor tamaño e importancia de caliza, grava, ofita, marga, yeso, sal manantial, arenisca y mármol, así como la explotación de magnesita.

- **Sección D:** recursos minerales energéticos.
  En la actualidad, no hay explotaciones de esta sección en Navarra

Una vez otorgado el derecho minero, tras la presentación de los correspondientes estudios y proyectos, el titular está obligado a presentar anualmente un Plan de Labores, que básicamente consiste en un proyecto técnico en el que se detallan los parámetros principales de la explotación para el año siguiente, tales como altura de banco, toneladas previstas a extraer, restauración de terrenos alterados, maquinaria a emplear, etc.

Los planes de labores son estudiados para su aprobación y confrontados sobre el terreno, de tal manera que puede contrastarse el adecuado ritmo de explotación, las medidas adoptadas en materia de seguridad laboral y el cumplimiento de los planes de restauración.

De acuerdo al Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras, con carácter previo a cualquier autorización de aprovechamiento o concesión de explotación, el titular deberá presentar a la autoridad minera un Plan de Restauración del Espacio Natural (PREN) afectado por la explotación para su autorización, todo ello con independencia del preceptivo Estudio de Impacto Ambiental sobre el que debe emitir una Declaración de Impacto Ambiental el Órgano competente en materia medioambiental. Las Declaraciones negativas o con prescripciones son vinculantes para el Órganos sustantivo. La Declaración de Impacto Ambiental se encuentra regulada por la Ley Foral 4/2005, de 22 de marzo, de intervención para la protección ambiental.

Anualmente los titulares deben presentar, junto con el Plan de Labores, el programa de trabajos a realizar en cumplimiento del citado PREN. Estos programas son estudiados, confrontados y autorizados anualmente para comprobar la efectiva adecuación de la restauración realizada.



5. LA MINERÍA EN LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA, EN ESPAÑA Y EN EL MUNDO

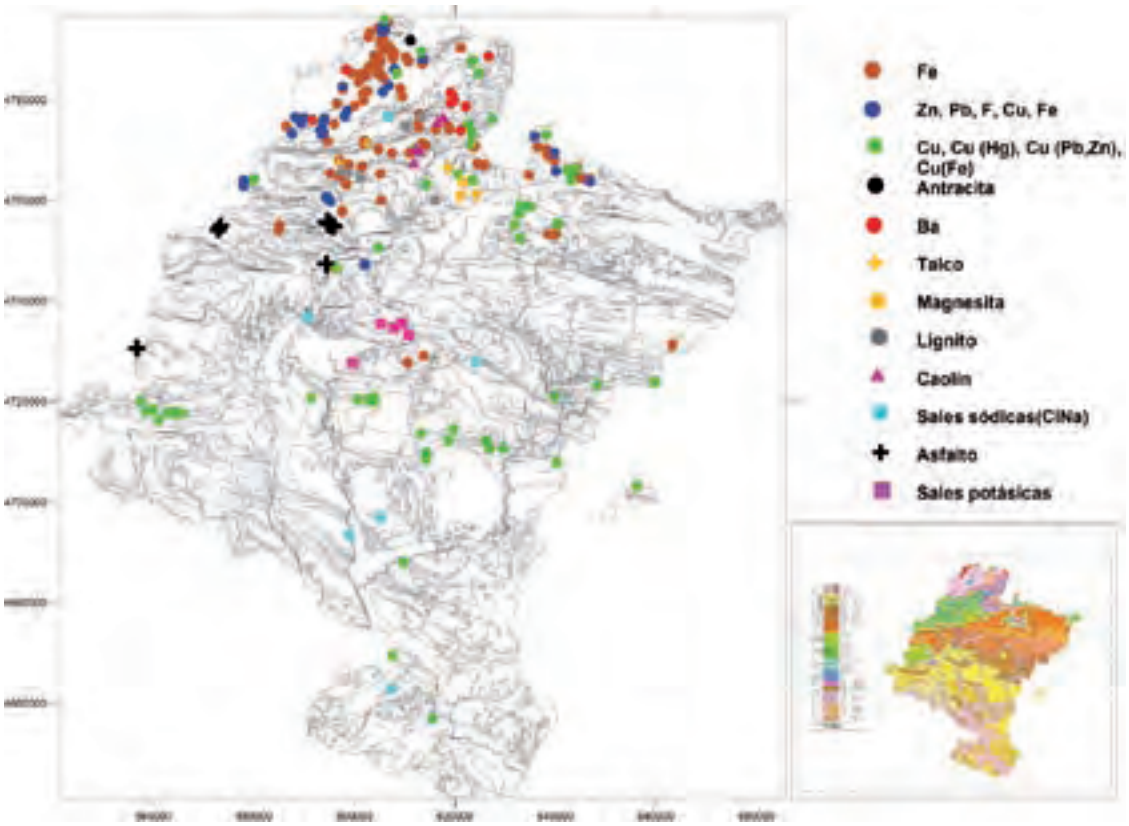
El marco geológico de Navarra se subdivide en varios grandes dominios geológicos:

- Los Macizos paleozoicos, emplazados durante la orogenia alpina, de Cinco Villas, Quinto Real y Oroz-Betelu, al N y NO de Navarra. En el núcleo del Macizo de Cinco Villas intruye el cuerpo granítico de Peñas de Haya, la única intrusión granítica del Pirineo axial que aflora en Navarra.
- Paleozoico de la zona axial del Pirineo Central (NE).
- Cobertera Mesozoica formando una amplia banda E-O de materiales cretácicos y jurásicos: Ulzama y Aralar.
- Materiales Paleógenos de Cuenca de Jaca-Pamplona
- Materiales Neógenos de la Cuenca del Ebro.

La actividad minera en Navarra se remonta a tiempos muy remotos, ya que hay vestigios de la misma desde el neolítico. Los primeros signos de aprovechamiento de los recursos minerales, en la edad de Bronce, tienen relación con las mineralizaciones de cobre que aparecen en la cueva de Urbiola. Esta cueva, conocida como la cueva de los "*hombres verdes*", situada en el término de la Tejería, en las faldas del Monte Urbiola, es un ejemplo de una pequeña cueva-mina en la que huecos naturales formados por acción de las aguas subterráneas, se prolongan con galerías realizadas por el hombre y en las que se encuentran carbonatos de cobre, malaquita, que confieren a los afloramientos coloraciones verdes.

Durante la ocupación cartaginesa, en el siglo III a.C., hubo explotaciones mineras de oro y plata en la zona de Baztán, posteriormente explotadas por los romanos. Existen en Navarra muchos indicios de una minería que se orientó sobre todo al cobre, al plomo (argentífero), al hierro y, en menor medida al oro. Sin embargo, desde el siglo XIV hasta el XIX, la minería en la zona vasco-cantábrica y pirenaica, estuvo marcada por el fenómeno de las ferrerías y fue, sobre todo, una minería de hierro.

Las mineralizaciones de plomo, cinc y fluorita se concentran en el Macizo de Cinco Villas, apareciendo también en los Macizos de Quinto Real y Oroz-Betelu. Las de hierro tienen una distribución algo más dispersa, aunque la mayor parte de ellas lo hacen en los citados macizos. Las mineralizaciones de cobre se localizan en los macizos paleozoicos y, con mayor intensidad, en los materiales Terciarios del Prepirineo, en la cuenca de Pamplona. Las de magnesita se encuentran en las litologías carbonatadas devónicas de los macizos de Quinto Real, mientras que las de barita se localizan en los afloramientos permo-triásicos de los Macizos.



MINERÍA HISTÓRICA. Mapa de localización de las principales explotaciones mineras de minerales metálicos, energéticos y algunos de los minerales no metálicos o industriales.

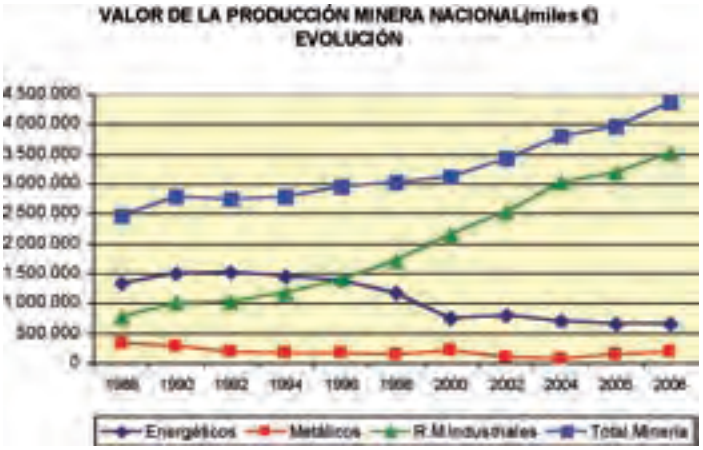
La extracción de minerales metálicos y algunos no metálicos, así como la de minerales energéticos, está inactiva desde hace ya algunos decenios, pero constituyó a finales del siglo XIX y en la primera mitad del XX un aporte sustancial a la economía regional y, sobre todo, de algunas comarcas como es el caso de la zona de los valles pirenaicos del Norte de la Comunidad.

A partir de mediados del siglo XX, la minería metálica va desapareciendo y empieza la explotación de las magnesitas y de las potasas, de gran importancia en Navarra y relevancia a nivel nacional. Al mismo tiempo, va aumentando también la importancia económica de las explotaciones de áridos y de otras rocas industriales.

En los últimos años, en Navarra, como en España, la minería ha evolucionado intensamente, cambiando de forma sustancial la aportación de los diferentes sectores al valor total, perdiendo peso la minería energética y metálica y ganándolo las rocas y minerales industriales.

La minería energética nacional, básicamente la minería de carbón, está en continuo retroceso, pues es una exigencia de la Unión Europea que sólo continúen activas las minas que realmente sean competitivas.

La minería metálica, sin presencia en la Comunidad Foral y con sólo una mina metálica importante activa en España, la de Aguablanca (Extremadura), para producción de níquel, sigue una línea con altibajos. La producción de oro ha finalizado, al menos temporalmente en 2007 y la de estaño es muy poco significativa. La situación puede mejorar con la apertura o reapertura de algunas minas para obtención principalmente de cobre en la Faja Pirítica (Huelva – Sevilla), que podría tener lugar entre 2009 y 2010.



La extracción de rocas y minerales industriales es la que ha conseguido que el valor total de la producción minera nacional siga una línea ascendente. Dentro de ese gran grupo, los minerales industriales –magnesita, potasa, caolín, feldespato, etc. -mantienen una progresión sostenida y son los áridos y las rocas ornamentales los principales causantes de los mayores incrementos.



En Navarra, como se ve claramente en el gráfico, el cierre de las minas de potasa, en 1997, supuso un importante descenso, tanto del empleo minero, como del valor de la producción, que paulatinamente se va compensando y volviendo mostrar incrementos, sobre todo en valor, gracias a la producción de áridos para la construcción y la industria.

A lo largo de los últimos años, Navarra ha venido ocupando el puesto 13º ó 14º entre las Comunidades Autónomas, que asciende al décimo o décimo primero en el caso de la producción de minerales industriales.

En cantidad y en valor acumulado destaca la producción de los materiales empleados en la construcción, como las arenas y gravas de las terrazas cuaternarias de los ríos, principalmente del Ebro, el Ega, Alhama, Arga, Aragón y Cidacos. El puesto que ocupa Navarra en la producción nacional de áridos, es el 13.

Más importante aún es la producción de calizas, que es la sustancia que aparece más frecuentemente en la geología del territorio, dando lugar a las canteras de mayor volumen y entidad. La mayoría de éstas se encuentran en el sector noroccidental de Navarra, encontrándose en materiales que van desde el Paleozoico hasta el Cenozoico. Así, muchas explotan los materiales cretácicos de las sierras de Aralar, Urbasa, Alaiz, Andía y Leyre, otras las masas carbonatadas carboníferas del Macizo de Cinco Villas y otras materiales cretácicos o jurásicos en la zona situada entre el macizo de Cinco Villas y el de Quinto Real.

La mayor parte de la producción de calizas abastece a la industria de la construcción, tanto de Navarra como de las regiones limítrofes, pero también hay un porcentaje de producción con destino industrial, bien sea para la fabricación de cemento, o para la de micronizados.

También es interesante, aunque supone menores volúmenes de producción y valor económico la obtención de ofitas, también en la zona noroccidental, empleadas tanto para la construcción, como para balasto para el ferrocarril o industrialmente.

Dentro de las rocas y minerales industriales, también se extraen arcillas y yesos destinados a la industria ligada a la construcción, con fabricación de ladrillos y tejas o a la del cemento, escayolas, etc.

Las rocas ornamentales –mármol, arenisca -también tienen presencia en esta Comunidad, si bien su importancia es bastante menor que la del resto de rocas y minerales.

Finalmente, las aguas minerales cuentan desde antiguo con gran tradición de explotación en Navarra, bien para su aprovechamiento como aguas de bebida envasada, bien en balnearios, establecimientos en que se combina la ingesta del agua y/o el baño por sus propiedades curativas, el ocio y el turismo, lo que supone un importante beneficio económico para el entorno.



Equipo de perforación para voladura. Cantera de caliza

LOS ÁRIDOS Y EL CEMENTO

EL RECORRIDO DE LOS MINERALES






MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

Instituto Geológico
y Minero de España

Gobierno de Navarra
Departamento de Innovación,
Empresa y Empleo



Gobierno de Navarra
Departamento de Innovación,
Empresa y Empleo

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

Instituto Geológico
y Minero de España

contenido

1. ¿QUÉ SON LOS ÁRIDOS?
   - 1.1. Definición
   - 1.2. Propiedades y características
   - 1.3. Clasificación

2. EL RECORRIDO DE LOS ÁRIDOS
   - 2.1. Un poco de historia
   - 2.2. La obtención de los áridos
   - 2.3. Procesos de transformación y reciclado
   - 2.4. Maquinaria y tecnología
   - 2.5. La seguridad en los procesos
   - 2.6. El transporte

3. APLICACIONES Y USOS DE LOS ÁRIDOS. LOS ÁRIDOS EN TU VIDA
   - 3.1. Productos y materiales
   - 3.2. Nuevas aplicaciones

4. LOS ÁRIDOS EN LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA, EN ESPAÑA Y EN EL MUNDO
   - 4.1. Los áridos en la Comunidad Foral de Navarra
   - 4.2. Los áridos en España
   - 4.3. Los áridos en el mundo
   - 4.4. Industrias de la Comunidad Foral de Navarra

5. EL CEMENTO
   - 5.1. Fabricación y comercialización
   - 5.2. Producción y consumo

AUTOR: **César Luaces**
Ingeniero de Minas
Director Técnico de la Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos

TEXTOS COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA: Carmen Marchán (IGME) y Mª del Mar Trapote (CF Navarra)

© DE LA EDICIÓN: Domènech e-learning multimedia, S.A.

DISEÑO Y MAQUETACIÓN: Enrique Domínguez

1. ¿QUÉ SON LOS ÁRIDOS?

La industria productora de áridos, es decir, arena o rocas fragmentadas, actualmente es uno de los subsectores básicos de la minería española y mundial.
Sin los áridos no sería posible la construcción de viviendas, oficinas, aeropuertos, hospitales, calles, carreteras, autopistas, vías de ferrocarril y puertos, ni se podría disponer de muchos productos industriales de uso cotidiano.









1.1. DEFINICIÓN

Los áridos son **materiales granulares** inertes formados por **fragmentos de roca o arenas** utilizados en la construcción (edificación e infraestructuras) y en numerosas aplicaciones industriales. Coloquialmente son conocidos como arena, grava, gravilla, etc.

Cada español consume, sin ser consciente de ello, 11.650 kg al año, es decir, aproximadamente 150 veces su peso. Prácticamente todo lo que una persona puede observar a su alrededor procede de una cantera o de una mina, a excepción de lo proveniente de los mundos vegetal y animal (muebles, tejidos, etc.).

Normalmente, a causa de sus características y los grandes volúmenes que se utilizan, los áridos se **comercializan a granel** en camiones con caja (conocidos como "bañeras" vistos con mucha frecuencia por las carreteras).

Los áridos son materias primas minerales indispensables para la sociedad. En general, se trata de materiales baratos y abundantes que se explotan necesariamente cerca de los centros de consumo, con el fin de reducir los costes de transporte.

1.2. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS

En función de la aplicación a la que están destinados, los áridos deben reunir características diferentes, asociadas a su naturaleza petrográfica o al proceso empleado para su producción, entre las que cabe destacar:

- Propiedades **geométricas**: tamaño, forma de las partículas (p.ej. si son alargadas o no), caras de fractura, calidad de los finos, etc.

- Propiedades **mecánicas y físicas**: resistencia al desgaste (p.ej. para que los coches no se deslicen en las carreteras), resistencia a la fragmentación, resistencia al pulimento, densidad, porosidad, contenido en agua, etc.

- Propiedades **térmicas y de alteración**: resistencia a los ciclos de hielo y deshielo, etc.

- Propiedades **químicas**: contenido en azufre, cloruros, materia orgánica, contaminantes ligeros, reactividad potencial, etc.

Estas propiedades son evaluadas gracias a un conjunto de más de 50 normas de ensayo y de especificaciones comunes a todos los países de la Unión Europea.

La idoneidad del control de producción que desarrollan las empresas es verificada periódicamente por organismos notificados independientes, emitiendo un certificado acreditativo. Gracias al control del proceso, se dispone de productos de calidad contrastados, tras el sometimiento continuo de los áridos a ensayos de laboratorio, que permiten determinar si sus propiedades cumplen con los requisitos de las aplicaciones en las que se van a emplear, lo que implica que los procesos de fabricación estén perfectamente controlados en sus diferentes etapas.

Desde el 1 de junio de 2004, los áridos deben llevar obligatoriamente el marcado CE tanto para su comercialización como para su uso. Por lo tanto, todo usuario tiene el derecho y el deber de solicitar la existencia de dicho marcado en los áridos, como indicador del cumplimiento de los requisitos esenciales establecidos por la Unión Europea.

Los áridos, para las aplicaciones como el hormigón o las carreteras, están regidos por reglamentos técnicos oficiales conocidos como EHE (instrucción para hormigón estructural) y el PG-3 (carreteras).

Actualmente, numerosas empresas del sector cuentan con registro de empresa de los sistemas de gestión de la calidad, según la norma UNE en ISO 9001-2000. Hoy en día, están desarrollándose marcas de calidad para los áridos.



Las plantas de áridos cuentan con sistemas tecnológicos muy avanzados que permiten controlar la calidad de los productos.



Equipo de tamizado para seleccionar el tamaño de los áridos.

1.3. CLASIFICACIÓN

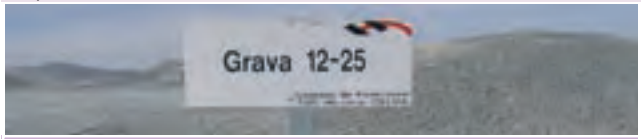
Los áridos pueden clasificarse por el tipo de roca del que proceden, por la aplicación a la que están destinados y por su tamaño.

1.3.1. Por tipo de roca

En función del **tipo de roca**, los áridos pueden clasificarse en las categorías de la tabla siguiente:

CLASIFICACIÓN DE LOS ÁRIDOS POR TIPO DE ROCA

Acopio de áridos señalizado.



Árido reciclado cerámico.



Árido fino artificial.



ÁRIDOS NATURALES			ÁRIDOS RECICLADOS	ÁRIDOS SECUNDARIOS (ARTIFICIALES)
• Procedentes de la corteza terrestre. • Suponen el 99 % del consumo.			• Procedentes del tratamiento de residuos de construcción y demolición. • Actualmente representan menos del 1 %.	• Procedentes de escorias de otras industrias generadas en procesos térmicos. • Actualmente su uso es escaso.
ROCAS ÍGNEAS	ROCAS SEDIMENTARIAS	ROCAS METAMÓRFICAS		
Plutónicas Granitos Dioritas Gabros	**Calcáreas** Calizas Dolomías	Gneises Cuarcitas Mármoles		
Hipoabisales Diabasas Pórfidos	**Arenosas** Arenas Arenas silíceas Gravas Conglomerados Areniscas Grauvacas		Hormigones Ladrillos Tejas Carreteras Mezclas	Escorias de horno alto Escorias de acería Otras escorias
Volcánicas Basaltos Riolitas Traquitas Andesitas				

Los áridos **naturales** pueden obtenerse:

- De yacimientos detríticos no consolidados, tipo arenas y gravas, en explotaciones denominadas **graveras**.
- Mediante la trituración de rocas masivas y consolidadas tipo granito, diorita, calizas, cuarcitas, en explotaciones denominadas **canteras**.

Los áridos pueden presentar formas redondeadas, cuando se trata de materiales aluviales que no son sometidos a trituración, o angulosas en el resto de los casos donde existe trituración.

1.3.2. Por tipo de aplicación

En función de su **aplicación**, los áridos pueden clasificarse en las categorías de la tabla siguiente:

CLASIFICACIÓN DE LOS ÁRIDOS POR APLICACIONES
CONSTRUCCIÓN
Áridos para **hormigón**
Áridos para **morteros**
Áridos para **capas de rodadura** (carreteras)
Áridos para **bases y subbases** (carreteras)
Áridos para **balasto de ferrocarril**
Áridos para **escolleras** (puertos, diques, presas)
Áridos **ligeros**
INDUSTRIA
Áridos **industriales**

1.3.3. Por tamaños

En cuanto al tamaño, los áridos se designan mediante la **fracción granulométrica d/D** comprendida entre el tamaño inferior (d) y el tamaño superior (D), por ejemplo, un árido 6/12 mm.

2. EL RECORRIDO DE LOS ÁRIDOS

2.1. UN POCO DE HISTORIA

Desde la Antigüedad, los áridos han acompañado el desarrollo de la civilización humana. En efecto, desde el inicio de los tiempos, el hombre ha utilizado materiales naturales para la construcción de su hábitat y la ordenación de su entorno.

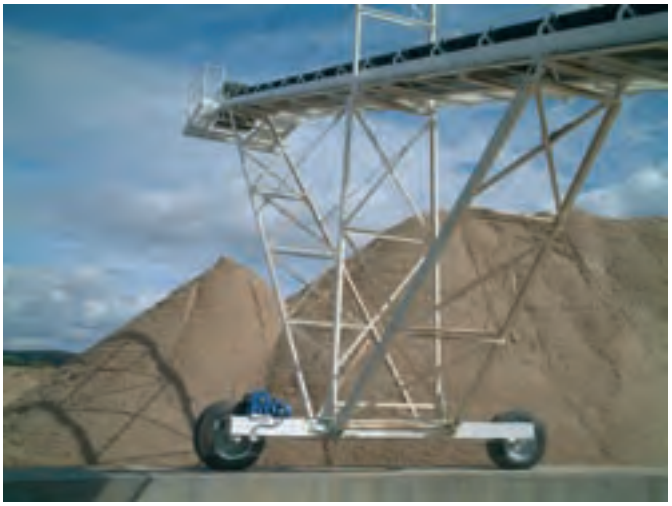
2.1.1. Origen y desarrollo

En el periodo que comprende desde la Antigüedad hasta la Revolución Industrial del siglo XIX, la producción de áridos se realizaba artesanalmente recurriendo a medios manuales, rompiendo y triturando las rocas con herramientas rudimentarias como mazas, martillos, etc. Para evitar su transporte, los áridos se producían en las proximidades del lugar donde iban a utilizarse. En esa época, una persona podía llegar a producir 125 t al año.

El final del siglo XIX supuso una revolución en el arte de la construcción, gracias a la aparición del cemento industrial y del hormigón. En esa misma época, la creación de las redes de ferrocarril, de la infraestructura de carreteras y de las obras públicas necesarias para franquear obstáculos, requirió el uso de grandes cantidades de materiales nuevos y económicos.

Comienza entonces el verdadero auge de los áridos como sector productivo, dependiente en gran medida de la actividad constructora.

A lo largo del siglo XX, fueron desarrollándose nuevas tecnologías que permitieron incrementar las producciones mediante la incorporación al proceso de maquinaria fija y móvil, cada vez con mayor capacidad. De este modo, ha ido creciendo el tamaño de las explotaciones de áridos a cielo abierto, denominadas canteras y graveras. Hoy en día, una explotación moderna puede llegar a producir más de un millón de toneladas al año con, aproximadamente, una docena de trabajadores.



Los avances tecnológicos han facilitado enormemente el rápido crecimiento económico mediante los nuevos sistemas, y la modernización de la maquinaria en las plantas de extracción de áridos.

2.1.2. Evolución

A principios del siglo XXI, la industria extractiva de los áridos destaca como uno de los sectores mineros más importantes, a la hora de proveer a la sociedad de recursos naturales primordiales para el desarrollo económico.

La profesionalización creciente es una de las metas de las empresas pertenecientes a este sector, que aplican, cada vez más, tecnologías innovadoras para optimizar y controlar los procesos.

En la actualidad, la producción de áridos se realiza en el marco de un desarrollo sostenible, procurando obtener productos de calidad con la consideración del medio ambiente y la prevención de riesgos laborales.





Para la construcción de edificios y múltiples infraestructuras en una ciudad son necesarios los áridos; de ahí, la gran importancia de éstos en el desarrollo económico.

2.2. LA OBTENCIÓN DE LOS ÁRIDOS

La explotación de los áridos se realiza habitualmente a cielo abierto en **canteras** o en **graveras**.

La concepción y el diseño de las explotaciones, así como la técnica operativa empleada, varían cuando se trata de extraer rocas masivas o materiales sin consolidar, en vía seca o en vía húmeda.

2.2.1. Investigación

La investigación minera permite determinar la existencia o no de un yacimiento de áridos y, en caso afirmativo, si sus características lo hacen viable (ubicación, dimensiones, tipo de roca, calidad, etc.), ponerlo en explotación.

En principio, puede decirse que las reservas de áridos (sedimentarios y masivos) son prácticamente ilimitadas en España. Pero, en numerosos casos, la inaccesibilidad del yacimiento, que éste se encuentre situado en zonas urbanas, en espacios clasificados o en espacios protegidos, así como el excesivo coste de explotación y de transporte o los posibles impactos sobre el medio ambiente, pueden hacer inviable la explotación.



Vista general de una planta de tratamiento de áridos.

2.2.2. Proyecto de explotación

Cualquier explotación de áridos debe contar con un proyecto aprobado por la Administración, el cual comprende todos los aspectos relacionados tanto con la propia extracción de la materia prima (diseño de la explotación) como con su tratamiento (diseño de la planta de tratamiento), además de las medidas previstas para corregir los efectos de la actividad sobre el medio ambiente, y garantizar la seguridad y salud de los trabajadores.

En la mayoría de los casos, los proyectos de explotación están obligados a superar un procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental.

2.2.3. Extracción

La etapa de extracción se desarrolla en dos fases principales que se realizan de forma consecutiva: la descubierta de las capas explotables y la extracción de la materia prima.

- **Descubierta de las capas explotables**. Antes de comenzar la extracción propiamente dicha, es necesario poner al descubierto el yacimiento explotable, retirando selectivamente la cubierta vegetal, los estériles y las rocas alteradas. Estos materiales no aptos como áridos son, sin embargo, de un gran valor para la restauración de las áreas ya explotadas.

- **Extracción de los materiales**. Para la extracción de áridos se emplean distintos métodos de arranque de la roca, adaptados a los diferentes tipos de yacimientos denominados graveras o canteras. La zona donde se obtiene la roca se denomina frente de extracción. Cuando la potencia del yacimiento, es decir el espesor del material, es grande, se forman bancos o escalones de altura limitada, diseñados de tal manera que permitan un acceso fácil a los equipos de carga y de transporte. Existen dos grandes grupos de explotaciones:

  - **Graveras**: cuando los materiales no están consolidados, se emplean equipos de arranque mecánico como excavadoras, palas cargadoras, dragalinas, y tractores sobre orugas (*bulldozer*), que extraen directamente la roca.



Arranque en frente con retroexcavadora.



Arranque mecánico en gravera.



Extracción con dragalina.

· En **vía seca**: cuando el yacimiento se encuentra por encima del nivel del agua (capa freática o nivel del curso de agua), se emplea maquinaria minera y de obras públicas, como excavadoras, *bulldozers* y palas cargadoras, atacando el frente de material desde arriba, o bien desde el pie del mismo.

· En **vía húmeda**: cuando el yacimiento se encuentra por debajo del nivel del agua, desde la orilla se utilizan dragalinas con cables y cuchara o retroexcavadoras (si la profundidad es escasa) o, desde el agua, dragas (en profundidades mayores).

· Explotación **mixta**: es una combinación de los dos métodos anteriores.

- **Canteras**: cuando se trata de macizos rocosos, la extracción de materiales consolidados se efectúa mediante voladura con explosivos, adoptando grandes medidas de seguridad, para la fragmentación controlada de la roca y la obtención de la materia prima, llamada todo-uno, que pueda ser trasladada hasta la planta de tratamiento.

• **Transporte a la planta de tratamiento**. Se realiza mediante camiones volquetes (*dumpers*), que pueden llegar a ser de grandes dimensiones, o cintas transportadoras.



Voladura, con explosivos para la fragmentación controlada de materiales consolidados.



Los denominados camiones *dumpers*, pueden cargar y transportar a lo largo del tiempo miles de toneladas de áridos desde el lugar de extracción hasta la planta de tratamiento o el lugar de destino.



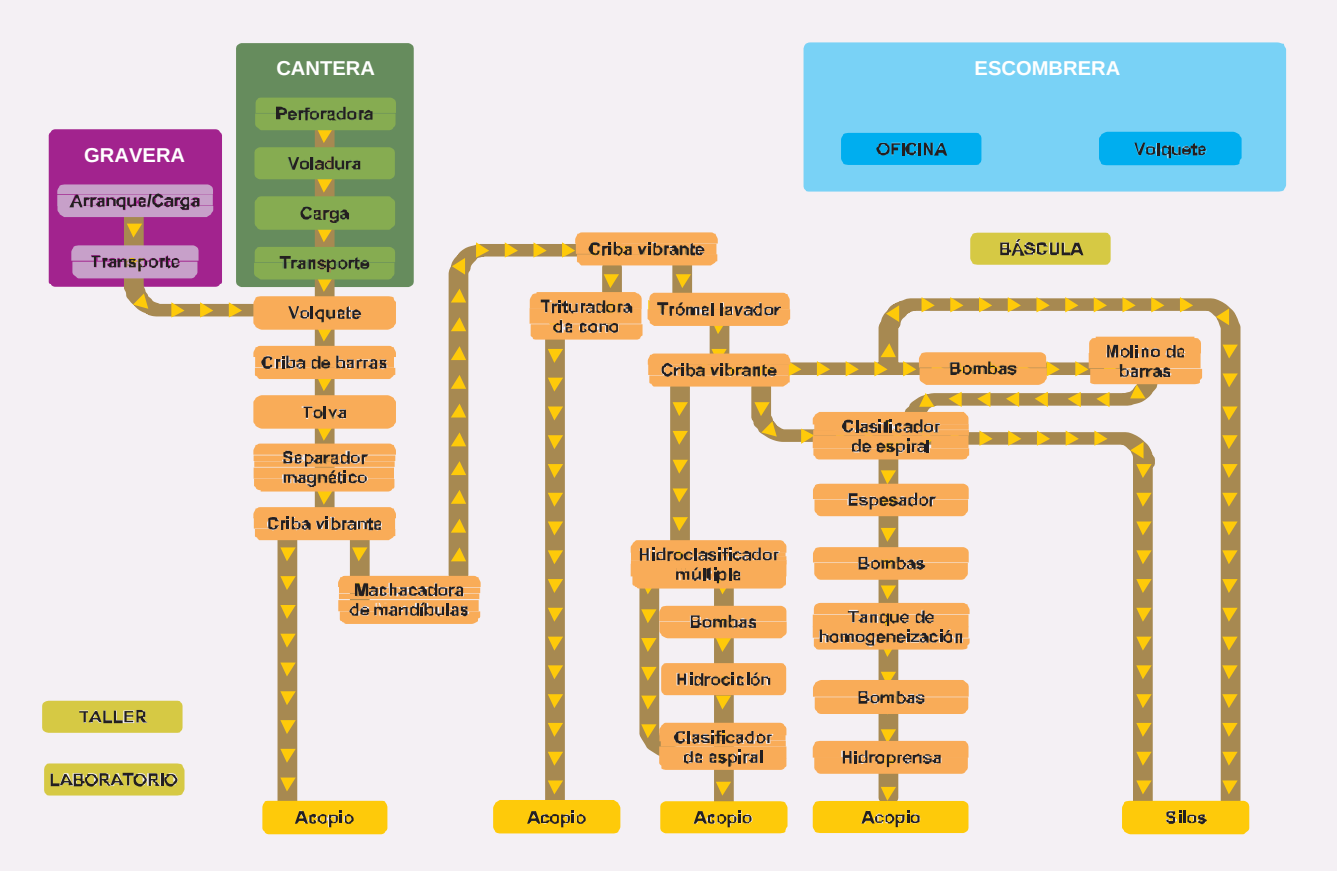


Otra forma de transporte en las canteras o graveras son las cintas transportadoras, capaces de mover grandes tonelajes de áridos.

2.3. PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN Y RECICLADO

El proceso de tratamiento de los áridos permite obtener productos terminados aptos para el consumo. Se trata de un proceso muy automatizado y tecnológicamente complejo, pues intervienen en él una gran cantidad de disciplinas. Sin embargo, en cuanto a su principio básico, puede decirse que es sencillo, ya que consiste en triturar el todo-uno procedente de la explotación para obtener tamaños menores y clasificarlos con el fin de almacenar por separado cada granulometría. En algunos casos, es necesario lavar el material para mejorar sus características. Las etapas básicas son:

ESQUEMA DE EXPLOTACIÓN DE ÁRIDOS



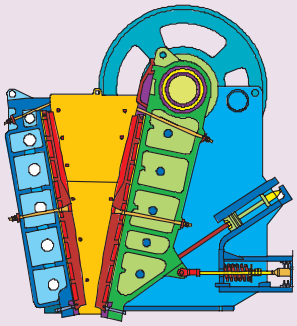
2.3.1. La trituración y la molienda

La **trituración** y la **molienda** permiten disminuir, en sucesivas fases, el tamaño de las partículas, empleando para ello equipos de trituración de características diferentes como los de mandíbulas, los de percusión, los giratorios o los molinos de bolas o de barras. En las arenas y gravas de origen aluvial, únicamente se trituran los tamaños superiores y, por lo tanto, el número de etapas de trituración suele ser inferior.

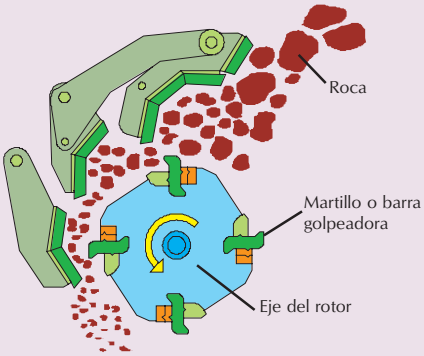


En el proceso de trituración y molienda de los áridos, también se requiere maquinaria específica de grandes dimensiones. Equipo de trituración primaria.

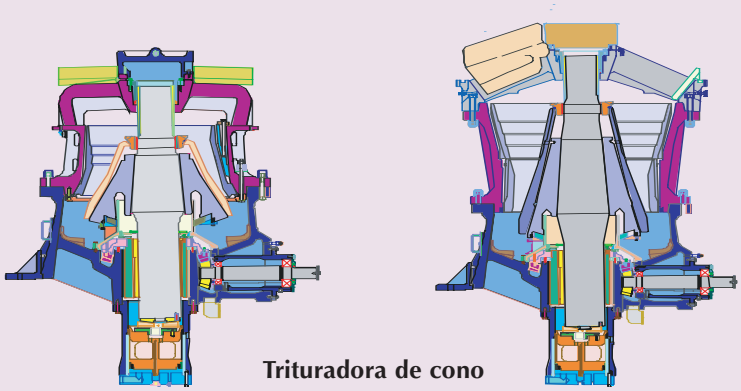
DIFERENTES TIPOS DE TRITURADORAS



Trituradora de mandíbulas

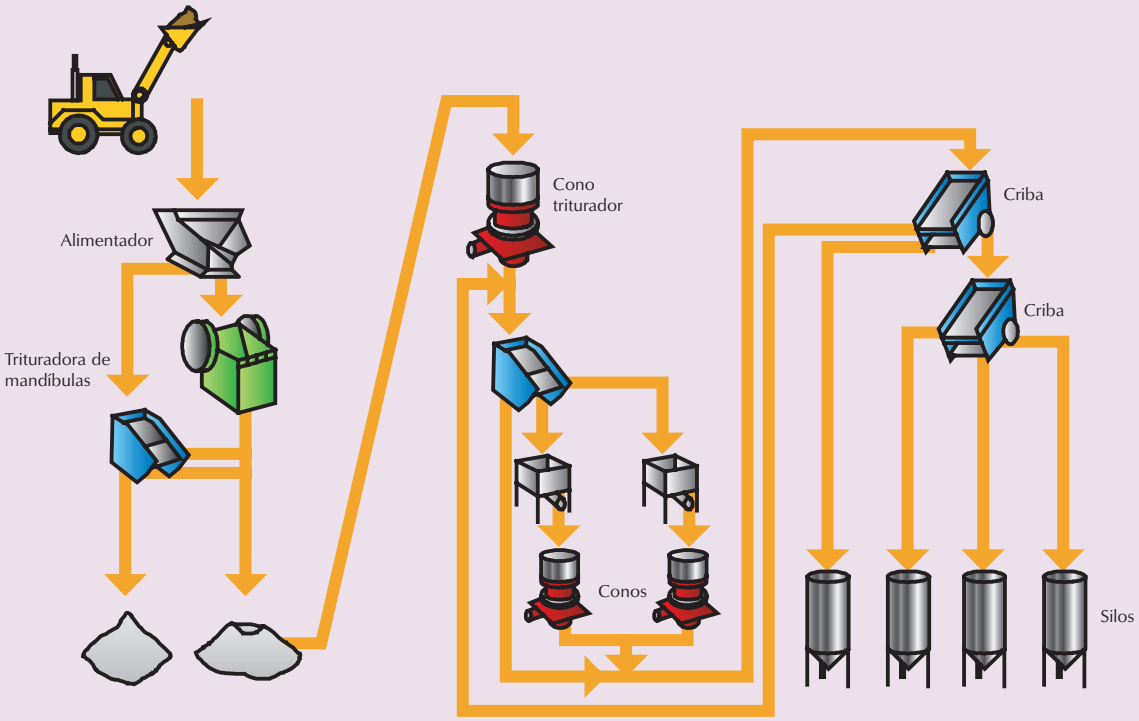


Trituradora de impactos



Trituradora de cono

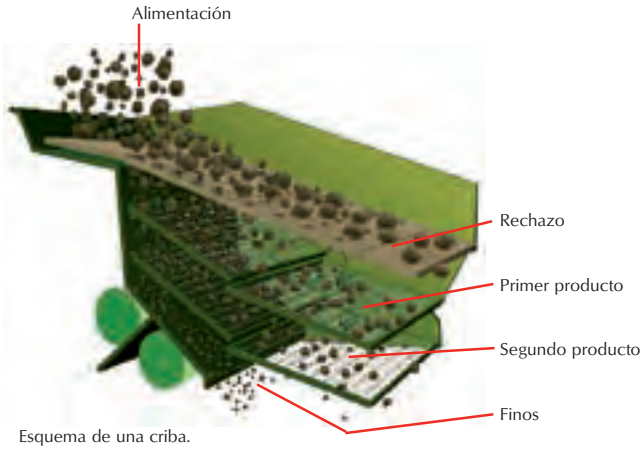
ESQUEMA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE ÁRIDOS



Planta de tratamiento de áridos, con equipos de trituración, molienda y clasificación con criba.

2.3.2. La clasificación

Entre las etapas de trituración, aparecen intercalados los equipos de **clasificación**, las cribas, que permiten seleccionar el tamaño de las partículas separándolas entre las que pasan y las que no pasan por las mallas. De este modo, se logran áridos de todos los tamaños posibles, en función de la demanda del mercado.



Esquema de una criba.


Mediante los sistemas de criba se seleccionan los diferentes tamaños de los áridos para su posterior comercialización según su uso.

2.3.3. El lavado

Las operaciones de desenlodado y lavado del material se realizan cuando el yacimiento presenta lodos, arcillas u otras sustancias que afecten en la calidad de los áridos, y permiten obtener áridos limpios con el fin de responder a las necesidades de determinadas aplicaciones de la industria, evitando así la alteración de la adherencia con los ligantes (cemento, cal, compuestos bituminosos u otros) permitiendo así proceder a su correcta aplicación.


Los equipos de lavado de áridos son imprescindibles para conseguir la máxima calidad en las aplicaciones de éstos, cuando el tipo de yacimiento lo requiere.

2.3.4. El almacenamiento

En la etapa de almacenamiento, gracias al control del proceso de fabricación, ya se dispone de productos de calidad clasificados según su granulometría, que se almacenan en silos o en apilamientos a la intemperie o cubiertos, llamados acopios.




Los áridos, una vez finalizado el proceso de transformación en la planta, son almacenados en silos o en apilamientos (acopios) antes de su comercialización.

2.3.5. El reciclado de residuos de construcción y demolición

En ciertos casos, puede ser posible la realización de labores de reciclado de residuos de construcción y demolición (RCD) o de vaciados de obras procedentes de la construcción, de la demolición de estructuras y edificaciones o de la obra civil (túneles).

De los RCD mencionados pueden obtenerse áridos reciclados aptos para ser consumidos, siempre y cuando cumplan los requisitos de calidad exigibles para cada una de las diferentes aplicaciones. Para ello, es muy importante que el residuo haya sido seleccionado en origen, de manera que se evite la mezcla de materiales no deseados, que perjudican la calidad del producto final.


Los residuos de construcción y demolición (RCD), tras una selección, pueden ser reciclados para la obtención de nuevos áridos aptos para la construcción.

2.4. MAQUINARIA Y TECNOLOGÍA

El proceso de producción de áridos requiere el empleo de una maquinaria muy robusta, resistente y de grandes dimensiones, para poder manipular los grandes volúmenes de materias primas que demanda la sociedad.
La obtención de áridos con las características de calidad requeridas por el mercado, es posible gracias a que los sistemas de control empleados son cada día más completos y automatizados y permiten, en todo momento, regular la producción.

2.4.1. Equipos de arranque y carga

Las operaciones de arranque y carga se realizan en canteras y graveras, fundamentalmente con equipos móviles como palas cargadoras sobre ruedas, excavadoras (frontales o retros) y *bulldozers*, además de perforadoras y dragalinas.

- La **perforadora** realiza, en las canteras, los barrenos que se rellenan con el explosivo necesario para la voladura.

- La **pala cargadora** es un equipo de carga muy versátil por su gran movilidad y fácil maniobrabilidad, que se utiliza, sobre todo, en el movimiento de tierras, ya sea en la descubierta o en la restauración, en la carga en el frente y en la carga en el parque de áridos de *dumpers*, camiones y tolvas de alimentación.



Pala cargadora en operación de carga del todo-uno en el frente.

- La **excavadora hidráulica** es un equipo de excavación y carga ampliamente utilizado que puede ser de arranque frontal, o retro. Se utiliza en la excavación de tierras, en el arranque de materiales no consolidados y en la carga de materiales en *dumpers*, camiones y tolvas de alimentación.

- La **dragalina** permite extraer el material cuando se encuentra por debajo del nivel del agua. Está formado por un cazo que se encuentra suspendido de una pluma por medio de cables, que permiten lanzarlo vacío y recogerlo con el material escurrido.

- Por último, el ***bulldozer*** o **tractor** se utiliza en el arranque, empuje y apilado del material para su posterior carga y transporte, en el desbroce del terreno y en el empuje y extendido de material de relleno, sin olvidar labores auxiliares como apertura, nivelación y limpieza de pistas.

2.4.2. Equipos de transporte

Las operaciones de transporte en canteras y graveras se realizan con el *dumper* o con el camión.

- El ***dumper***, o **camión volquete** (rígido o articulado), es el principal medio de transporte sobre ruedas dentro de una explotación de áridos y también en la obra pública. Su utilización se centra en el transporte de material cargado en el frente hasta su punto de vertido en tolvas, acopios intermedios o escombreras.

- El otro vehículo de transporte, el **camión**, es similar al *dumper* pero de menores dimensiones y capacidad de carga. Al igual que éste, se emplea en el transporte interno de material cargado en el frente hasta su punto de vertido, ya sean tolvas, acopios intermedios o escombreras, y además en el transporte externo por carretera para distribuir los productos a los usuarios finales.

2.4.3. Equipos de la planta de tratamiento

Entre los equipos fijos de proceso utilizados en una planta de tratamiento de áridos cabe citar las tolvas, los alimentadores, los equipos de trituración y molienda, las cintas transportadoras, las cribas, los silos, los equipos de lavado, los motores y bombas, la instalación eléctrica y los sistemas de control.



Vista general de una planta de tratamiento de áridos en construcción.

2.4.4. Sistemas y equipos para la protección del medio ambiente

La creciente aplicación de los criterios ligados al desarrollo sostenible en las explotaciones permite mirar al futuro, con la confianza de poder afrontar los nuevos retos que demanda la sociedad.

Desde el inicio de la explotación hasta su clausura, las empresas que producen áridos deben aplicar una serie de técnicas para prevenir o minimizar los efectos de la actividad sobre el medio ambiente.

La implantación de estas medidas dependerá de las circunstancias concretas de cada explotación, ya que es difícil hablar de actuaciones universalmente aplicables.

La variedad de equipos y técnicas disponibles es muy amplia por lo que, como ejemplos, pueden citarse:

- Sistemas de control del polvo (aspiración, filtros de mangas, pulverización de agua, etc.).
- Sistemas para la protección frente al ruido (pantallas, carenados, etc.).
- Minimización de residuos, recogiéndolos selectivamente para una correcta gestión.
- Depuración del agua de lavado, por sedimentación de sólidos en balsas o en tanques espesadores, o por filtrado.
- Apantallamiento de la explotación para reducir el impacto visual.

Además, la restauración o recuperación de los terrenos explotados, que es la última fase del proceso productivo, tiene por objetivo reacondicionar los terrenos en conformidad con unas directrices de calidad medioambiental, con el fin de devolver el área a su entorno. La legislación sobre restauración obliga a las empresas a:

- Disponer de un Proyecto de Restauración de los Terrenos aprobado por la autoridad competente.
- Depositar un aval que garantice la realización de ese proyecto.







2.5. LA SEGURIDAD EN LOS PROCESOS

La seguridad en las explotaciones de áridos, considerada desde la fase inicial del proyecto, es una exigencia social y debe ser una muestra del compromiso de las empresas con sus trabajadores. Por esta razón, cada vez son más numerosos los casos de aplicación de buenas prácticas en la prevención de riesgos laborales.

La seguridad, que se basa en la integración de la prevención de riesgos laborales en el seno de la actividad de la empresa, es una de las prioridades del sector de los áridos, cuyo objetivo es "cero accidentes".





En la actualidad, la prevención de riesgos laborales en el sector de los áridos, como en el resto de la minería, es una prioridad.



2.6. EL TRANSPORTE

En España, el transporte externo de los productos a granel se encuentra altamente condicionado por las características de las infraestructuras del país. La práctica inexistencia de redes fluviales navegables y la falta de infraestructuras ferroviarias y portuarias para la carga y descarga de los grandes volúmenes de minerales necesarios, ha originado que cerca del 99 % del transporte se realice por carretera, en el caso de los áridos.

El transporte por carretera es, sin lugar a dudas, la opción más costosa; de manera que por cada 50 km desde el yacimiento de procedencia, el coste de los áridos se duplica, produciéndose a menudo una situación paradójica en la que el coste del transporte supera al coste del material y de su producción.



Ésta es una imagen frecuente en las carreteras de nuestro país. El transporte masivo de áridos por este tipo de vías es debido a las deficientes infraestructuras en otros tipos de transporte alternativos.

3. APLICACIONES Y USOS DE LOS ÁRIDOS. LOS ÁRIDOS EN TU VIDA

Los áridos se emplean en cantidades considerables en todos los ámbitos de la construcción, ya sea en viviendas, obras de infraestructura, vías de comunicación, equipamientos, industria, etc.
Sin embargo, esta materia prima no es nada conocida por el gran público quien, normalmente, utiliza o adquiere los bienes ya terminados donde esta materia prima ya está integrada y no en su estado natural.

3.1. PRODUCTOS Y MATERIALES

3.1.1. El uso de los áridos en la construcción

Las aplicaciones

Los áridos son la primera materia prima consumida por el hombre después del agua. Basta decir que cada persona consume en su vida cerca de 850.000 kg de áridos, más de 10.000 veces su peso, cantidad equivalente a la transportada en 32 camiones bañera.

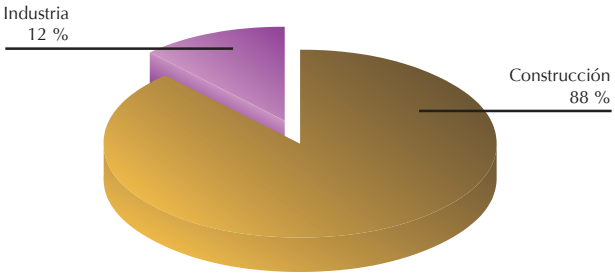
Ya se trate de una autopista, aeropuerto, o vía de ferrocarril, las técnicas constructivas requieren cantidades ingentes de áridos. El balasto para las vías férreas, los cimientos de las edificaciones, las distintas capas, - ligadas o no ligadas -, que forman las carreteras, etc., son esencialmente áridos.



Las principales aplicaciones en construcción son:

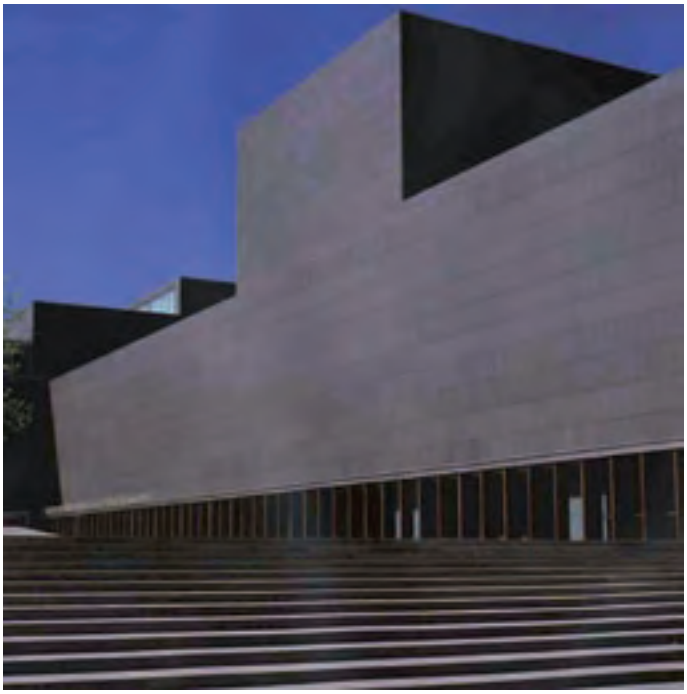
- **Morteros**; empleados para unir ladrillos o revestir paredes. 1 m³ de mortero contiene 1,3 t de áridos.
- **Hormigones**; que pueden ser estructurales (cimientos, vigas y pilares) o en masa (pavimentos, etc.). Para la fabricación de 1 m³ de hormigón son necesarias entre 1,8 y 1,9 t de áridos.
- **Prefabricados**; como ladrillos, bloques, vigas, bordillos, aceras, tuberías, etc.

DISTRIBUCIÓN DE LAS APLICACIONES DE LOS ÁRIDOS





Los prefabricados para pavimentos, es uno de los usos más comunes en los núcleos urbanos.



Palacio de Congresos y Auditorio de Navarra (BALUARTE): © El País

- **Bases**, **subbases** y **aglomerados asfálticos**; que son los elementos que componen las carreteras, autovías, calles, aparcamientos, pistas, etc. Para 1 km de autopista son necesarias unas 30.000 t de áridos.

- **Balasto**; para construcción de vías férreas, y sobre el que se apoyan las traviesas y los raíles. 1 km de vías de ferrocarril requiere unas 10.000 t de áridos.

- **Piedras** y **bloques de escollera** para puertos.

- Y otras aplicaciones como: presas, puentes, aeropuertos, calles, centros comerciales, parques de ocio, viviendas, recintos feriales, edificios singulares, rascacielos, túneles, universidades, etc.

- Una vivienda unifamiliar necesita entre 100 y 400 t de áridos.
- Para un colegio hacen falta entre 2.000 y 4.000 t de áridos.
- La construcción de un estadio de fútbol requiere unas 300.000 t de áridos.









Los asfaltos de las autopistas, las escolleras de los puertos, los pavimentos de las ciudades, el metro y hasta el tren de alta velocidad -AVE-, requieren para su construcción de miles de toneladas de áridos de diferentes propiedades y características en función de su aplicación.

Las principales aplicaciones de los áridos se desglosan en el cuadro adjunto:





Hotel.



Túnel y autopista.



Puente



Puente.



Parque de atracciones.



Universidad.



Edificio



Calles y aceras.



Edificio de comunicaciones.



Paseos y avenidas.



Jardines.



Obra de reparación de una calle.



Centro comercial.



Recinto ferial



Calles, aceras y edificios.

3.1.2. Las aplicaciones industriales

Además de estar presentes en la construcción, los áridos también se encuentran en innumerables elementos de la vida cotidiana. Es sorprendente descubrir cuántos objetos habituales han sido fabricados con áridos y en cuántos procesos industriales se emplean. Asimismo, los áridos tienen diversas aplicaciones para mejorar el medio ambiente: reducción de las emisiones de azufre y de la acidez de los suelos, filtros para la depuración de aguas, etc.

Los áridos destinados a usos industriales requieren unas propiedades muy específicas, como una mayor pureza en cuanto a su composición química, y un tamaño muy pequeño (micronizado), obtenido a través de la molienda fina de los materiales.

- **Fabricación del cemento**. El 80 % del cemento es caliza.
- **Industria de la cerámica y vidrio**. 1 t de vidrio requiere 700 kg de arena de sílice muy pura, 300 kg de dolomía y caliza, y 130 kg de sosa.
- **Fabricación del acero**. La caliza se emplea como fundente.
- **Materiales abrasivos**.
- **Industria papelera**. 1 t de papel contiene unos 300 kg de carga mineral.
- **Industria de los plásticos**.
- **Industrias de pintura y detergentes**. La caliza se emplea como carga en pinturas e incluso como pigmento. En la fabricación de detergentes, interviene la arena silícea.
- **Industria informática**. La arena silícea permite la fabricación de componentes de los ordenadores.
- **Industrias químicas y farmacéuticas**. La caliza finamente molida interviene en la composición de numerosos productos químicos como la pasta de dientes, cosméticos, medicamentos, etc.
- **Tratamiento de aguas**. Filtración de aguas de consumo humano, depuración de aguas residuales y neutralización de aguas ácidas.
- **Producción de energía eléctrica**. Cargas para centrales térmicas, desulfuración de gases y presas para energía hidroeléctrica.
- **Alimentación**. Para fabricar 100 kg de azúcar, son necesarios 20 kg de caliza. También se emplea en el proceso de fabricación del pan, del vino y de la cerveza.
- **Otras aplicaciones industriales**. Usos agrícolas, corrección de suelos, fertilizantes, aditivos para piensos, lechos filtrantes, revestimientos aislantes y refractarios, etc.

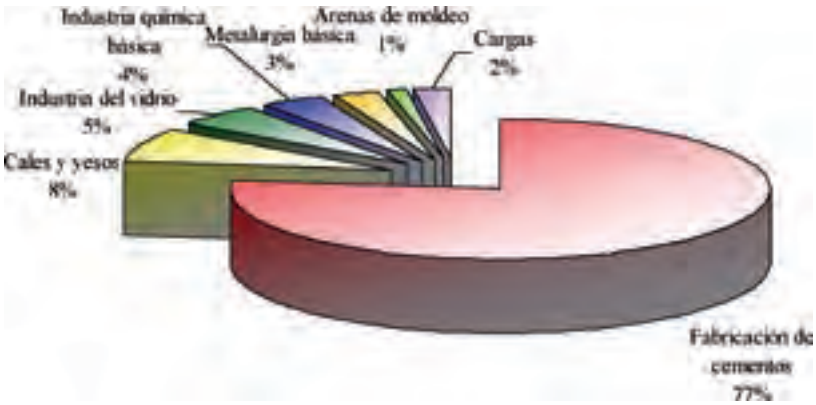
3.2. NUEVAS APLICACIONES

El desarrollo constante de nuevas técnicas constructivas y de productos industriales innovadores abre nuevos campos para los materiales que los constituyen. Con el fin de asegurar una mayor durabilidad y prestaciones de las obras, las exigencias que deben reunir los áridos son cada día mayores.

Un ejemplo de lo anterior es la demanda creciente de áridos ligeros para dotar de esta característica a los hormigones a los que se agregan.

Los avances en la fabricación de materiales constituidos por áridos posibilitan que, cada día, se amplíen los campos de aplicación.

PRINCIPALES APLICACIONES INDUSTRIALES DE LOS ÁRIDOS
(Estadística Minera 2006)





Vidrio.



Acero.



Vidrio.



Papel.



Componentes de ordenador.



Pinturas.



Detergentes.



Objetos de plástico.



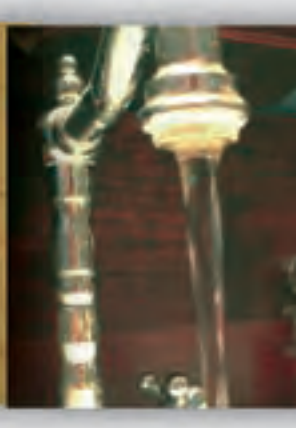
Cosméticos.



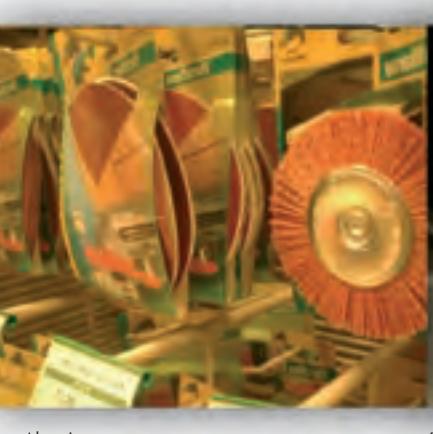
Vino, cerveza y pan.



Medicamentos.



Filtración de aguas.



Abrasivos.



Pasta de dientes.



Electricidad.



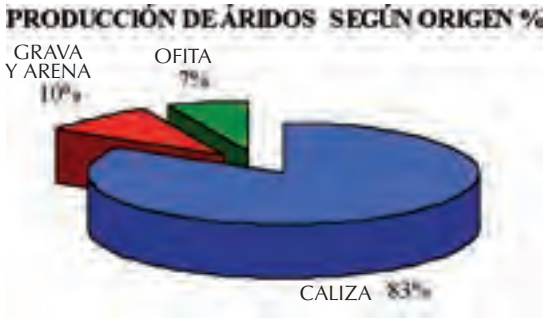
Azúcar.

Fuente de todas las imágenes: ANEFA.

4. LOS ÁRIDOS EN LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA, EN ESPAÑA Y EN EL MUNDO

4.1. LOS ÁRIDOS EN LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA

La industria de los áridos es, actualmente y desde hace años, la más importante dentro de la minería de la C.F. de Navarra, contando con un total de 48 explotaciones activas, de las cuales el 33,3 % extraen calizas, el 56,3 % son de arenas y gravas y el resto materiales ofíticos. En volumen de producción, la extracción de áridos supone algo más del 83 % del total de los recursos minerales la Comunidad, elevándose a alrededor de 12,6 Mt/año.



Las arenas y gravas se extraen en las graveras que se encuentran situadas, principalmente, en los cauces de los ríos Ebro, Ega, Alhama, Arga, Aragón y Cidacos. En el río Ebro se explotan las terrazas de la margen izquierda, ya que la derecha corresponde a la comunidad autónoma de La Rioja.

El tamaño de las explotaciones no es muy grande, aproximadamente, la mitad de ellas producen del orden de las 100.000 t/año.



Los materiales calizos son los más abundantes en los afloramientos en esta comunidad. Las explotaciones se encuentran, sobre todo, en la zona noroccidental, concentrándose en el Macizo de Cinco Villas y en las Sierras de Leyre, Alaiz, Andía, Aralar y Urbasa.

En general, se trata de explotaciones grandes, ya que tres de ellas extraen del orden de 1,8 Mt/año, y otras cuatro tienen producciones entre las 400.000 y las 800.000 t/año.

Dos de las explotaciones de caliza cuentan con un sistema de transporte del material muy innovador, que va implantándose poco a poco en otras zonas. Tradicionalmente el material se volteaba desde el frente de explotación hasta la plaza de cantera, llevándose desde ésta en camiones hasta la planta de tratamiento. El nuevo método presenta dos opciones, cada una instalada en una de las explotaciones citadas:

a) Desde el frente, el material va por un pozo hasta el primario de la planta de tratamiento, y por un túnel, mediante cintas transportadoras al secundario.
b) El primario recibe el material directamente en el frente, bajando a continuación por gravedad, a través del pozo, y a continuación al secundario y al terciario.



En cuanto a las explotaciones de ofita, roca volcánica básica de tono verdoso, son menos numerosas ya que esta roca es menos frecuente y sólo aparece en algunos enclaves del territorio navarro. Se trata de explotaciones de tamaño medio-grande, con producciones entre las 300.000 y las 500.000 t/año.

El empleo directo en las explotaciones de áridos se sitúa en torno a los 240 trabajadores, a los que se debe añadir el empleo indirecto: transportistas, suministradores, etc. Un aspecto importante a tener en cuenta es que Navarra es una comunidad con excedente de producción de áridos. El consumo por habitante es de los más altos de España, pero aún con ese elevado nivel de consumo propio, la producción supera en unos 4 Mt las necesidades propias de abastecimiento, por lo que existe un importante intercambio con las comunidades limítrofes. Especialmente, el suministro de áridos calizos al País Vasco es muy elevado. En cuanto a las arenas y gravas también parte de su producción es destinada, aunque en menor proporción, a La Rioja.

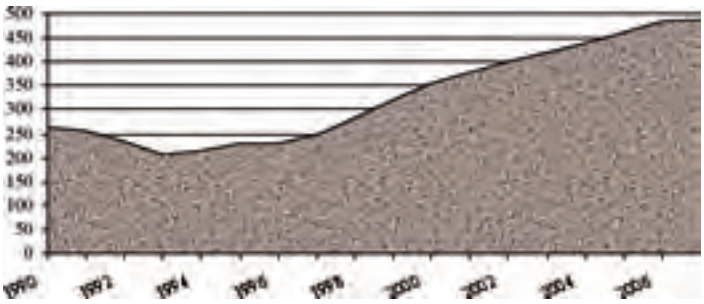
4.1. LOS ÁRIDOS EN ESPAÑA

La producción de áridos en España ocupa puestos muy destacados en aspectos tan importantes como:

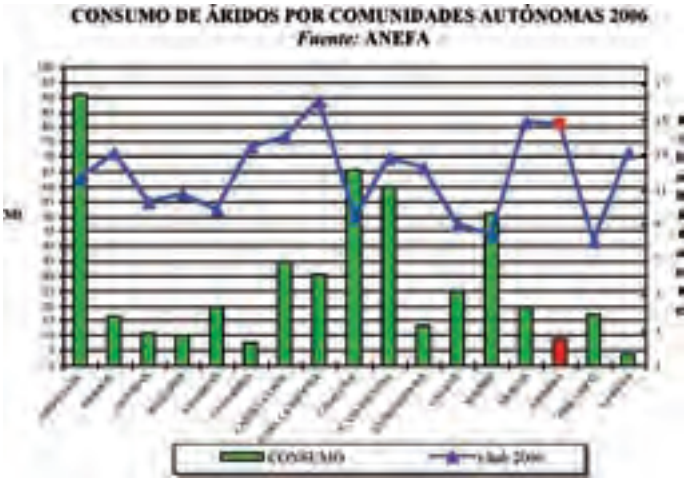
- Toneladas producidas: 485,5 Mt en 2006, destinados a la construcción, a los que se añaden otros 75 Mt para usos industriales. Actualmente, nuestro país es el segundo productor europeo, por detrás de Alemania.
- Volumen de negocio: 3.975 millones de euros, en 2006.
- Explotaciones de áridos: en 2006, han estado activas 1.760 explotaciones de áridos, entre graveras y canteras, lo que supone casi el 42 % del total de las explotaciones mineras españolas.
- Empleo directo: con 13.800 trabajadores directos que representan casi el 37 % del total de la minería del país, el sector de los áridos es ya el primer generador de empleo minero.
- Empleo total: considerando el empleo total generado, cerca de 76.000 trabajadores, en labores relacionadas con la extracción, la producción y el transporte de los materiales hasta el mercado.

El sector es un motor de desarrollo en las áreas escasamente industrializadas donde se encuentran, normalmente las explotaciones.

EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE ÁRIDOS PARA LA CONSTRUCCIÓN 1990-2007



CONSUMO DE ÁRIDOS POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS 2006
Fuente: ANEFA





La explotación de los áridos es un sector con un impulso creciente y con unas buenas espectativas económicas que favorecen entre otros aspectos el empleo y el desarrollo de zonas rurales o poco industrializadas.







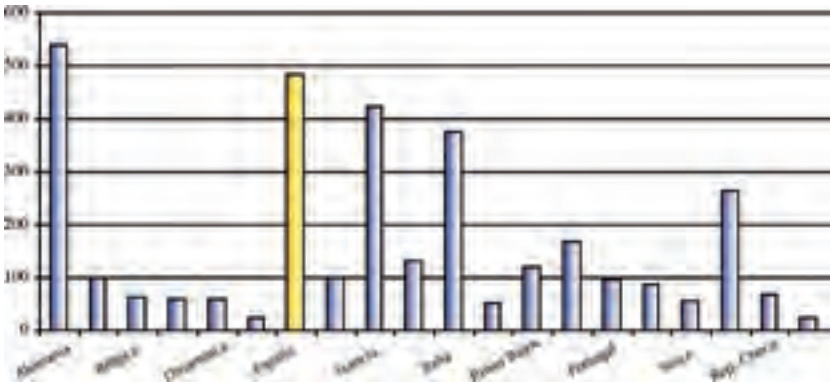
4.3. LOS ÁRIDOS EN EL MUNDO

La industria de los áridos es la más importante dentro de la minería mundial, en cuanto a volumen producido y número de trabajadores y de explotaciones. Es la única minería con presencia en la totalidad de países, exceptuando los de menor superficie como, por ejemplo, San Marino o Mónaco.

En la Unión Europea, actualmente existen más de 32.000 explotaciones de áridos, que produjeron 3.310 Mt en 2006, generando un total de 425.000 empleos.

Actualmente, España ocupa el segundo lugar tras Alemania y por delante de Francia, Italia y Reino Unido, los otros grandes productores.

CONSUMO DE ÁRIDOS EN EUROPA EN EL AÑO 2006 (Mt)



Fuente: ANEFA



España se encuentra en el segundo puesto en el consumo de áridos en Europa.

4.4. INDUSTRIAS DE LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA

Las explotaciones de calizas de Navarra, además de producir áridos para las distintas aplicaciones, fabrican hormigones. Aproximadamente un 70 % de las explotaciones cuenta con una o más plantas de hormigón. Existe, como se verá en el siguiente apartado una cementera, así como varias plantas de fabricación de mortero.

Dos de las explotaciones de caliza destinan el total de su producción a uso industrial, contando con instalaciones de molido y micronizado.

Algunas de las empresas productoras de calizas, como Cementos Portland Valderrivas, S.A. o el Grupo Cetya, S.A., tienen presencia en otros lugares del territorio nacional. Otras empresas únicamente están presentes en esta Comunidad, como por ejemplo: Uncona, S.A., Lázaro Echeverría, S.A., Canteras de Yanci, Canteras Aldoyar, S.A., Caleras de Liskar, S.A., VRESA y Canteras Acha, S.A., Canteras de Alaiz, S.A., Canteras de Oskia, S.A., Hormigones Arkaitza, S.A.

Entre las productoras de arenas y gravas, se pueden citar: Gregorio Martínez, S.A., Dionisio Ruiz, SL., Hormigones Lodosa, S.A., Hormavasa, Áridos Gámen, S.L., Áridos y Excavaciones Vicuña, S.L., VRESA, S.L., Canteras y Áridos del Ega y Hormigones Azagra, Áridos Utiel S.L., Compactaciones y Nivelaciones Pardo, S.L., Construcciones Sobrino S.L., Excavaciones Fermín Oses S.L., Florencio Suescun Construcciones S.L., Hormigones Delfín S.A., Servicios Jorme S.L., Vitin y Pachi S.L., Transportes Richard, S.L.

Entre las productoras de ofita se pueden citar Canteras de Oskia, S.A., Canteras Acha, S.A. y Ofita de Navarra, S.A., contando esta última con una planta de aglomerados asfálticos. Merece la pena destacar el destino de alrededor de 100.000 toneladas anuales de ofita para la fabricación de lana de roca, de mayor valor añadido que los áridos para construcción y obra civil. Parte de la producción de ofita se emplea como balasto para el ferrocarril.

5. EL CEMENTO

El cemento es un material básico en construcción, cuya obtención se basa en la transformación de minerales. El producto final es un sólido granulado de elevada finura de color gris o blanco.

Es un producto clave para el desarrollo de las actividades de construcción por sus propiedades conglomerantes: fragua y endurece cuando se amasa con agua y áridos.

Su fácil moldeabilidad ha hecho que los productos derivados del cemento (hormigón, prefabricados y morteros) se utilicen de forma intensiva y universal en obras de infraestructura y edificación.

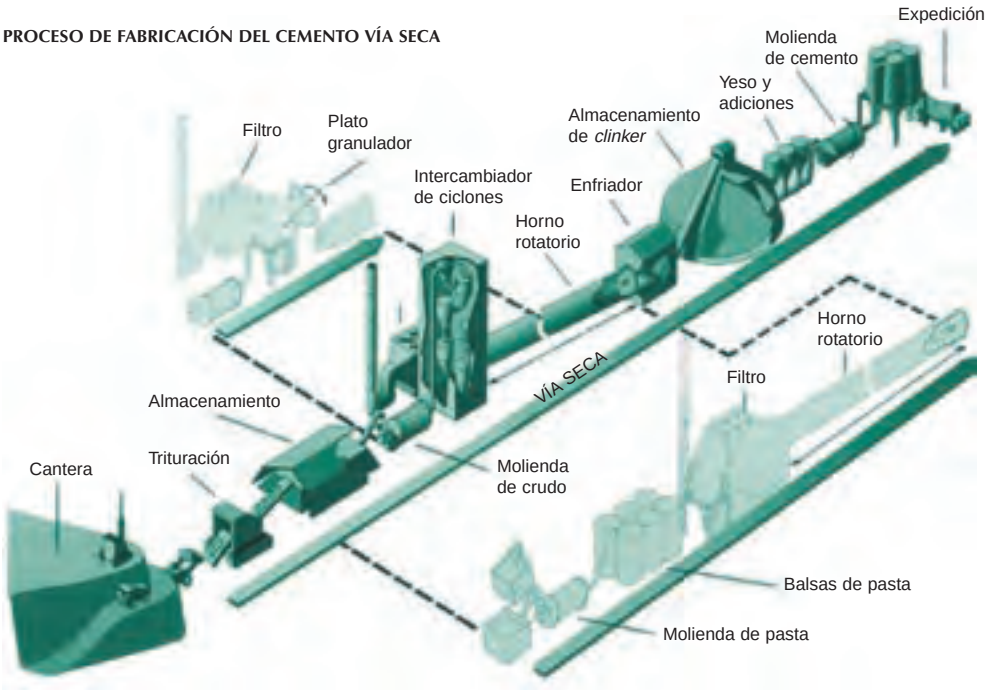


Fábrica de cemento Portland Valderrivas

5.1. FABRICACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN

El proceso de fabricación del cemento consiste en la obtención y la preparación de las materias primas, la cocción de una mezcla convenientemente dosificada de materiales finamente molidos (caliza, marga, arcilla, pizarra, etc.) y el enfriamiento para obtener un producto semielaborado -*clinker*-, y la molienda conjunta de este *clinker* con yeso y con adiciones, como cenizas volantes, escoria granulada de horno alto, caliza, puzolanas naturales o artificiales, para dar lugar al cemento.

PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO VÍA SECA



Como se ha dicho, el proceso de fabricación del cemento comienza con la obtención de las materias primas necesarias para obtener la composición deseada de óxidos metálicos para la producción de *clinker*.

El *clinker* se compone de los siguientes óxidos: óxido de calcio (60-69 %), óxido de silicio (18-24 %), óxido de aluminio (4-8 %) y óxido de hierro (1-8 %).

La obtención de la proporción adecuada de los distintos óxidos se realiza mediante la mezcla dosificada de los minerales de partida: caliza y marga para el aporte de CaO y arcillas y pizarras para el aporte del resto de óxidos.

Normalmente, es necesario ajustar la composición mediante la adición de los materiales denominados "correctores" que, dosificados en cantidades relativamente pequeñas, permiten obtener la relación de óxidos deseada. Estos materiales correctores pueden ser de origen natural (bauxita para el aporte de alúmina, arena para el aporte de sílice) o de origen artificial (arenas de fundición, cenizas de pirita, etc.).

La mayor parte de las materias primas empleadas en la fabricación de cemento son de origen natural y se obtienen de explotaciones mineras, normalmente a cielo abierto.

Los estudios de composición de los materiales en las distintas zonas de cantera y los análisis que se realizan en fábrica, permiten dosificar la mezcla de materias primas para obtener la composición deseada.

Las materias primas son transportadas a la fábrica de cemento, donde se descargan para su almacenamiento.

La prehomogeneización realizada mediante diseños adecuados del apilamiento y la extracción de los materiales en los almacenamientos, reduce la variabilidad natural de los mismos.



Nave cubierta para la preparación del crudo

La molienda de materias primas (molienda en crudo) se efectúa para reducir el tamaño de las partículas de material para que las reacciones químicas de cocción en el horno puedan realizarse de forma adecuada.
Se utilizan equipos mecánicos rotatorios, en los que la mezcla dosificada de materias primas es sometida a impactos de cuerpos metálicos o a fuerzas de compresión elevadas.

El material obtenido debe ser homogeneizado para garantizar la calidad de *clinker* y la correcta operación del horno.

En función de cómo se procesa el material en la molienda y antes de su entrada al horno, se distinguen cuatro tipos de proceso de fabricación de *clinker*: vía seca, vía húmeda, vía semiseca y vía semihúmeda.

Vía seca: la materia prima es introducida en el horno en forma seca, pulverulenta.

El sistema del horno comprende una torre de intercambio de calor en la que se precalienta el material en contacto con los gases provenientes del propio horno.

Para el secado y el movimiento del material en el sistema de molienda de la vía seca, se utilizan normalmente los gases de combustión provenientes del horno.

Vía húmeda: utilizado normalmente para materias primas con algo de contenido en humedad.

El material de alimentación se prepara mediante molienda conjunta del mismo con agua, resultando una pasta con contenido de agua de un 30-40 % que es alimentada por el extremo más elevado del horno *clinker*.

Vía semi-seca y semi-húmeda: el material de alimentación se obtiene añadiendo o eliminando agua respectivamente, al material obtenido en la molienda en crudo.

Se obtiene un material granular conocido como "pellets", con un 15-20 % de humedad, que se deposita sobre parrillas móviles, a través de las cuales se hacen circular los gases calientes provenientes del horno. Cuando el material alcanza la entrada del horno, el agua se ha evaporado y la cocción ha comenzado.



Enfriador de parrilla.

El material procesado en el horno rotatorio alcanza una temperatura en torno a 1450 ºC. Es enfriado bruscamente al abandonar el horno en enfriadores planetarios o de parrillas obteniéndose de esta forma el *clinker*. Para alcanzar la temperatura de cocción se queman en el horno combustibles normalmente sólidos (hulla y coque de petróleo), previamente molidos en instalaciones similares a las utilizadas en la molienda de crudo.



Clinker.

Como se ha comentado en apartados anteriores, el proceso de fabricación de cemento termina con la molienda conjunta de *clinker*, yeso y otros materiales denominados "adiciones".

Los materiales utilizables como "adiciones" para la fabricación de cemento vienen recogidos en unas normas: escorias de horno alto, humo de sílice, puzolanas naturales, cenizas volantes y caliza.

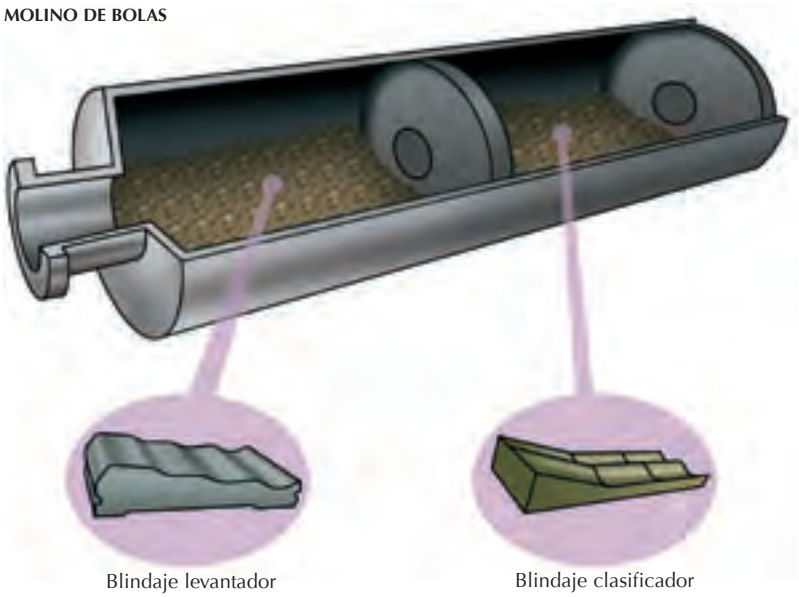
En función de la composición, la resistencia y otras características adicionales, el cemento es clasificado en distintos tipos y clases.

De las cinco adiciones relacionadas, tres provienen de otras actividades industriales: la escoria de la obtención de arrabio para la fabricación de acero, el humo de sílice del procesado de minerales silíceos y ferroaleaciones y las cenizas volantes de la combustión de carbón en instalaciones de generación de energía eléctrica.

Al igual que en el caso de la molienda de crudo, la molienda de cemento se realiza en equipos mecánicos en los que la mezcla de materiales es sometida a impactos de cuerpos metálicos o a fuerzas de compresión elevadas. En la actualidad se utilizan para este propósito los siguientes equipos:

- Prensa de rodillo.
- Molinos verticales de rodillos.
- Molinos de bolas
- Molinos horizontales de rodillos.

MOLINO DE BOLAS



Blindaje levantador

Blindaje clasificador

La fabricación y la comercialización están sujetas a normas estrictas que aseguran la calidad del producto y que permiten que los distintos tipos de cemento fabricados se adecúen a las necesidades específicas de cada aplicación.



5.2. PRODUCCION Y CONSUMO

La primera fábrica de cemento española se instaló en Tudela Veguín (Asturias) en 1898, hace ahora 100 años. En 1901 se fundó la Compañía General de Asfaltos y Portland SA., y alrededor de 1905 se instaló en Navarra la Fábrica de Cementos El Cangrejo, posteriormente Cementos Portland, SA, en la localidad de Olazagutía, donde continúa su actividad.

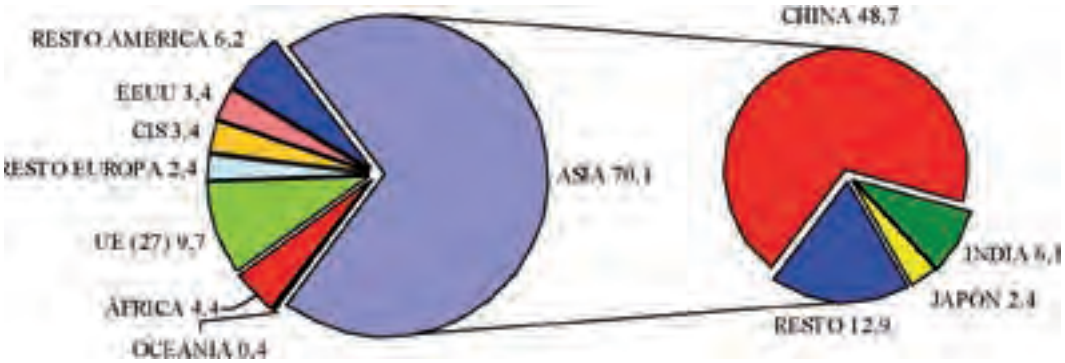
Actualmente, existen 40 fábricas de cemento, distribuidas por prácticamente la totalidad del territorio.

La fabricación de cemento es una actividad industrial básica de gran volumen. La producción mundial, que en 2007 alcanzó los 2.770 Mt, se distribuye, en porcentaje, de la forma indicada en el gráfico.

La producción navarra de cemento viene a representar, aproximadamente, el 2 % del total nacional.

La ya citada planta navarra de cementos, de Cementos Portland Valderrivas, SA, dotada de las más modernas instalaciones, tiene una capacidad de producción anual de 1.100.000 toneladas de clinker, y de 1.300.000 toneladas de cemento, de distintos tipos.

La explotación de margas Eguibil (Cementos Portland Valderrivas, SA.), en la localidad de Olazagutia, destina toda su producción, de alrededor de 1,4 Mt/año, a la fábrica de cemento situada en dicha localidad. Por otra parte, las canteras Aldoyar (Canteras Aldoyar, SA.), Coscobilo (Cementos Portland Valderrivas, SA.) en Olazagutia y Arambeltz (Lázaro Echebarria, SA.), en Ziordia, también destinan buena parte de su producción anual de caliza a dicha fábrica.



CIS: Confederación de Estados Independientes
Fuente: CEMBUREAU

En la Unión Europea (27 países), el cemento se fabrica en más de 300 plantas, con una producción que, en 2007, alcanzó los 270 Mt, apenas un poco superior a la alcanzada en 2006.

Dentro de la Unión Europea, España aporta aproximadamente el 20 % de la producción anual, ocupando el tercer lugar, por detrás de Italia y Alemania.

En la siguiente tabla se muestra la evolución de los principales datos relativos a la producción nacional de cemento, expresados en toneladas, en los últimos años:

AÑO	PRODUCCIÓN DE CEMENTO	EXPORTACIÓN	IMPORTACIÓN	CONSUMO APARENTE	CONSUMO PER CÁPITA kg
2003	44.746.757	1.241.557	2.661.026	46.223.224	1.109
2004	46.595.560	1.522.118	2.570.612	48.003.100	1.124
2005	50.347.073	1.447.079	2.889.127	51.509.637	1.167
2006	54.048.270	1.126.854	3.164.438	55.896.387	1.268
2007p	54.504.607	1.041.648	2.849.001	56.113.841	1.250

Fuente. OFICEMEN; p: provisional

LOS MINERALES INDUSTRIALES

EL RECORRIDO DE LOS MINERALES






MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN
Instituto Geológico y Minero de España

Gobierno de Navarra
Departamento de Innovación, Empresa y Empleo



Gobierno de Navarra
Departamento de Innovación,
Empresa y Empleo

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

Instituto Geológico
y Minero de España

contenido

1. ¿QUÉ SON LOS MINERALES INDUSTRIALES?
   - 1.1. Definición
   - 1.2. Propiedades y características
   - 1.3. Clasificación

2. EL RECORRIDO DE LOS MINERALES INDUSTRIALES
   - 2.1. Un poco de historia
   - 2.2. Obtención
   - 2.3. Procesos de transformación y reciclado de minerales
   - 2.4. Maquinaria y tecnología

3. LAS APLICACIONES DE LOS MINERALES INDUSTRIALES
   - 3.1. Los minerales industriales más significativos en España
   - 3.2. Productos y materiales actuales
   - 3.3. Nuevas aplicaciones de minerales industriales

4. LOS MINERALES INDUSTRIALES EN LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA, EN ESPAÑA Y EN EL MUNDO
   - 4.1. Producción y consumo

AUTOR: **Jose Luis Sastre Pascual**
Ingeniero de Minas
Director de Minas del Grupo Tolsa

TEXTOS COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA: Carmen Marchán (IGME) y Mª del Mar Trapote (CF Navarra)

© DE LA EDICIÓN: Domènech e-learning multimedia, S.A.

DISEÑO Y MAQUETACIÓN: Enrique Domínguez

1. ¿QUÉ SON LOS MINERALES INDUSTRIALES?

La geología de la Península puede ser dividida en los siguientes ámbitos geomorfológicos: el Macizo Ibérico, la Cordillera Ibérica, la Cordillera Pirenaica y la Cordillera Bética. Esta geomorfología es la que contribuye a que actualmente España sea uno de los principales países productores de minerales industriales de la Unión Europea y, en algunos casos, del mundo.

1.1. DEFINICIÓN

Los minerales industriales pueden considerarse todas las rocas y minerales, incluidos los sintéticos, predominantemente no metálicos, que por sus propiedades físicas o químicas, y no por la energía generada o por los metales extraídos, pueden ser utilizados en procesos industriales, de modo general con múltiples funciones, como materia prima, componente especial de una formulación o aditivo, directamente después de ser extraído o después de un tratamiento.

Por tanto, abarcan una serie de sustancias de características muy diferentes y de aplicaciones variadas.

Es un sector en plena expansión, ya que cada vez se van encontrando más aplicaciones para estos minerales. La amplia gama de actividades y el hecho de que se empleen en campos como el de la conservación de la energía, la protección de la salud y del medio ambiente, la alimentación, los nuevos materiales, etc., hace pensar que su consumo seguirá aumentando de forma muy importante.

La minería de las rocas y minerales industriales es la más primitiva en la historia de la Humanidad y, además, la de mayor futuro.

Desde las hachas de sílex hasta los revestimientos cerámicos de las naves espaciales han pasado más de 400.000 años y durante todo este tiempo el hombre ha venido utilizando las rocas y minerales industriales.

Constantemente, y sin darnos cuenta, estamos rodeados de artilugios elaborados gracias a estos recursos naturales. Por ejemplo, un edificio está construido gracias al cemento, yesos, ladrillos, rocas ornamentales, pinturas, vidrio, tuberías de plástico o fibrocemento, es decir, prácticamente el 95 % de los edificios están construidos con minerales industriales.

Cuando escribimos estamos utilizando lapiceros cuyas minas son de grafito y sobre un papel que, posiblemente, tenga más de un 60 % de caolín y otras cargas minerales.

Incluso cuando comemos, muchas veces sin saberlo, ingerimos minerales industriales que llevan los alimentos como cargas, por ejemplo fosfatos en el foie-gras, y hasta incluso los bebemos: el yeso es utilizado desde muy antiguo para quitar acidez al vino, o la attapulgita y la sepiolita para decolorarlo; incluso la turba se utiliza en la fabricación del whisky. Pero también para endulzarnos la vida la caliza, que entra en los procesos de elaboración del azúcar, o para curarnos con medicamentos, como las sales de magnesio, para lavar la ropa el sulfato sódico de los detergentes en polvo, o para embellecernos con productos cosméticos, el talco, el sulfato sódico, las arcillas, etc.



Los transbordadores espaciales se construyen con recubrimientos cerámicos.

Es decir, los minerales industriales están presentes de forma constante en nuestras vidas.

Otra circunstancia interesante que se produce en este sector es el desplazamiento que está provocando en elaborados metálicos, es decir, hace unos años las tuberías de los desagües de las casas eran de plomo o cobre, actualmente son de plástico, que lleva entre un 40 a un 80 % de cargas minerales (caolín, carbonatos, trona), los rodamientos de acero, actualmente ya se fabrican cerámicos, o las válvulas de los automóviles, que igualmente están siendo sustituidas por las cerámicas, o los aceites lubrificantes que actualmente son sintéticos de grafito, otras aplicaciones más sofisticadas y nuevas son los cuarzos piezoeléctricos, los fotovoltaicos, medidores de tiempo, y todo el campo de los semiconductores que trabajan sobre cristales crecidos de forma artificial o natural.

En resumen, los minerales y las rocas industriales están desplazando lentamente a los elaborados a partir de elementos metálicos y esto es así porque los costes de producción son mucho más baratos y dan un mejor servicio.

Además, existen productos sintéticos provenientes de minerales o rocas que, por sí mismos, carecen de interés económico, pero que, mezclados y procesados de una manera conveniente, llegan a producir minerales industriales de iguales o mejores propiedades que el propio mineral natural. Algunos ejemplos de este tipo son:

Carburo de silicio: hecho a partir de cuarzo y coque de petróleo.

Sulfato sódico: como subproducto de determinados procesos metalúrgicos.

Carbonato sódico: sal + carbonato cálcico + carbón + amoníaco.


Talco.

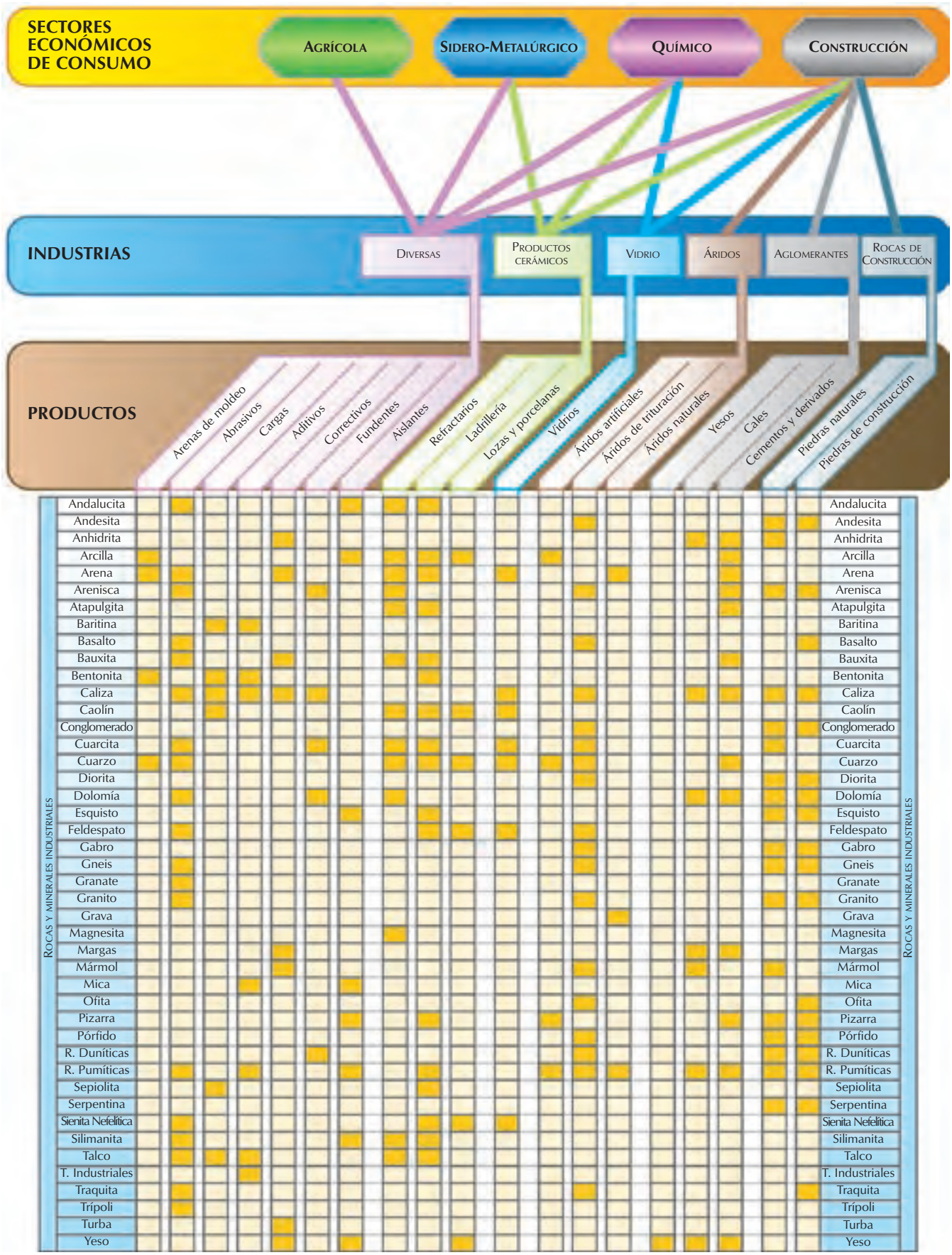

Sepiolita.


Grafito (carbón activo).


Caolín.


Sulfato sódico.


Hidróxido de hierro.


SECTORES ECONÓMICOS DE CONSUMO
Agrícola
Sidero-Metalúrgico
Químico
Construcción
INDUSTRIAS
Diversas
Productos cerámicos
Vidrio
Áridos
Aglomerantes
Rocas de Construcción
PRODUCTOS
Arenas de moldeo
Abrasivos
Cargas
Aditivos
Correctivos
Fundentes
Aislantes
Refractarios
Ladrillería
Lozas y porcelanas
Vidrios
Áridos artificiales
Áridos de trituración
Áridos naturales
Yesos
Cales
Cementos y derivados
Piedras naturales
Piedras de construcción
Rocas y minerales industriales
Andalucita
Andesita
Anhidrita
Arcilla
Arena
Arenisca
Atapulgita
Baritina
Basalto
Bauxita
Bentonita
Caliza
Caolín
Conglomerado
Cuarcita
Cuarzo
Diorita
Dolomía
Esquisto
Feldespato
Gabro
Gneis
Granate
Granito
Grava
Magnesita
Margas
Mármol
Mica
Ofita
Pizarra
Pórfido
R. Duníticas
R. Pumíticas
Sepiolita
Serpentina
Sienita Nefelítica
Silimanita
Talco
T. Industriales
Traquita
Trípoli
Turba
Yeso

1.2. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS

La gran variedad de minerales industriales existente en el mercado hace que sus propiedades y características sean, asimismo, muy variadas.

Aunque las propiedades de los minerales industriales son intrínsecas, antes del tratamiento, en la mayoría de los casos estos minerales son utilizados aprovechando las propiedades que les aporta el citado proceso de transformación.

Por ejemplo, la sepiolita, mineral que en la Tierra se presenta saturado de agua y muy blando (valor 3 en la escala de Mohs), una vez tratado adquiere una capacidad absorbente y una dureza muy elevadas.

Por lo tanto, vamos a considerar las propiedades y características de los minerales industriales según su utilización.

ENTRE LAS PROPIEDADES PODEMOS DESTACAR:

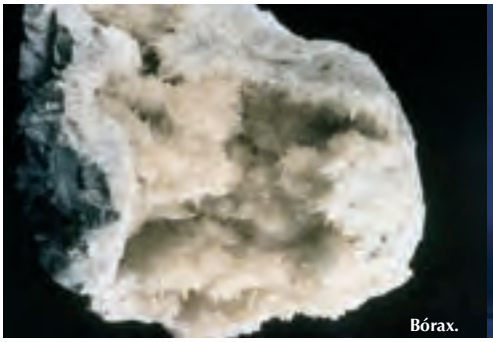
- Absorbentes: arcillas, caolines y diatomitas.
- Refractarias: aumentan el punto de fusión, de productos que tengan como componentes magnesita y arcillas refractarias.
- Tixotrópicas: caolines, arcillas especiales y talco.
- Soporte inerte de productos: sulfato sódico y bentonitas.
- Ópticas: sílice, wollastonita y circonio.
- Fundentes: feldespatos, boratos y litio.
- Blancura: titanio, caolines y carbonatos cálcicos.
- Dureza: cuarzo, diamantes e ilmenitas.
- Colorantes: óxidos de hierro, óxidos de titanio y cobre.
- Abrasivas: diamantes, corindón y cuarzo.
- Cerámicas: caolines, arcillas y circonio.
- Farmacéuticas: litio, magnesio, caolines y arcillas.
- Eléctricas (conductores, aislantes): cuarzo, micas, etc.
- Agrícolas y alimenticias: fosfatos, nitratos y turba.
- Mecánicas (dureza y tenacidad): diamantes y corindón.

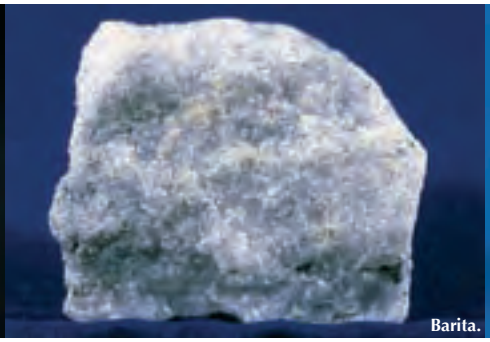
LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE ESTOS MINERALES SON:

- Sólidos.
- Se pueden dar solos o asociados.
- Inertes.
- En general, necesitan tratamientos, no complicados, para su utilización.
- En general, son abundantes en la naturaleza, aunque algunos (sepiolita, zeolita, etc.) sólo se dan en condiciones muy especiales y, por lo tanto, son escasos.

Los minerales industriales no se distinguen en su utilización, por sus propiedades químicas, pues, en general son elementos inertes. Sin embargo, en ocasiones se pueden provocar reacciones químicas, bajo determinadas condiciones, sobre materias primas que hacen variar las características iniciales de sus componentes.

Un ejemplo de ello es el mencionado anteriormente, en el que una reacción entre sal, carbonato cálcico, carbón y amoníaco da lugar a un producto, carbonato sódico; o diferentes transformaciones que se realizan en determinadas arcillas que cambian totalmente sus características y propiedades.


Bórax.


Barita.


Bau

1.3. CLASIFICACIÓN

La forma más común de analizar el negocio de los minerales y las rocas industriales es dividirlos en grupos con usos finales similares. Así existe la tendencia de dividirlos en dos grupos básicos: minerales químicos y minerales físicos. Como se ve a continuación, ni siquiera esta división es real y existen numerosas excepciones.

Los **minerales químicos** son utilizados principalmente como fuente de algún elemento químico específico. Se venden basándose en su "contenido". Generalmente hablando, estos productos reaccionan químicamente durante el proceso de utilización y no aparecen en el material vendible en su forma original. Así, la composición química es determinante, quedando para un segundo lugar sus propiedades físicas o mineralógicas. Estos minerales van destinados fundamentalmente a las industrias químicas, de fertilizantes, cerámica y metalúrgica.

La *industria química* es un importante consumidor de minerales tales como: boratos, bromatos, caliza, cromita, fluorita, ilmenita y rutilo, minerales de litio, fosfatos, azufre en todas sus formas, sulfato sódico, yeso, etc.

La *industria de los fertilizantes* consume grandes cantidades de fosfatos, potasas, azufre, caliza, dolomía, turba, yeso, etc.

La *industria cerámica* necesita toneladas de una amplia variedad de minerales para producir: abrasivos, vidrio, refractarios, porcelana cerámica, ladrillos, etc. Los materiales más importantes utilizados son: arcillas, bauxita, boratos, cromita, dolomía, feldespatos, caolines, andalucitas, caliza, talco, magnesita, sílice, wollastonita y otros.

Finalmente, la *industria metalúrgica* consume importantes cantidades de materiales fundentes. Así, por ejemplo: criolita, fluorita, dolomía, etc., son ampliamente utilizados dentro de este sector.

Los **minerales físicos** son aquellos que no requieren de un proceso industrial sofisticado para su utilización y, en consecuencia, estos productos se venden por las prestaciones que los mismos aportan a cada uso específico. Así, por ejemplo, estos materiales pueden ser comercializados y distribuidos basándose en factores tales como: blancura, propiedades reológicas, tamaño máximo de partículas, curva de distribución de partículas y otras propiedades físicas, como resistencia, dureza, etc. En general, para estos productos existe un gran número de compradores pero ninguno adquiere grandes cantidades y raramente existe una producción cautiva.

Desde el punto de vista práctico, los minerales físicos se dividen en siete clases, cada una con una diferente utilización: minerales estructurales; materiales para carga, pigmento y extendedores; abrasivos; materiales para fundición; minerales para la industria eléctrica; materiales auxiliares en los procesos como filtros, catalizadores, etc.

Minerales estructurales son aquellos usados principalmente por la industria de la construcción. En este grupo se incluyen: yeso, caliza, margas, áridos ligeros, arena y grava, perlita, puzolanas, áridos de machaqueo, vermiculita, etc.

Los *materiales para carga, pigmentos y extendedores*, son el segundo grupo más importante, abastece a industrias tales como pintura, papel, plásticos y caucho. Suelen ser consumidos en función de propiedades tales como: blancura, dispersión -en agua o en aceite-, tamaño, forma y distribución de las partículas. Los principales minerales de este grupo son: calizas y calcitas, caolines, talcos, óxidos de hierro, baritas, dolomías y muchísimos otros.

Los *abrasivos* cada día son más sustituidos por productos sintéticos, pero todavía tiene importancia la demanda de granates, esmeriles, trípoli y piedra pómez.

Los *materiales para fundición* son aquellos usados en la fabricación de los moldes y los machos. Aquí se consumen: arena silícea, bentonita, cromita, andalucita, olivino, circón, etc.

Las micas, las pizarras, etc., son utilizadas por la *industria eléctrica* y las diatomitas, baritas, bentonitas, albiolitas, etc., se utilizan como auxiliares en numerosos procesos.

En otro nivel se situarían las rocas industriales (granitos, pizarras y mármoles), que están formadas por asociación de diversos minerales y que serán tratadas en la unidad temática "La piedra natural", su principal uso.

2. EL RECORRIDO DE LOS MINERALES INDUSTRIALES

2.1. UN POCO DE HISTORIA

Históricamente, los asentamientos humanos más primitivos y numerosos se concentraban sobre todo en los deltas de los ríos, por la fertilidad de la tierra, pesca, etc.

En esas zonas, la carencia de rocas consolidadas y la abundancia de arcillas de arrastre posibilitó que la primera industria humana fuera la cerámica, para la construcción de viviendas y la fabricación de utensilios.

Por otro lado, existen documentos que demuestran que los egipcios utilizaban la sepiolita para momificar a sus difuntos.

A su vez, se dispone de datos que demuestran la utilización de las arcillas en medicina: Tierra de Lemnos, a la que se atribuía una fuerza extraordinaria; asimismo, el árabe Avicena, el anatomista griego Galeno, y el historiador Plinio mencionaban las arcillas en sus escritos. Varios siglos antes de nuestra era, los chinos utilizaron también arcillas para la decoloración de aceites.

La utilización de los minerales industriales era muy rudimentaria; apenas sufrían transformación para su uso y los que se dedicaban a su fabricación eran puramente artesanales. Sus usos eran muy restringidos y locales. Se utilizaban, por ejemplo, yesos molidos para enlucir paredes de edificios; arcillas para blanqueo de superficies; elementos artesanales hechos de piedra o roca para la construcción y en carreteras, etc.

Los primeros usos más elaborados de minerales industriales aparecieron con la fabricación de arcilla cocida, para ladrillería y cerámica, que posteriormente se perfeccionaría con la aparición de la industria de la cerámica.

Con la entrada del siglo XX y la Revolución Industrial se fueron desarrollando nuevos usos de los minerales industriales, siendo utilizados como cargas en pinturas y detergentes, materiales de construcción más refinados (tabiques y placas de yeso) absorbentes y decolorantes (sepiolita y bentonita) y filtración (carbón activo y zeolita).

En los últimos 40 años se ha experimentado el mayor desarrollo en las aplicaciones de estos minerales, mediante nuevas técnicas de producción y modificación, con la introducción en la industria química y electrónica, como sustitutivo de metales, etc., siendo utilizados en la actualidad en sectores de alta importancia como tratamiento de cáncer, odontología, automoción y arenonáutica, placas solares, etc., y que irá aumentando en el futuro.

2.2. OBTENCIÓN

La explotación de minerales está regulada por la Ley de Minas y otras leyes medioambientales que la complementan.

Los derechos mineros que regulan las actividades de los minerales son: permisos de investigación, autorizaciones y concesiones de explotación.

Los permisos de investigación dan derecho a realizar labores de investigación, y las autorizaciones y las concesiones de explotación dan derecho a la explotación de los minerales descubiertos.

2.2.1. Exploración e investigación

Los trabajos de exploración e investigación se realizan para determinar las reservas y las características de los minerales contenidos en los yacimientos. En la unidad temática sobre "Orígenes y desarrollo de la minería", se exponen los diferentes tipos de trabajos de investigación que se suelen realizar.

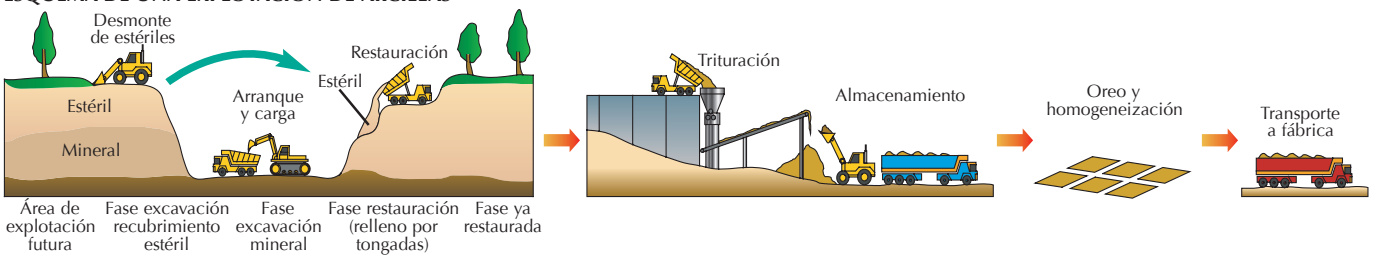


Sonda para investigación.

2.2.2. Explotación

La explotación de los minerales industriales se realiza con dos sistemas: minería a cielo abierto o minería subterránea. En epígrafes posteriores, se describen las principales técnicas de extracción de los minerales industriales.

ESQUEMA DE UNA EXPLOTACIÓN DE ARCILLAS



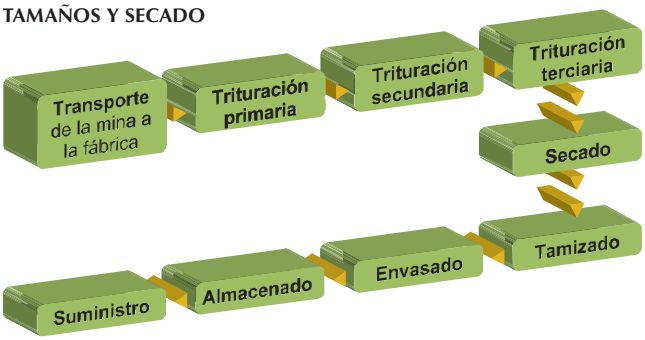
2.3. PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN Y RECICLADO DE MINERALES

Los procesos de transformación de los minerales son aquellos que permiten preparar la materia prima extraída en la explotación y obtener el producto final.

En los minerales industriales, los procesos se adaptan a la aplicación final del producto, y, por ello, son muy numerosos los procesos de transformación; incluso, para un mismo mineral, se pueden dar varios procesos diferentes adaptados a su uso final.

En ocasiones, los procesos son muy complejos y dan lugar a productos de gran valor, pero, en general, suelen ser combinaciones de procesos muy simples.

PROCESO BÁSICO DE PRODUCCIÓN MEDIANTE REDUCCIÓN DE TAMAÑOS Y SECADO



Las operaciones más importantes del tratamiento de minerales industriales son:

- Trituración y molienda, para la reducción de tamaños.
- Clasificación por tamaños.
  - Cribado.
  - Ciclonado.
  - Hidrociclonado.
  - Separación mecánica.
- Concentración del mineral.
  - Gravimétrica.
  - Electrostática.
  - Magnética.
- Filtración.
- Secado de los productos vendibles.
- Operaciones auxiliares.
  - Alimentación.
  - Transporte.
  - Bombeo.
  - Tratamiento de residuos.



Molino de bolas.

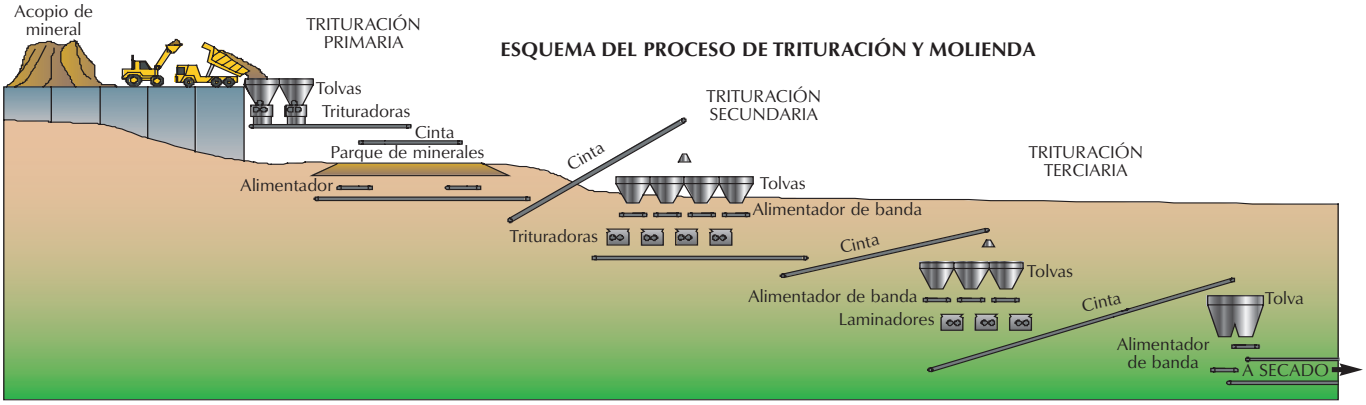


Horno directo.



Calcinador indirecto.

ESQUEMA DEL PROCESO DE TRITURACIÓN Y MOLIENDA





Sistemas de placas de yeso laminadas.





Separación magnética.

Para permitir el funcionamiento coordinado de los procesos anteriores, se necesitan una serie de operaciones auxiliares, que sirven de complemento al proceso.

Para determinados minerales industriales existen procesos especiales que dan lugar a productos de mayor valor añadido. Entre los más significativos podemos señalar:

- Procesos de activación y aditivado.
- Laminación.
- Envasado/paletizado.

Como generalmente los procesos de minerales industriales no alteran la naturaleza química de las materias primas, en muchos casos es posible reciclarlos para el mismo uso u otros distintos.

Antiguamente, no era práctica habitual tratar los residuos, pero la necesidad de, por una parte, adaptarse a los requerimientos medioambientales de la sociedad eliminando en lo posible estos residuos y, por otra, el aprovechamiento integral de los minerales ha dado lugar a varios procesos de reciclado de minerales, que irán aumentando en el futuro.

Los procesos de reciclado de residuos pueden ser de dos tipos:

- **Procesos físicos**: molienda, clasificación, secado y separaciones magnéticas y eléctricas.
- **Procesos químicos**: eliminación por medio de reacciones químicas de elementos nocivos para su reutilización y fabricación, mediante adición de reactivos de nuevos productos procedentes de residuos mineros.

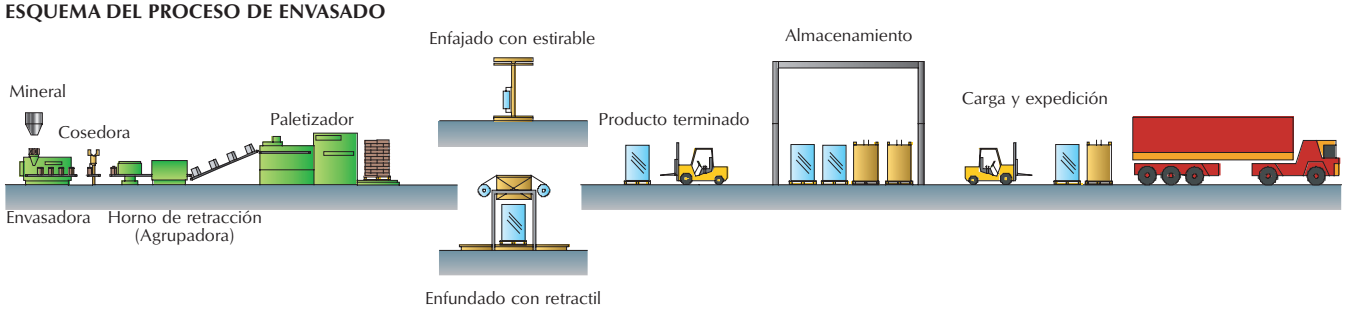
Algunos ejemplos de los primeros son:

- Fabricación de placas y baldosas a partir de residuos sólidos, procedentes de explotaciones de carbonatos y materiales silíceos.
- Fabricación de productos micronizados a partir de residuos (sólidos o lodos) de producción de mármoles.
- Recuperación de balsas de lodos en procesos de arcillas para su reutilización.
- Fabricación de áridos para construcción a partir de residuos urbanos de construcción.

Ejemplos de los segundos son:

- Fabricación de sulfato sódico como residuo del proceso de fabricación de papel por procesos de desulfuración.
- Utilización de los residuos de carbón para fabricación de ácidos húmicos que son empleados en agricultura.

ESQUEMA DEL PROCESO DE ENVASADO



2.4. MAQUINARIA Y TECNOLOGÍA

Se describen a continuación los tipos de maquinaria utilizados en los diferentes tipos de minería y procesos de transformación.

Minería a cielo abierto

- **Arranque**
  Esta maquinaria se utiliza para el arranque del estéril o el mineral y su preparación para la carga posterior.
  - *Bulldozer* o tractor de orugas.
  - Perforadoras (para voladuras y arranque con explosivos).

- **Carga**
  Consiste en la carga de estéril o mineral en los camiones o vehículos apropiados para el transporte.
  - Excavadoras sobre orugas.
  - Palas de ruedas.

- **Transporte**
  Se utiliza para llevar el mineral hasta la planta de tratamiento y los estériles hasta las escombreras para su posterior restauración.
  - *Dumpers* o volquetes de mina.
  - Camiones convencionales.
  - Cintas transportadoras.

- **Restauración**
  Contempla las acciones complementarias para restaurar el terreno explotado, una vez relleno.
  - Tractores de orugas para remodelado de las escombreras.
  - Mototraillas.
  - Compactadores.
  - Tractores agrícolas.

- **Operaciones auxiliares**
  Son las necesarias para realizar las labores de explotación de la mejor manera posible.

- **Nivelado y mantenimiento de pistas**
  - Niveladoras y camiones de riego de las pistas para evitar el polvo.

- **Desagüe**
  - Bombas hidráulicas para evacuar el agua de lluvia acumulada o la filtrada desde los acuíferos.



Carro de perforación.



Tractor de orugas.



Excavadora hidráulica sobre orugas.



Excavadora cargando un *dumper* en una explotación a cielo abierto.



Dumper descargando estériles en el hueco explotado.



Los tractores agrícolas también son imprescindibles en la restauración minera después de la explotación y relleno del terreno.

Minería subterránea

- **Perforadoras:** utilizadas para la preparación de las voladuras de arranque con explosivos.
- **Equipos de arranque:** se utilizan para la excavación del mineral:
  - Rozadoras: materiales blandos y semiduros.
  - Minadores continuos: para galerías y cámaras.
- **Transporte:** se emplean para la evacuación de los minerales desde las minas hasta las plantas de tratamiento:
  - Camiones de bajo perfil.
  - Palas del tipo LHD (*Load, Haul and Dump*).
  - Cintas transportadoras.

Tecnologías especiales

- **Disolución:** proceso de disolución del mineral con o sin reactivos en condiciones determinadas de presión y temperatura.
- **Evaporación:** proceso de exposición al sol de disoluciones y precipitación del mineral por el efecto solar.
- **Explotación por chorro de agua:** proceso de extracción de materiales blandos (caolín) mediante chorro de agua a presión, arrastre del mineral y posterior concentración del mismo.
- **Elementos de transporte:** *panzers* o transportadores de racletas, cintas transportadoras, *dumpers* o volquetes mineros, etc.



Rozadora en tajo largo utilizada en la minería subterránea para el arranque de rocas blandas y semiduras.

Los minadores se emplean para la excavación de túneles o avance de galerías y frentes de explotación en forma de grandes cámaras.





Existen diferentes elementos de transporte tanto en la minería a cielo abierto, como en la subterránea.

Tratamiento del mineral

- **Trituración y molienda**
  Operación de reducción de tamaño del mineral hasta alcanzar las granulometrías adecuadas.

  - **Trituración primaria**
    - Machacadoras de mandíbulas y de rodillos.

  - **Trituración secundaria y terciaria**
    - Trituradora de conos: molienda por presión de conos o cilindros sobre el mineral.
    - Trituradora de martillos: impacto de martillos giratorios sobre el mineral.
    - Molino de bolas: fricción de bolas contra el mineral en tambor giratorio.
    - Molino autógeno: el mineral se muele por fricción del propio mineral.

  - **Moliendas especiales o micronizado**
    Moliendas en húmedo, para reducción de tamaños hasta 1 µm (una milésima de milímetro).

- **Clasificación**
  - Clasificación mecánica
    - Cribas rotativas.
    - Cribas de vaivén.
    - Cribas electromagnéticas.

  - Clasificación neumática
    - Separadores neumáticos.
    - Ciclones clasificadores.

  - Clasificación electromagnética
    - Separadores eléctricos.
    - Separadores magnéticos.

  - Clasificación en húmedo
    - Hidrociclones.
    - Tanques clasificadores.

- **Concentración**
  - Celdas electrostáticas: separación por potenciales eléctricos.
  - Celdas de flotación: separación por propiedades superficiales.
  - Concentradores magnéticos: separación por propiedades magnéticas.
  - Espesadores: separación sólido/líquido.

- **Filtración**
  - Filtros de mangas: separación aire/sólido.
  - Filtros prensa: separación líquido/sólido.

- **Secado**
  - Secaderos rotativos.
  - Secaderos estáticos.
  - Secaderos de lecho fluidizado.

- **Equipos auxiliares**
  - Alimentadores de banda y vibratorios.
  - Cintas transportadoras.
  - Transportadores neumáticos e hidráulicos.
  - Bombas hidráulicas.
  - Silos de almacenamiento, tolvas y depósitos.
  - Depuradores.

- **Procesos especiales**
  - Trenes de laminación.
  - Envasadoras.
  - Paletizadores.



Molino de martilos para triruración primaria.



Molino de bolas.



Hidrociclón.



Filtro prensa.

3. LAS APLICACIONES DE LOS MINERALES INDUSTRIALES

Un claro ejemplo de la importancia de los minerales industriales en la vida cotidiana es el análisis de los que intervienen en la composición de una cocina. Los minerales industriales son muy importantes en la vida cotidiana, y se puede decir, sin exageración, que "el mundo está hecho de ellos".

MINERALES QUE INTERVIENEN EN UNA COCINA	
Mineral	**Aplicación**
Arena sílice, carbonato cálcico y carbonato sódico	Vasos, tazas
Caolín, feldespato, talco y wollastonia	Platos, cerámica
TiO_2, caolín, sepiolita, talco, etc.	Pintura
Talco, CCC y $Mg(OH)_2$ (antiignición)	Electrodomésticos (carcasa)
Boratos y cromita (tratamientos especiales)	Parquet
Zeolitas y linos (tratamiento para el agua)	Agua
Zeolita y perlita (filtración)	Vino y cerveza
Sal	Sal
Caliza en el proceso	Azúcar

MINERALES QUE INTERVIENEN EN UNA COCINA	
Mineral	**Aplicación**
Sulfato sódico, carbonato sódico, fosfatos y sepiolita	Detergentes
Mármol y granito	Paredes/estantes
Caolín, talco, GCC y TiO_2	Libro de cocina
Boratos y petalita	Vidrios refractarios
Aisladores de magnesita fundida	Horno
Yeso y retardantes de llama	Paredes, morteros
Fundentes y refractarios en fabricación	Sartenes
Sepiolita y bentonita	Cama de gatos
	Y varios más

Son muchos los sectores económicos en los que los podemos encontrar y pueden dar lugar a aplicaciones muy diferentes.

3.1. LOS MINERALES INDUSTRIALES MÁS SIGNIFICATIVOS EN ESPAÑA

A continuación se mencionan algunos de los principales minerales industriales producidos en España y las aplicaciones más relevantes.

• **Potasas**

Los principales yacimientos están localizados en Cataluña y en Navarra, dentro de la depresión del Ebro.
El uso principal de las potasas es en la industria fertilizante.

• **Sulfato sódico**

El sulfato sódico natural se produce a partir de dos especies de minerales: glauberita y thernardita. Los yacimientos corresponden a depósitos salinos asociados a cuencas evaporíticas, existiendo explotaciones en Burgos, Madrid y Toledo.

Su uso principal es el de cargas de detergentes. También se utiliza en el proceso de fabricación del papel, en la industria del vidrio y en otros usos minoritarios como son la industria cerámica, tintes y en medicina y veterinaria.

• **Arcillas especiales**

España cuenta con yacimientos de interés mundial. Mineralógicamente los dos grupos principales son:

- Grupo de las bentonitas - esmectitas.
- Grupo de la sepiolita - atttapulgita.

Bentonitas

Es una arcilla constituida por minerales del grupo de las esmectitas, esencialmente montmorillonita. Las que se extraen en España, sobre todo en Almería, y en menor medida en Madrid y en Toledo, son de tipo cálcico, lo que exige un tratamiento de activación para transformarlas en sódicas. También mediante la activación con ácido sulfúrico se consigue una tierra decolorante de excelente calidad.

Las aplicaciones son muy variadas: lodos de sondeos, arcillas de moldes en fundición, pelletización de hierro, ingeniería civil, fabricación de cementos especiales, decolorantes, papel de copia sin carbón, absorbentes, intercambiadores tónicos, plastisoles, poliésteres, pinturas de base orgánica, cosmética, etc.

• **Sepiolita**

Es un silicato magnésico hidratado incluido dentro del grupo de los filosilicatos. Posee una estructura especial que la confiere propiedades absorbentes y reológicas.

Los yacimientos más importantes se encuentran en la Cuenca del Tajo, en Madrid.

Las aplicaciones más importantes, por sus propiedades, son:

- Absorción y adsorción: granulas absorbentes (cama para los gatos y otros animales domésticos), producto desodorante, agente decolorante, filtro de cigarrillos, soporte de catalizadores, soporte de fitosanitarios, carga en caucho, etc.

- Propiedades reológicas: pinturas, plastisoles, recubrimientos asfálticos, espesante de grasas, suspensiones fertilizantes, lodos de sondeos, fibrocementos.

• **Attapulgita**

Es un silicato hidratado de magnesio y aluminio.

Se extrae en Segovia y en Cáceres.

Se utiliza como absorbente de aceites y grasas minerales, soporte de insecticidas y pesticidas y para la fabricación de lodos de sondeos.

• **Caolín**

Los principales centros de producción se encuentran en la Cordillera Ibérica, Galicia y Asturias.

El caolín es uno de los minerales industriales con más aplicaciones. Se utiliza en: papel, cerámica, refractarios, plásticos, pinturas, cementos, vidrios, siderurgia, química, fertilizantes, etc.



Papel.

• **Fluorita**

Los principales yacimientos se encuentran en Asturias.

Sus usos son: industria química básica, metalurgia y siderurgia.

• **Feldespatos**

Los feldespatos son los minerales más abundantes en la corteza terrestre y hasta ahora se recuperan fundamentalmente de tres tipos de yacimientos: pegmatitas y aplitas, rocas ígneas y arenas feldespáticas.

Sus usos fundamentales son la fabricación de pastas cerámicas y la fabricación de vidrio.



Volante y salpicadero de un coche.

• **Talco**

El talco aparece asociado a las rocas ultrabásicas o a calizas dolomíticas metamorfizadas. Existen explotaciones en León y en Málaga.

Los usos mayoritarios del talco son la fabricación de cerámica, pinturas, papel, plásticos, caucho, etc., y en menor proporción la industria farmacéutica y la fabricación de cosméticos.

• **Estroncio**

Se extrae del mineral llamado celestina, que se encuentra intercalado en una formación de limos, arcillas y yesos en los yacimientos de Granada.

El uso fundamental, que en los últimos años ha sido la fabricación de tubos de televisión en color, se está reduciendo con la fabricación de pantallas planas.

Otras aplicaciones son la producción electrolítica de cinc, la fabricación de bengalas y pirotecnia, pigmentos y pintura.



Televisor en color.

• **Diatomitas**

Las diatomitas que se extraen en Albacete se encuentran intercaladas en margas y calizas marinas.

Su aplicación principal es en la fabricación de filtros, para lo que se somete el mineral a una molienda, calcinación y sinterización, con el fin de mejorar la velocidad de filtración.

• **Yeso**

Los depósitos de yesos más importantes se encuentran en Almería, Zaragoza, Madrid y Castellón.

El destino de la producción es para fabricación de yesos y escayolas y fabricación de cementos.

• **Dolomía**

La producción principal se extrae de Málaga y Granada. Sus principales aplicaciones son como fundente, cargas en general, para la fabricación de productos refractarios y corrector en agricultura.

• **Carbonato cálcico**

El carbonato cálcico es muy abundante en España, extrayéndose fundamentalmente en Cataluña, en Zaragoza y en Sevilla.

Aunque se viene usando desde el antiguo Egipto como material de construcción, es a partir de épocas recientes cuando se utiliza como ingrediente importante en la fabricación de papel, plásticos, pinturas, caucho, vidrio, detergentes, etc. El precio es mayor cuanto más blanco y fino es el producto.

• **Cuarzo**

El cuarzo procedente de formaciones detríticas va destinado al sector de la construcción, el del vidrio, la cerámica y la siderurgia.

El cuarzo filoniano, que se extrae fundamentalmente de los yacimientos del Noroeste de España, se destina a la fabricación de ferrosilicio y siliciometal.

• **Arcillas cerámicas**

Además de todas las arcillas que se extraen para la fabricación de ladrillos, tejas, etc., hay algunas de características especiales que se utilizan para la fabricación de pavimentos, revestimientos, cerámica sanitaria, loza, etc. Se producen mayoritariamente en Valencia y en Teruel.

A estos tipos pertenecen las denominadas arcillas siliciosas y arcillas caoliníferas (*Ball clay*) y su uso se ha incrementado en los últimos tiempos al verse necesitada la importante industria cerámica española de materiales cada vez mejores.



Piscina.

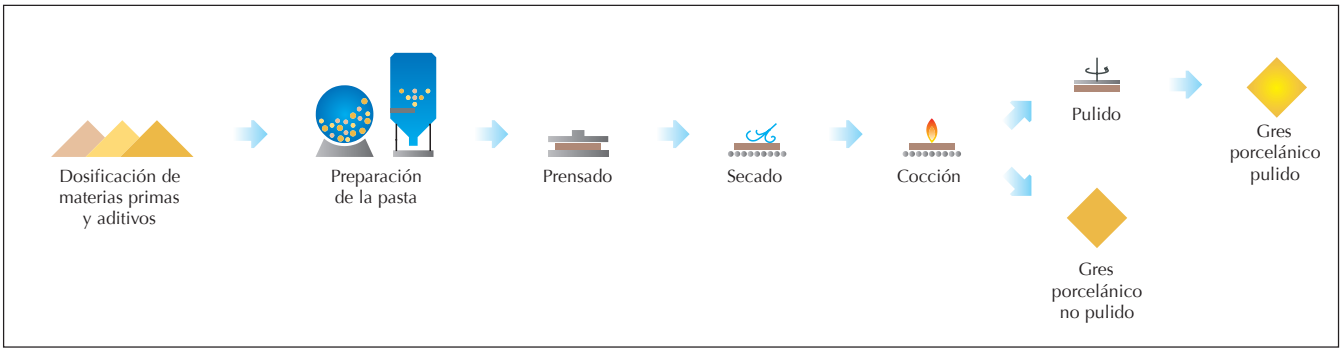


Paneles fotovoltaicos.



Revestimiento de baldosas de gres en un cuarto de baño.

ESQUEMA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE GRES PORCELÁNICO



La calidad de los productos cerámicos depende de la relación de materiales plásticos (minerales arcillosos principalmente) a materiales desgrasantes (cuarzo, feldespato, chamota, etc.) y del proceso de cocción que le confíen al producto acabado las características deseadas (resistencia mecánica, porosidad, etc.).



Baldosas de gres.

- **Magnesita**

La producción de magnesita se obtiene solamente en dos explotaciones, en Navarra y en Lugo.

Los compuestos de magnesio se emplean en agricultura y ganadería, en tratamiento de suelos y otras aplicaciones ambientales y, para refractarios destinados a la industria siderúrgica.

3.2. PRODUCTOS Y MATERIALES ACTUALES

Las aplicaciones de los minerales industriales son pues muy variadas, y se pueden distinguir diversas formas de uso:

- **Como materia prima:**
  - Áridos para construcción.
  - Cerámica - arcilla.
  - Cemento: cal y yeso.
  - Cama de gatos: sepiolita, attapulgita y bentonita.

- **Como parte integrante en procesos de varios minerales:**
  - Sepiolita en construcción.
  - Sulfato sódico en detergentes.
  - Carbonatos y talco en pinturas.

- **Como aditivo minoritario para mejora de características de un producto:**
  - Alimentación animal: sepiolita y magnesio.
  - Cosméticos: talco y attapulgita.
  - Industria dental: carbonato cálcico y litio.



Aplicaciones de yesos y otros minerales industriales en techos y paramentos.

Las aplicaciones de los minerales industriales se han ido creando por los propios productores, con un esfuerzo de sus departamentos de investigación y marketing con el fin de combatir el hecho, muy conocido, de que sin aplicaciones el mineral no se vende y por consiguiente el mineral es una curiosidad geológica o de museo.

Son diversos los minerales industriales que se aplican a cada sector de utilización y numerosos los sectores a los que se puede aplicar cada mineral. Con más claridad, vamos a definir las aplicaciones por sectores de utilización.

De esta forma, tendríamos:
- Industria farmacéutica y medicina.
- Industria cerámica y del vidrio.
- Salud e higiene.
- Industria educacional.
- Industria automoción y transporte.



Uso de productos cerámicos tradicionales.

INDUSTRIA FARMACÉUTICA Y MEDICINA

Mineral	Aplicación
Bario	Rayos X
Bentonita	Perfumería - jabones - antiácido
Boratos	Utilizado en tratamiento de células cancerígenas
Carbonato cálcico	Diluyente en tabletas y preparaciones dentales
Yeso	Soporte inactivo de cápsulas, desecante y cementos dentales
Feldespato	Reparación de huecos de implantes biocerámicos
Caolín	Diluyente (necesaria muy alta calidad)
Magnesita	Antiácido - diluyente, laxante
Arcillas plásticas	Componente de guantes de plástico
Attapulgita-sepiolita	Antiácido, retardante de absorción y antidiarreico
Talco	Agente lubricante en tabletas, polvo y reforzante en envoltorios farmacéuticos
Litio	Tratamiento de psicosis
Estroncio	Pantallas - Rayos X
Potasio	Jabones - Medicina
Sílice	Componente de vidrio óptico para microscopios

INDUSTRIA CERÁMICA Y DEL VIDRIO

Mineral	Aplicación
Boratos	Mejora de resistencia
Dolomita	Blancura
Feldespato	Mejora de resistencia
Celestita	Conductividad
Caolín	Blancura
Carbonato cálcico	Blancura y carrier
Sienita	Fundente
Petalita	Mejora de resistencia
Arcilla plástica	Plasticidad y manejabilidad
Cuarzos	Propiedades ópticas
Arena silícica	Propiedades ópticas
Tierras raras	Aditivos
Spodumena	Mejora de resistencia
Talco	Ductibilidad

SALUD E HIGIENE

Mineral	Aplicación
Bentonita	Suavizante de toallas desmaquilladoras
Boratos	Propiedades de limpieza en jabones
Carbonato cálcico	Purificación de agua y pasta de dientes
Feldespato	Blanqueo de vasijas cerámicas
Caolín	Revestimiento de sanitarios y baños
Arcillas plásticas	Sanitarios
Sílice	Vidrio para espejos
Talco	Mejora de suavidad en cosméticos
Sepiolita	Elemento absorbente en pañales, filtro de cigarrillos, etc.

INDUSTRIA EDUCACIONAL

Mineral	Aplicación
Bentonita	Propiedades aglomerantes en papel copiativo
Carbonato cálcico	Mejora de propiedades de impresión
Boratos	Mejora de la dureza en probetas de laboratorio
Feldespato	Fabricación de bombillas para lámparas de estudio
Caolín	Fabricación de tizas para pizarras
Arcillas plásticas	Utilizadas en arcillas de modelado
Sílice	Fabricación de equipos electrónicos e informáticos (TV, ordenadores, etc.)
Talco	Aumento de la rigidez de los envases de plástico
Grafito	Fabricación de lápices

INDUSTRIA AUTOMOCIÓN Y TRANSPORTE

Mineral	Aplicación
Bentonita	Fabricación de motores de fundición
Boratos	Interruptores de seguridad para inflado airbag
Carbonato	Componente de pinturas no tóxicas
Titanio	Componentes de colorante de pinturas
Feldespato	Fabricación de cristales de seguridad
Caolín	Moldeo de fibra de vidrio
Arcillas	Endurecimiento de manguitos en automoción
Sílice	Limpieza de gases de escape
Sepiolita	Fabricación de neumáticos, componente de pinturas plásticas

3.3. NUEVAS APLICACIONES DE MINERALES INDUSTRIALES

¿Cuál será el futuro de los minerales industriales?

Los productores siguen realizando esfuerzos en:

- La búsqueda de las mejores técnicas disponibles;
- La mejora de procesos, disminuyendo:
  - Consumo de materias primas.
  - Impacto ambiental.
  - Producción de residuos.
- La investigación de nuevas aplicaciones y usos.
- La utilización de subproductos derivados de procesos industriales, que hasta la fecha, eran considerados como residuos.

Considerando todos estos hechos y, especialmente, la investigación, se han obtenido nuevas aplicaciones para los minerales industriales o mejoras de las aplicaciones actuales. De las que producen mejoras cabe destacar:

- **Plásticos:** mejora de la conductividad, resistencia mecánica y térmica, durabilidad, consiguiendo sustituir los plásticos al hierro y al acero.
- **Medio Ambiente:** cada vez son más utilizados los minerales industriales (arcillas, diatomitas y turbas) para la mejora del sellado de suelos y retención de metales pesados en la depuración de las aguas.
- **Construcción:** mejora de la manejabilidad, propiedades aislantes, elementos de decoración activos, etc.

Entre las nuevas aplicaciones de los minerales industriales, podemos destacar, como más importantes, dos grupos:

- **Nanominerales**
- **Paneles y células energéticas**

Nanominerales

La nanotecnología consiste en la utilización de minerales molidos a un tamaño nanométrico (inferior a 0,001 µm).

Esta molienda permite obtener una mejora sustancial de las características y propiedades de estos minerales tales como:

- Incremento de la superficie activa.
- Incremento de la dureza.
- Mayor ductilidad.
- Mejora de propiedades antidesgaste y antierosión.
- Mejora de propiedades anticorrosión.
- Mejora de actividad química.

Estas aplicaciones nos permitirán, como ejemplos más claros dentro de la vida cotidiana:

- DVDs con capacidad para más de 250 películas.
- Obtener energía infrarroja de la luz.
- Destrucción de bacterias.
- Coches que no se ensucian.

Los principales minerales utilizados son:

- Talco.
- Dióxido de titanio.
- Carbonato cálcico.
- Carbón.
- Sílice, etc.

Los principales productos utilizados en la actualidad:

- **Nanocompuestos:** unión de polímeros orgánicos con nanominerales.
- **Nanocristales:** utilizados en óptica y electrónica.
- **Nanotubos:** hojas tubulares de grafito extra-fuertes.

Las aplicaciones más importantes de estos nuevos productos son:

NANOMINERALES
Aplicaciones
• Conservación de la madera: óxido cinc - cobre.
• Antisuciedad en productos marinos: antioxidantes - antilixiviación - antimicrobianos.
• Termoplásticos: antimicrobianos de larga duración a altas temperaturas.
• Recubrimientos permanentes: antimicrobianos y resistentes.
• Mejora medioambiental en catálisis: sustitución de metales preciosos en tubos de escape.
• Protección en Rayos U.V.: limitan efectos negativos de los rayos U.V.
• Automoción: limpieza de cristales y elementos de interior.
• Recubrimientos metálicos continuos/polímeros conductores: utilizan sepiolita, para soporte partículas metálicas.
• Paneles y células energéticas: utilizan boro, circonio, grafito a tamaño nanométrico.
• Gran futuro: energía portátil: teléfono - pilas - ordenadores.

Paneles y células energéticas

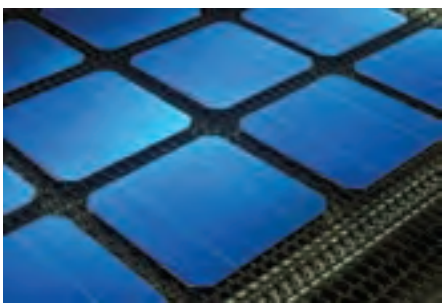
Elementos que aprovechan las propiedades fotoeléctricas para producción de energía eléctrica a partir de las radiaciones solares.



Empleo de materiales avanzados en el sector aeronáutico.



Investigación de materiales cerámicos avanzados.



Panel fotovoltaico para la producción de energía eléctrica.

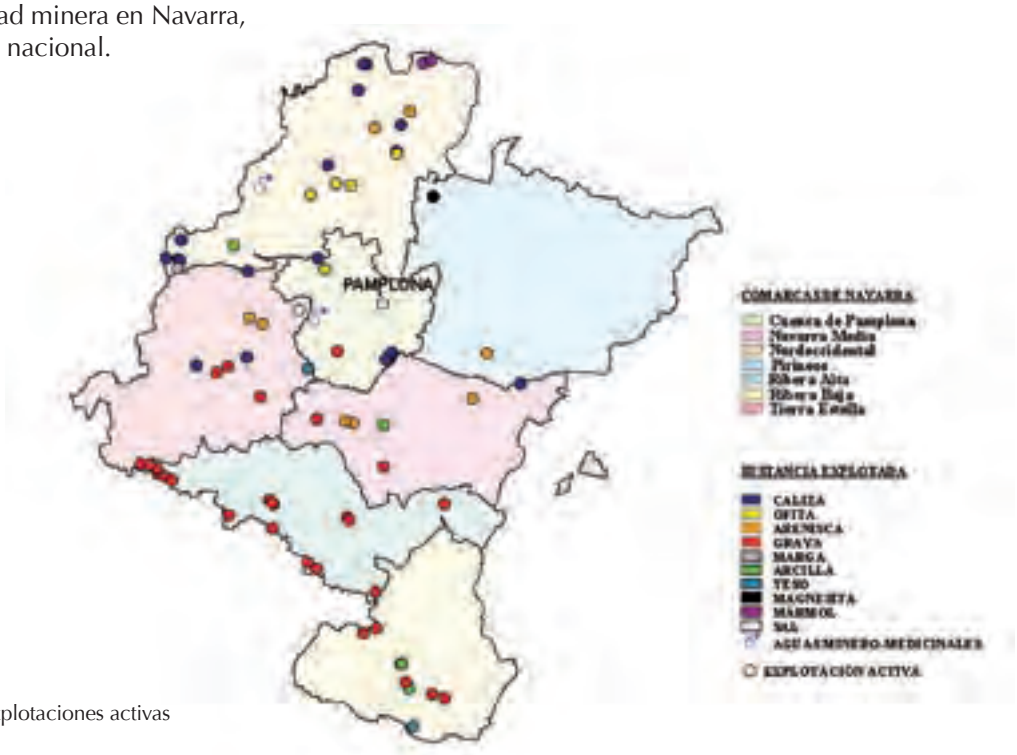
4. LOS MINERALES INDUSTRIALES EN LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA, EN ESPAÑA Y EN EL MUNDO

En este capítulo, se van a analizar los principales datos de producción y consumo de minerales industriales, tanto a nivel de Comunidad como en el resto del mundo.

En él, se demuestra la evolución positiva de estos minerales a lo largo del tiempo, y que se completa con unas expectativas de crecimiento y creación de nuevas aplicaciones que aumentan aún más la importancia de éstos en la vida social.

4.1. PRODUCCIÓN Y CONSUMO

En la actualidad, los minerales industriales representan casi la totalidad de la actividad minera en Navarra, como ocurre también a nivel nacional.



Mapa de situación de explotaciones activas

Navarra es la mayor productora de magnesita, carbonato magnésico, en España, donde sólo existe otra explotación, en Lugo. El total de la producción sitúa a España en el tercer lugar de la Unión Europea.

La producción de magnesita de Navarra ha venido suponiendo entre el 80 y el 90% del total de la producción nacional.

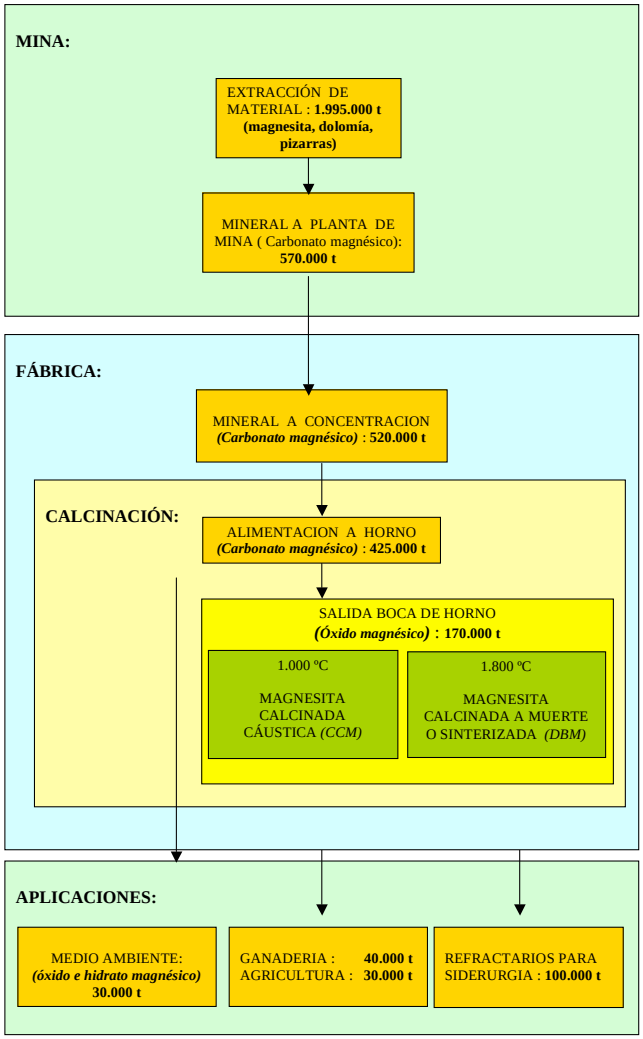
Las primeras investigaciones sobre yacimientos de magnesitas se iniciaron en Navarra en los años 40. El yacimiento de Euguí se comenzó a explotar en 1948 por la empresa Magnesitas de Navarra, SA., que continúa actualmente la extracción del mineral en dicho yacimiento, en el coto minero El Quinto.



Mina de Eugui. Frente de explotación. Cabalgamiento talud Este

A comienzos de los años 50 se instaló la fábrica para el tratamiento del mineral en Zubiri, donde se calcina la magnesita que se extrae en la mina para obtener óxido magnésico, ya sea como magnesita calcinada cáustica (CCM) o como magnesita sinterizada a muerte (DBM) que constituyen el producto final vendible para las distintas aplicaciones.

La empresa pertenece en un 99,7% a MAGNA INVERSIONES, formado por el Grupo francés ROULLIER y el griego GRECIAN MAGNESITE; el resto hasta el 100% corresponde a empresarios navarros.



El esquema anterior muestra, de forma simplificada, el proceso que sufre la magnesita, desde la extracción en la mina, pasando por un primer tratamiento, también a pie de mina, para obtener magnesita cruda. Posteriormente, ya en fábrica, se concentra el mineral y se calcina para obtener los productos finales, magnesita calcinada cáustica y magnesita sinterizada, ya comercializables para las aplicaciones deseadas.



Mina de Eugui. Frente de explotación

Otro mineral con gran tradición en la minería navarra es la sal común. La explotación de sal de Salinas de Oro ya producía en el siglo XIX, cuando existían numerosas salinas (sal manantial) repartidas por todo el territorio (Aguilar de Codes, Cendea de Cizur, Javier, Lerín, Mendavia, etc.) y ha continuado a lo largo de todo el siglo XX, aunque siempre con producciones no muy elevadas. La sal se obtiene por evaporación natural, recogiéndose la correspondiente "cosecha".

Por otra parte, como resultado de la que fue la gran minería navarra del siglo XX, la de extracción de potasas en la mina de Nuestra Señora del Perdón, queda la actual obtención de la sal gema acumulada en la escombrera de Beriaín, ubicada en las proximidades de Pamplona.

La extracción de potasas finalizó en 1997, y ya desde 1988 se obtenía simultáneamente sal gema. En la actualidad, la sal gema de la escombrera sigue abasteciendo la fábrica que produce sal con uso en alimentación humana, animal, producción de detergentes para lavavajillas, etc. La producción anual se sitúa en torno a las 100.000 toneladas. Existe, además, otra escombrera de sal gema, que podría comenzar a explotarse en breve.



Rozadora de muro. Beriaín. Sal gema

Sin embargo, son las calizas las rocas que generan el mayor volumen de producción, con unos 10 millones de toneladas anuales. También aportan un considerable volumen las arenas y gravas, las margas y las ofitas. La mayor parte de la producción de estas sustancias tiene como destino el mercado de áridos para la construcción, si bien alrededor del 20% del total tiene uso industrial: cementos, lana de roca, micronizados, etc.

En los anteriores capítulos se han detallado las peculiaridades de las producciones destinadas a áridos y cemento, respectivamente.

En la actualidad, son dos las canteras que destinan su producción de caliza a usos industriales, como carga para pinturas, detergentes, etc., las denominadas "Túnel de Lizarrraga" (Lizarraga) y "Orobiaga"(Eratsun). Ambas cuentan, además de con planta de machaqueo y clasificación, con molinos de micronizado.

Entre las explotaciones de ofita, la cantera "Lete" destina buena parte de su producción a la industria química y fabricación de lana de roca para sustratos (ROCKWOL PENINSULAR, S.A., en Caparroso).

PRODUCCIÓN DE MINERALES INDUSTRIALES EN LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA (t)

Recurso	Producción	2004	2005	2006	2007 e
Arcilla	Vendible	176.224	410.940	295.000	264.168
	Bruta	id	sd	sd	id
Arena y grava	Vendible	1.566.157	1.557.976	1.458.749	1.500.000
	Bruta	id	id	id	id
Caliza	Vendible	10.451.376	10.625.432	9.715.456	10.261.280
	Bruta	id	id	id	id
Magnesita	Vendible	386.504	398.329	360.646	380.150
	Bruta	1.708.529	2.300.550	1.616.052	1.675.810
Marga	Vendible	1.254.000	1.075.245	1.278.835	1.200.000
	Bruta	id	id	id	id
Ofita	Vendible	457.230	488.650	459.350	460.000
	Bruta	814.300	1.197.000	1.062.200	1.100.000
Sal común	Vendible	112.741	106.108	107.220	105.000
	Bruta	id	id	id	id
Yeso	Vendible	171.870	183.168	228.574	225.754
	Bruta	sd	sd	332.165	328.067

NOTA: id: idem; sd: sin datos

La producción de arcilla común, empleada en la fabricación de diferentes tipos de ladrillos y bloques de termoarcilla con aplicaciones para aislamiento acústico, no arroja cifras muy elevadas, pero sin embargo genera una actividad industrial para la fabricación de los productos citados, que sí tiene relevancia a nivel local, en las zonas donde se encuentran enclavadas las fábricas. Las empresas existentes en la actualidad son Cerámica Añón, S.L., Cerámica Lerga, S.L., Cerámica Utzúbar, S.A. y Tejería Iturralde, S.L., contando cada una de ellas con una explotación de arcilla cercana a fábrica. Cerámica Tudelana, S.A. cuenta con fábrica que se abastece de arcilla de fuera de Navarra.

La explotación del yeso cuenta con tradición en Navarra, ya que hay constancia de pequeñas explotaciones desde los comienzos del siglo XX y siempre asociadas a fábricas de yeso. Las primeras explotaciones se encontraban en Abaigar, Yerri, Cortes, Fitero y Estella. El número de canteras se fue incrementando, llegando a existir más de treinta, a partir de los años 20.

Como peculiaridad, cabe destacar la existencia, en 1923 y años posteriores, de dos explotaciones subterráneas, ambas en Irurita, con pequeñas producciones de yeso de gran calidad y elevado precio.

Actualmente, la producción de yeso se destina a la fabricación de yeso y escayolas, existiendo únicamente dos explotaciones activas, una en la localidad de Mañeru y otra en Ablitas. Ambas abastecen a sus respectivas fábricas.

Además de emplearse en la fabricación de yeso comercializable y del cemento, el yeso también se emplea en la fabricación de escayola, existiendo en Navarra varias empresas dedicadas a ello, en Carcar, Lodosa y Tafalla.

Las principales empresas navarras del sector de yesos y escayolas son: Yesos Ibéricos, S.A. (Grupo Uralita), Hormigones Pamplona, S.A., Eurotabi S.L., Sixto Monreal S.L., Sulfatos La Ribera S.A., Yesapre S.L., Escayolas Indar S.L., Escayolas de Lodosa S.A. y Escayolas Narzábal S.L.

Para dar una idea de la importancia de la minería de estos minerales, en la tabla inferior, se indican los valores de producción de los minerales industriales más importantes en Europa y lo que representa dicha producción a nivel mundial.

PRODUCCIÓN DE MINERALES INDUSTRIALES EN EUROPA, EN 2007 Y CONTRIBUCIÓN AL MERCADO MUNDIAL

Minerales	Mt	%
Áridos	3.310	-
Arcillas especiales *	4,9	25,0
Caolín	6,3	24,9
Feldespato	14,2	63,0
Magnesita	7,5	32,5
Potasa	16,0	47,8
Sal común	60,9	24,6
Talco	1,5	17,6
Yeso	35,1	23,5

*** Bentonita, sepiolita, attapulgita**
Fuente: WORLD Mineral Statistics 2003-2007. British Geological Survey

LA PIEDRA NATURAL

EL RECORRIDO DE LOS MINERALES






MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

Instituto Geológico
y Minero de España

Gobierno de Navarra
Departamento de Innovación,
Empresa y Empleo



Gobierno de Navarra
Departamento de Innovación,
Empresa y Empleo

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

Instituto Geológico
y Minero de España

contenido

1. ¿QUÉ ES LA PIEDRA NATURAL?
   - 1.1. Definición
   - 1.2. Propiedades y características
   - 1.3. Clasificación

2. EL RECORRIDO DE LA PIEDRA NATURAL
   - 2.1. Un poco de historia
   - 2.2. La explotación de la piedra natural
   - 2.3. Procesos de transformación y reciclado
   - 2.4. Maquinaria y tecnología

3. APLICACIONES Y USOS DE LA PIEDRA NATURAL
   - 3.1. Productos y materiales
   - 3.2. Nuevas aplicaciones

4. LA PIEDRA NATURAL EN LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA, EN ESPAÑA Y EN EL MUNDO
   - 4.1. Producción y consumo

AUTOR: **Fernando López González-Mesones**
Doctor Ingeniero de Minas
Profesor Titular de la E.T.S.I. de Minas de la U.P.M.

TEXTOS COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA: Carmen Marchán (IGME) y Mª del Mar Trapote (CF Navarra)

© DE LA EDICIÓN: Domènech e-learning multimedia, S.A.

DISEÑO Y MAQUETACIÓN: Enrique Domínguez

1. ¿QUÉ ES LA PIEDRA NATURAL?

La piedra natural ha acompañado al hombre a lo largo de toda la historia, en sus manifestaciones sociales y culturales. El mayor legado recibido de nuestros antepasados se debe a la utilización que hicieron de esta piedra con la que nos transmitieron casi todo lo que hoy sabemos de su forma de vida.



Cubierta de pizarra en cúpula.

Archivo de Navarra





Espectacular fachada barroca en granito. Catedral de Santiago.
Fuente: (Cortesía CZFV)



Patio de los Leones en mármol de Macael.

1.1. DEFINICIÓN

Bajo la denominación de piedra natural, se incluyen aquellos productos de naturaleza pétrea utilizados tradicionalmente por el hombre en la industria de la construcción. Las aplicaciones de este material son muy diversas y, al igual que ocurre con otros materiales, surgen continuamente nuevos productos y aplicaciones en paralelo con el desarrollo tecnológico de la humanidad.

Pero la piedra natural es algo más que una simple unidad de construcción para incorporar a una obra. Se trata de un producto repleto de simbolismo, excelente durabilidad y gran belleza plástica.
Los numerosísimos trabajos en piedra realizados por el hombre a lo largo de la historia así lo demuestran.



Onfalos de Delfos que representa el ombligo del mundo.



Ruinas de Palmira en Siria.



Monumento megalítico de Stonehege en Escocia.

1.2. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS

Las características más relevantes de la piedra natural son su dureza, resistencia a distintos tipos de esfuerzos, su composición y color, y su durabilidad. Esta última, es quizás la característica tecnológica más relevante de la piedra natural. Existen numerosísimos vestigios arquitectónicos en los que la piedra es el único material que se ha conservado, lo que constituye en sí mismo una prueba irrefutable de estabilidad a escala real.

Para el uso de la piedra natural, se requieren determinados conocimientos sobre sus propiedades, obtenidos a través de ensayos que permiten definir aquellos parámetros característicos en función de los cuales puedan utilizarse de la forma más correcta posible.

Las propiedades que se necesita conocer para un buen uso de la piedra natural aparecen definidas en las normas europeas de estos productos y son las siguientes:

- Análisis petrográfico para conocer su composición y estructura.
- Resistencia a los esfuerzos de flexión.
- Resistencia a los esfuerzos de compresión.
- Resistencia a los impactos.
- Resistencia al deslizamiento.
- Resistencia a los cambios térmicos.
- Resistencia a las heladas.
- Resistencia a los ambientes contaminados por SO_2 (dióxido de azufre).

Para una correcta utilización de la piedra natural, estas y otras características complementarias deben determinarse en el laboratorio.

1.3. CLASIFICACIÓN

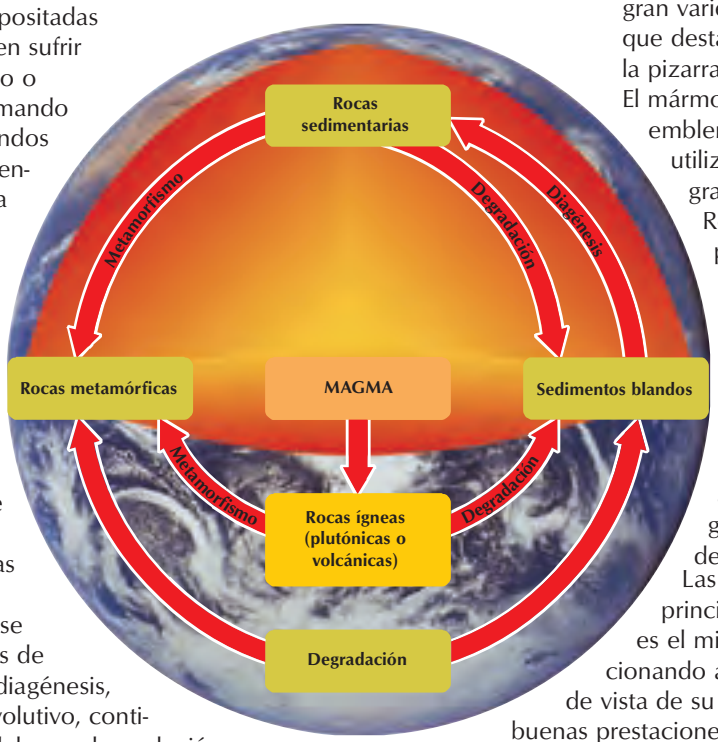
La piedra natural proviene de un magma viscoso, que se encuentra en el interior de la Tierra.

Al salir al exterior, la masa viscosa se enfría y se transforma en rocas ígneas, las cuales se denominan **volcánicas** cuando el enfriamiento del magma se produce de forma rápida, y **plutónicas** si el enfriamiento se produce lentamente.

A partir de aquí comienza el denominado **ciclo evolutivo de las rocas**.

Las rocas ígneas, una vez depositadas en la corteza terrestre, pueden sufrir alteraciones de tipo mecánico o químico degradándose y formando depósitos de sedimentos blandos llamados suelos. Estos sedimentos pueden estar sometidos a procesos de diagénesis o consolidación por cementación o presión litostática originándose las rocas **sedimentarias**. Sin embargo, las rocas ígneas también pueden sufrir acciones muy intensas de presión y temperatura, debido a los movimientos de la corteza terrestre, dando lugar a las denominadas rocas **metamórficas**.
Una vez formadas las rocas, se inician de nuevo los procesos de alteración, metamorfismo o diagénesis, constituyendo así un ciclo evolutivo, continuado en el tiempo, en paralelo con la evolución propia de la Tierra.

EL CICLO EVOLUTIVO DE LAS ROCAS



Surgen, pues, los siguientes grandes grupos de clasificación de las piedras naturales:

ROCAS ÍGNEAS:
- ROCAS PLUTÓNICAS
- ROCAS VOLCÁNICAS

ROCAS METAMÓRFICAS
ROCAS SEDIMENTARIAS

- **Rocas plutónicas**
  Entre las rocas plutónicas, la más conocida es el **granito**, quizás por su enorme difusión. En España, los granitos más conocidos presentan tonos grises y rosas, aunque pueden tener otras tonalidades.

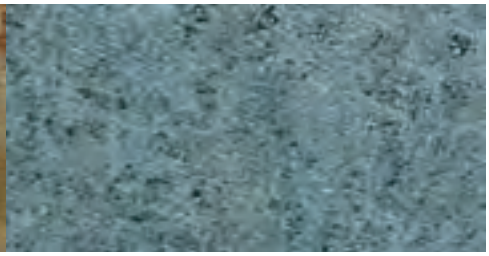
- **Rocas volcánicas**
  Entre las rocas volcánicas, quizás, la más conocida es el **basalto**.

- **Rocas metamórficas**
  En este grupo, se encuentran una gran variedad de litologías entre las que destacan: el mármol, la cuarcita, la pizarra o la serpentina.
  El mármol es la piedra natural más emblemática debido a su utilización por parte de los grandes maestros del Renacimiento, como materia prima para sus esculturas.
  La **pizarra** se utiliza, sobre todo, para techar con espesores normalmente comprendidos entre 2 y 8 mm, con sistemas de colocación y sujeción específicos para la función a desempeñar, es decir, garantizar la estanqueidad de las cubiertas.
  Las **cuarcitas** están constituidas principalmente por cuarzo, que es el mineral más estable, proporcionando a esta roca desde el punto de vista de su alterabilidad, unas muy buenas prestaciones. Por último, cabe destacar la **serpentina** como roca de gran valor ornamental, de color verde oscuro, utilizada frecuentemente en espacios emblemáticos como palacios y grandes hoteles, tanto en pavimentos como en revestimientos de paredes o zócalos.

- **Rocas sedimentarias**
  Es el grupo petrográfico con mayor número de variedades.
  El subgrupo más difundido es el de las **calizas**, a veces confundido con el mármol debido a que su componente principal es la calcita (carbonato cálcico).


Mármol veteado.


Arenisca.


Basalto.

2. EL RECORRIDO DE LA PIEDRA NATURAL

2.1. UN POCO DE HISTORIA

La historia de la piedra natural discurre paralela a la historia del hombre.

Con piedra se construyeron los primeros habitáculos humanos, repletos a veces de mensajes indescifrables, y construidos con formidables aparejos ciclópeos de losas y columnas de sustentación, en un solo bloque, que han mantenido su estabilidad hasta nuestros días.

El hombre construyó sarcófagos con piedra, como material perdurable y seguro, para que pudieran descansar sus seres queridos, con el fin de evitar que su sueño eterno fuera perturbado. También construyó obras funerarias, como las pirámides.

Con piedra se realizaron los primeros pavimentos adoquinados, para atender las exigencias de nuevos medios de transporte, favoreciendo extraordinariamente su desarrollo. Las calzadas romanas constituyen un ejemplo de ello.

Asimismo, se construyeron con piedra importantes obras públicas como el acueducto de Segovia -la más importante del mundo romano- que con sus 813 m de longitud y 163 arcadas sustenta un canal que transportaba el agua de la Sierra de la Fuenfría hasta la torre del Caserón, desde donde se abastecía a toda la ciudad.

El hombre utilizó la piedra para erigir sus catedrales como símbolo de su espiritualidad; castillos y murallas, como elementos de defensa ante las agresiones externas, todo ello con tecnologías casi incomprensibles hoy día para la época en la que se realizaron.

Pero la gran evolución de la piedra como material de construcción ha tenido lugar durante la segunda mitad del siglo XX. El concepto masivo, o volumétrico, que la arquitectura ha tenido tradicionalmente de este material cambió a un concepto epidérmico a partir de **Mies van der Rhoe**, con la utilización de unidades de espesor reducido, a modo de láminas también denominadas aplacados, sin función estructural alguna.

Este nuevo concepto de la piedra se encuentra en plena evolución permitiendo obtener, hoy en día, espesores cada vez más reducidos -que alcanzan valores de hasta 5 mm- constituyendo la auténtica piel de los elementos arquitectónicos.



Conjunto monumental de Pisa. Campanile, Catedral y Torre inclinada.



Calzada romana de granito. Fuente: (Cortesía CZFV)

2.2. LA EXPLOTACIÓN DE LA PIEDRA NATURAL

2.2.1. Investigación

En la investigación de la piedra natural se utilizan, en general, las mismas técnicas que las empleadas en otros tipos de investigación minera, pero con componentes específicos derivados de las peculiaridades de este tipo de yacimientos. En efecto, en el caso de la piedra natural, además de conocer la masa mineral, así como sus propiedades físicas y químicas, se requiere determinar el volumen mínimo de esta masa mineral extraíble en condiciones de inalterabilidad. Es lo que se conoce como "tamaño de bloque", cuyas características condicionan, de manera definitiva, la rentabilidad de una explotación.

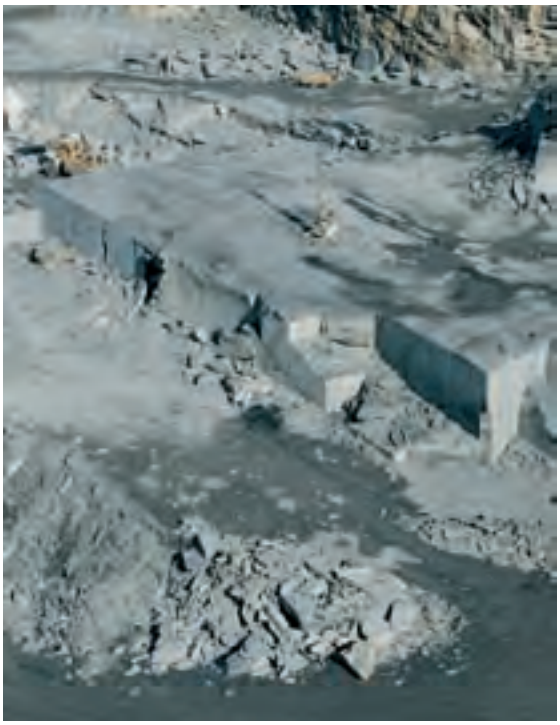
Para ello deben realizarse estudios detallados sobre el estado de fracturación del macizo rocoso, a partir de estudios de cartografía geomecánica muy detallada, con objeto de evaluar en lo posible este parámetro tan importante.

2.2.2. El arranque

Normalmente, la piedra natural se extrae en canteras a cielo abierto, aunque en ocasiones la explotación se realiza en minas subterráneas.

Ambas modalidades requieren minuciosos estudios de la estabilidad del hueco minero abierto, sobre todo en el caso de minas subterráneas, de manera que se garantice la seguridad de las personas que en ella trabajan, frente a posibles desprendimientos locales de material o frente a la estabilidad general.

Las explotaciones subterráneas generan mucho menos escombro que las canteras a cielo abierto, por el hecho de extraerse directamente la capa de piedra natural que se desea explotar. Por el contrario, requieren una mayor inversión inicial debido a las distintas obras de acondicionamiento en forma de galerías hasta alcanzar el nivel deseado.







Diversas operaciones de arranque tanto a cielo abierto como subterráneas. En algunos casos, las explotaciones subterráneas requieren de sujeciones en el techo para prevenir hundimientos en los procesos de arranque.

Una vez alcanzado el frente de explotación, el arranque de la roca se realiza habitualmente con hilo diamantado, u otros artilugios dotados de elementos de corte, que permiten obtener un bloque en forma de prisma recto bien escuadrado que se denomina bloque primario.

Posteriormente, el **bloque primario** se trocea en la cantera en otros bloques más pequeños, cuyos tamaños suelen oscilar entre 5 y 20 t aunque excepcionalmente, para trabajos especiales, pueden obtenerse bloques de hasta 80-90 t de masa.

El precio de los bloques de grandes tamaños es proporcionalmente más elevado, debido a la dificultad de obtenerlo intacto.

En el caso particular de las pizarras de techar, el bloque primario presenta una forma totalmente irregular, de tamaño más reducido -unas 5 t- que se denomina "**rachón**".









En las canteras de pizarra, mármol y granito los bloques extraidos son de grandes dimensiones y peso.
Tras el proceso de corte, se obtienen piezas más pequeñas que son tratadas y comercializadas para diversos usos.

2.3. PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN Y RECICLADO

2.3.1. El corte

Los bloques obtenidos en cantera se envían a fábrica para elaborar los productos acabados que se colocan en las obras.

El bloque se recibe en la fábrica y se corta en finas láminas llamadas tablas o tableros. Éstos suelen tener normalmente un espesor de 2 a 4 cm, aunque se pueden elaborar de cualquier grosor.

El corte del bloque, cuando tiene el tamaño suficiente, se realiza normalmente en máquinas que se denominan telares. Cuando los bloques son más pequeños el corte se realiza mediante cortabloques.

Los tableros se trocean a su vez, normalmente bajo pedido, en los productos ya acabados como, por ejemplo, las placas para el revestimiento de fachadas, baldosas para pavimentación, adoquines, encimeras de cocina, lavabos etc. Para ello normalmente se utilizan discos de diamante, aunque para formatos especiales se puede utilizar el corte con chorro de agua, técnica innovadora que ofrece hoy en día excelentes resultados.

CORTE CON CHORRO DE AGUA

Método de corte que consiste en cierto caudal de agua altamente presurizado a través de un orificio de un diámetro muy pequeño (tobera). Este chorro impacta el material con una gran fuerza en un área muy reducida, lo que provoca pequeñas grietas que con la persistencia del impacto del chorro "erosiona" el material, por lo que se habla de "micro-erosión".

Existen dos sistemas que emplean este principio; el que utiliza sólo agua, adecuado para cortar todo tipo de materiales blandos, como por ejemplo: madera, alimentos, plásticos, etc., y el que utiliza además del agua un abrasivo, para los materiales duros como: aceros, titanio, aleaciones, piedra ornamental, etc.

Algunas de las principales ventajas de este método sobre los convencionales son: corte frío (no existe calor que pueda afectar al material), es multi-direccional (puede cortar en cualquier dirección), perfora la mayoría de los materiales en el corte (sin necesidad de hacerlo previamente), no se originan agrietamientos, y se produce un ahorro de material por ancho de corte reducido.

Las principales desventajas de este método, radican en que en algunos casos de materiales de grandes espesores y de gran dureza, el tiempo requerido para el corte puede ser excesivo y elevar en gran medida sus costes. Además en grandes espesores la forma vertical "ideal" del corte tiende a distorsionarse, incrementado en ocasiones por una incorrecta velocidad de corte.

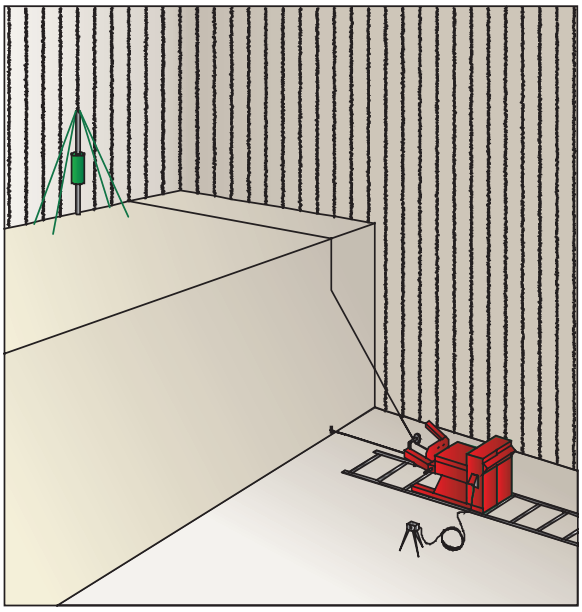


Los tableros se obtienen por troceado de los bloques de la cantera con diferentes grosores. A su vez, el producto final, se obtiene por corte de dichos tableros en diversas medidas según la demanda.





Interior de una nave de elaboración.

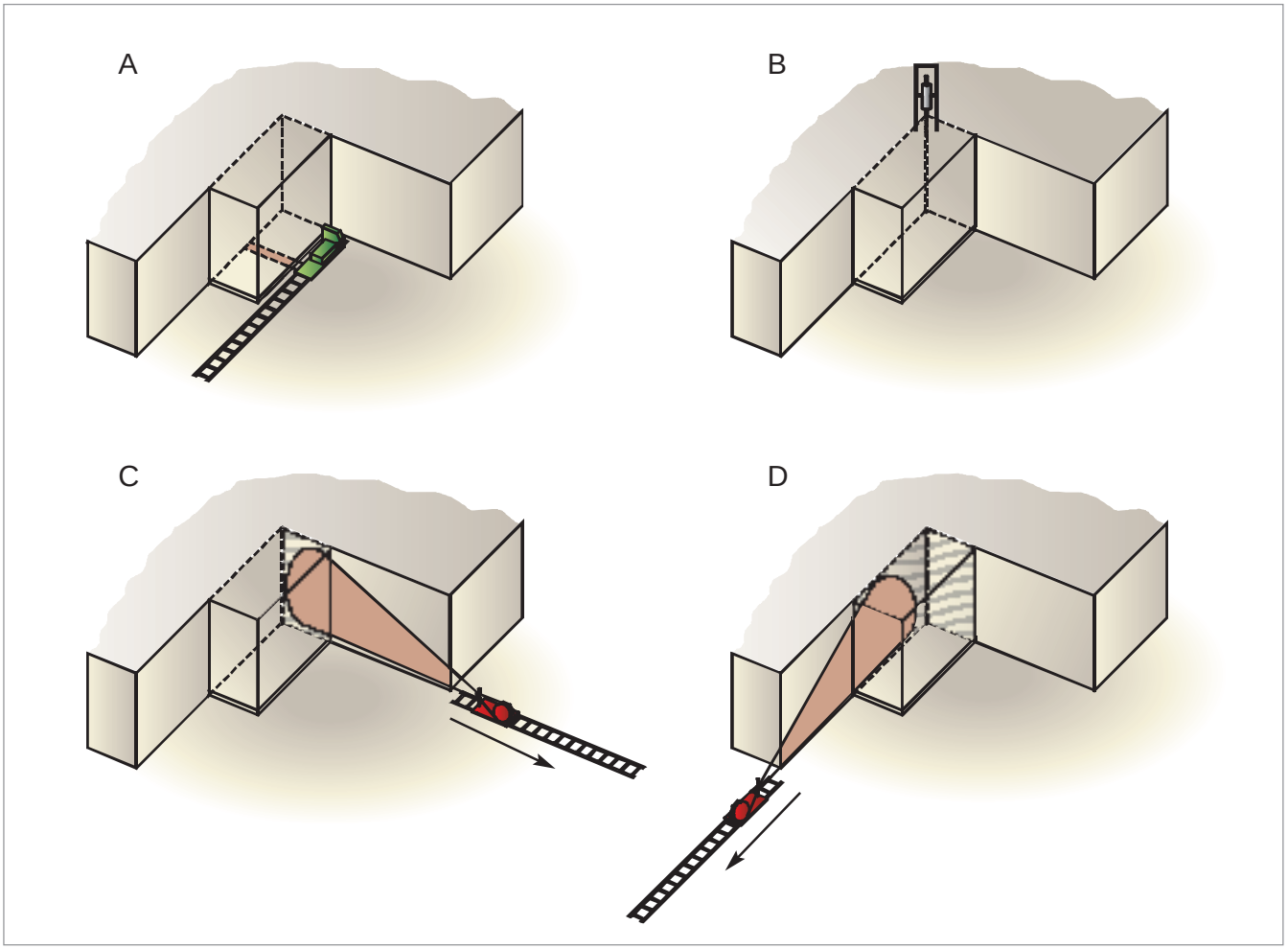


Corte lateral de un bloque primario con un equipo de hilo diamantado.



Vuelco de un bloque cortado con hilo diamantado.

ESQUEMA OPERACIÓN DE CORTE



Operaciones realizadas con una rozadora de brazo y un equipo de hilo diamantado en una explotación de mármol.

2.3.2. El acabado superficial

El acabado superficial de la piedra afecta de manera definitiva a su rugosidad o textura y, también, a su tonalidad. Cuanto más lisa sea la superficie de acabado, más tiende a oscurecerse la tonalidad de la piedra, adquiriendo su máximo grado en las rocas pulidas.

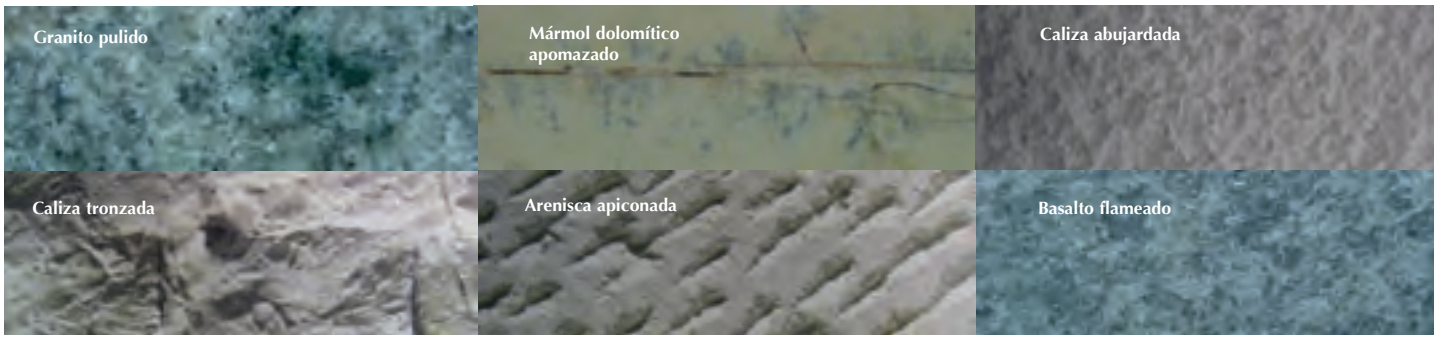
Los acabados superficiales más habituales son los siguientes:

- **Pulido:** es un tratamiento con muelas de grano fino y un pulido posterior con polvo de alúmina (potea), oxalato de hierro, u otro tipo de productos similares que continuamente aparecen en los mercados.
- **Amolado:** acabado superficial con muela de carborundo de granulometría 60.
- **Apomazado:** acabado superficial con muela de carborundo y granulometría superior a 120.
- **Abujardado:** acabado obtenido por el golpeo continuo de un martillo o bujarda provisto en su cara de elementos piramidales de sección cuadrada, que proporcionan un acabado rugoso.
- **Flameado:** acabado obtenido por la acción de una lanza térmica a 1.200 °C que origina el desprendimiento de pequeñas partículas proporcionando un acabado superficial muy rugoso.
- **Apiconado:** acabado superficial obtenido "picando" la pieza, manualmente, con el pico de un martillo adecuado.
- **Tronzado:** acabado en basto obtenido por tronceado de la pieza mediante una prensa provista de dos cuchillas, que provocan la rotura del material originando una superficie en basto.

Referente al color, la piedra natural es el material de construcción que ofrece, seguramente, una gama cromática más amplia, lo que unido a las texturas propias o inducidas por la mano del hombre, proporciona infinidad de posibilidades de diseño para los proyectistas. Esta variabilidad está relacionada con los mecanismos de formación de la roca.

En efecto, la gran cantidad de variables, totalmente aleatorias, que intervienen en el proceso de formación, controladas únicamente por las leyes físico-químicas de la naturaleza, proporciona un amplísimo muestrario de variedades que, desde el punto de vista del mercado, puede parecer caótica, pero que, en el fondo, está llena de armonía y sensibilidad.

No obstante, esta diversidad no es exclusiva de las diferentes canteras, sino que puede afectar a una sola, incluso a un mismo nivel de explotación, lo que puede dar lugar, ocasionalmente, a motivos de rechazo del comprador cuando ésta es excesiva. Sin embargo, es conveniente señalar que los cambios de tonalidad, textura y de aspecto en general, son características propias de la piedra natural, que les diferencian positivamente de otros materiales elaborados en factoría, en los que una monótona uniformidad constituye una de sus características.



2.3.3. Tratamientos de mejora

Los tableros se suelen someter a diferentes tratamientos de mejora para incrementar la vida útil del producto. Los tratamientos de mejora más habituales suelen ser los siguientes:

- Refuerzo del trasdós del tablero, o lado no visto, con malla de nylon y resinas.
- Tapado de huecos y oquedades de la cara vista con masillas especiales.
- Imprimación con resinas fluidas para sellar el poro de la piedra.

2.3.4. Reciclado

La minería de la piedra natural genera un volumen de residuos considerable, no solamente de material estéril o no aprovechable de la cantera, sino de los lodos de corte, procedentes de los procesos de transformación.
Hoy en día, falta, quizás, una voluntad decidida, por parte de todas las partes implicadas, para desarrollar planes de reciclado integrales, que aporten soluciones globales a este problema.

Desde el punto de vista técnico, el reciclado de estos residuos es perfectamente viable teniendo sus principales aplicaciones en la industria de los áridos para la construcción, sin olvidar la industria cerámica, y la de los productos prefabricados de cemento como los terrazos, tejas de hormigón, etc.

2.4. MAQUINARIA Y TECNOLOGÍA

Los procesos de extracción y transformación, que ya han sido descritos, requieren un equipamiento de maquinaria específico que, al igual que en cualquier otra actividad industrial, ha ido evolucionando extraordinariamente con el tiempo.

En las primeras explotaciones industriales de finales del siglo XVIII, los procesos de extracción de la piedra natural eran bastante rudimentarios, aunque no por ello carentes de fundamentos tecnológicos eficaces.

La utilización de cuñas metálicas, o de madera, hincadas en la dirección de debilidad de las rocas llamada "pelo", permitían la extracción de bloques, más o menos regulares, únicamente con el esfuerzo del hombre. Se aprovechaba así que la resistencia a la tracción de las rocas es la décima parte que la resistencia a la compresión. La aparición del hilo de acero helicoidal, utilizado conjuntamente con una carga de arena como abrasivo, permitió entonces la elaboración de tableros de reducido espesor, a partir de bloques bien escuadrados.

Hoy en día, en cantera, la maquinaria más utilizada es el hilo diamantado. Se trata de un cable continuo de acero de gran longitud, engarzado con perlas o toroides de diamantes sintéticos, e impulsado por un volante giratorio acoplado a un motor eléctrico, que corta la roca de manera muy precisa. El cable se introduce en unos taladros realizados previamente en el frente de cantera, y corta así el bloque primario, perfectamente escuadrado, prácticamente sin afectar a sus prestaciones mecánicas, con unas velocidades de corte excelentes que alcanzan valores de hasta 10-12 m^2/hora en las rocas calcáreas, y 3-5 m^2/hora en los granitos.

Una vez transportados los bloques de cantera hasta las naves de elaboración, se trocean en tableros de espesor reducido, para lo que se utilizan máquinas de gran rendimiento y eficacia, denominadas **telares**.
El corte se realiza mediante un conjunto de flejes o láminas de acero perfectamente alineadas, arrastradas por un gran volante, provisto de una excéntrica, que genera el desplazamiento horizontal de los flejes de aserrado y así fracciona la piedra.

Los flejes, de acero endurecido, cortan la roca con la ayuda de un abrasivo denominado granalla- o bien pueden disponer de pequeñas placas de diamante a lo largo de su eje para la misma función. También resultan habituales para el corte de bloques intermedios los telares monolama o máquinas de hilo diamantado; estas últimas están provistas de dispositivos de control numérico.

Actualmente, la robotización está tomando un extraordinario impulso en el mundo de la piedra natural, construyéndose maquinaria que permite el corte de piezas a partir de un *software*, previamente diseñado, o incluso obtenido a partir del escaneo de formas en dos o tres dimensiones que se desean reproducir.

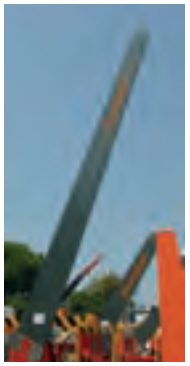






En la época romana se utilizaban utensilios de arranque y sistemas de apertura de bloques y transporte que nada tienen que ver con la tecnología minera actual.

Brazo de una rozadora para corte en cantera.



Máquina cortabloques.

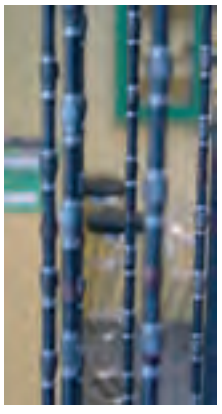


Maquinaria de control numérico para la elaboración de piezas especiales.



Cortadora de bloques con hilo diamantado y a la derecha detalle del mismo.





3. APLICACIONES Y USOS DE LA PIEDRA NATURAL

Las aplicaciones de las piedras naturales son múltiples en el mundo de la construcción, cubriendo una amplia gama de productos comerciales entre los que cabe citar los siguientes: pavimentos, aplacados, mampostería, cubiertas y piedras dimensionadas.

Las denominaciones anteriores se corresponden con la estructura normativa funcional de los comités europeos de normalización - CEN - para la piedra natural.

Las posibilidades de diseño de las piedras ornamentales resultan casi infinitas, si se tiene en cuenta la gran variedad de rocas existentes en la naturaleza, las combinaciones que pueden obtenerse con los tamaños y formas de las piezas, los colores, el aspecto, así como los diferentes acabados superficiales que pueden conseguirse.

3.1. PRODUCTOS Y MATERIALES

3.1.1. Pavimentos

La utilización de la piedra natural para la construcción de pavimentos, constituye la aplicación más importante de este material.

La pavimentación de caminos surge ante la necesidad de adaptar las vías de comunicación a los nuevos sistemas de transporte, apareciendo así los primeros pavimentos adoquinados, en la época romana, que todavía mantienen su vigencia desde el punto de vista conceptual.

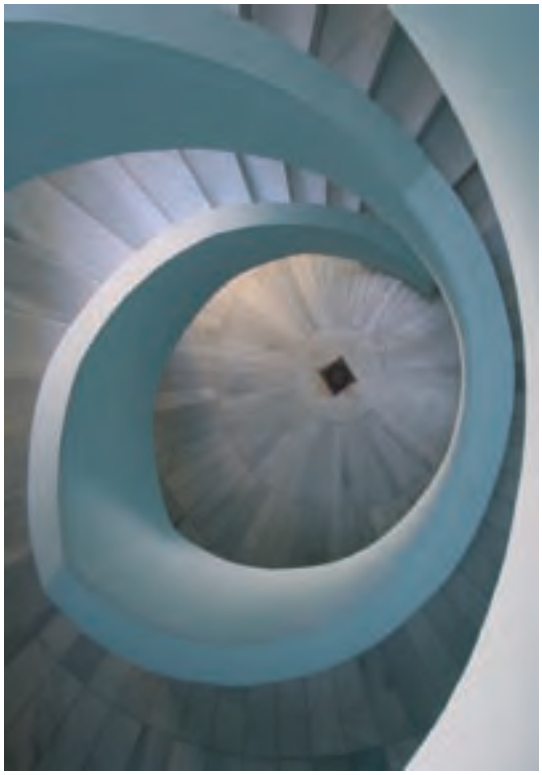
Este tipo de aplicación tuvo su crisis al inicio de la segunda mitad del siglo XX, destruyéndose numerosos pavimentos adoquinados en muchas ciudades, quizás por falta de presupuesto, o por un desconocimiento de las técnicas adecuadas de colocación.

Afortunadamente la recuperación de los adoquines de piedra es una realidad, de tal manera que, hoy en día, no se concibe la rehabilitación de un casco antiguo en una ciudad sin utilizar la piedra.

Pero además de los adoquinados, también se construyen con piedra otro tipo de pavimentos con piezas de mayores dimensiones, tanto en exteriores como en interiores, y que se denominan baldosas.



Una de las aplicaciones más comunes en las zonas urbanizadas son las baldosas de pavimentación.
En la construcción también encontramos pavimentos como esta escalera de mármol.



3.1.2. Aplacados para revestimiento de fachadas

Estas unidades de obra sustituyen a las tradicionales mamposterías como elemento externo visible de los edificios.

Desde el punto de vista tecnológico los aplacados, a diferencia de las mamposterías tradicionales, no tienen una función estructural en el edificio pero sí de aislamiento.

Aunque los aplacados se pueden sujetar al edificio con adhesivos químicos o morteros de cemento, hoy en día, cada vez con más frecuencia, la colocación se realiza por medio de anclajes, constituyendo lo que se conoce como fachadas trasventiladas.

Este sistema constructivo, considerado por muchos como uno de los logros de la arquitectura del siglo XX, utiliza anclajes metálicos de acero inoxidable como elemento de unión entre la piedra y el paramento, manteniendo una cámara de aire entre ambos, que facilita su ventilación, lo que incrementa notablemente la vida útil de la roca. Se suele decir que la piedra natural, como el hombre, necesitan respirar, de ahí la excelencia de este tipo de soluciones.





Aunque la función tecnológica principal de los aplacados para revestimientos de fachadas es aislante, cada día se innova en este campo, creando formas a partir de diferentes aplacados como el de la imagen superior de granito y cristal o a la izquierda, rascacielos aplacado con caliza.

3.1.3. Mampostería

La mampostería constituye la manera más tradicional del uso de la piedra en la arquitectura. Desde el punto de vista normativo, la mampostería se define como aquellas piezas de piedra con espesores superiores a 80 mm y cuya función es estructural. Si las piezas son de forma irregular, se denominan generalmente *mampuestos*, y si se trata de bloques escuadrados, *sillares*.

El trabado de las piezas se realiza con morteros, de cal o mixtos de cal y cemento, para constituir los muros de carga, arcos, contrapuntos, etc., que constituyen los diferentes elementos estructurales de este tipo de arquitectura.

La utilización de la mampostería en piedra ha ido declinando a favor de otros materiales como los ladrillos y el hormigón. No obstante, siguen existiendo reductos locales, en los que la mampostería de piedra ha vuelto a tomar un nuevo impulso, como símbolo de riqueza, durabilidad y confort frente a los otros materiales. Un ejemplo lo constituye la Galicia rural, donde la mampostería en piedra para la vivienda unifamiliar es casi una exigencia cultural.



La mampostería es el uso de la piedra desde un punto de vista estructural. Existen en nuestro país muchas poblaciones cuyo casco histórico está íntegramente construido o rehabilitado con mampostería.



3.1.4. Cubiertas de pizarra

Las cubiertas o tejados construidos con pizarra es una aplicación más, y muy importante, de la piedra natural.

Como se verá más adelante, España es el primer país productor del mundo de pizarra de techar, aunque el mercado interior únicamente consume alrededor de un 15 % de la producción, siendo el 85 % restante objeto de exportación, principalmente a países europeos.

La forma de colocación de estas unidades de piedra es bastante compleja, aunque muy eficaz, y requiere mano de obra especializada.

Las pizarras se superponen las unas con las otras formando una superficie escamada de placas que se sujetan, bien mediante clavado directo a unos listones de madera, que se denominan rastreles, bien mediante ganchos que abrazan las piezas y que igualmente se clavan sobre dichos rastreles.

Las formas de las placas son muy variadas, predominando las rectangulares.



España es el primer país productor de pizarra de techar.

3.1.5. Piedras dimensionadas

Según la norma europea, se entiende por **piedras dimensionadas** aquellas unidades de construcción con un espesor superior a 80 mm y sin una función estructural determinada. Se trata de una industria en auge que ofrece una gran variedad de productos, normalmente de carácter ornamental, como pueden ser, chimeneas de interior, fuentes, tracerías, balaustradas, columnas de ornamentación, lápidas funerarias, etc.



Piedra dimensionada: bolardo de granito.



Lápidas funerarias.

3.2. NUEVAS APLICACIONES

Las piedras naturales, al igual que cualquier otro producto de construcción, no son ajenas al desarrollo de nuevos productos, consecuencia, sobre todo, de los avances tecnológicos en los procesos de corte y de los materiales adhesivos.

En este ámbito, pueden citarse las **losetas** o **paneles** constituidos por una lámina de piedra de unos 4-5 mm de espesor a la que se ha adherido, mediante pegamentos adecuados, un material más económico que le proporciona la rigidez necesaria. Estos materiales que acompañan a la piedra pueden ser de naturaleza cerámica, de fibrocemento, estructuras ligeras de aluminio en forma de nido de abeja, o mallas de nylon con una resina de suficiente espesor.

Estos productos, presentan como característica común un mejor aprovechamiento del recurso minero, al utilizar menos volumen de material pétreo por m^2 de superficie cubierta; algunos, como los que utilizan las estructuras en nido de abeja, permiten la fabricación de paneles de grandes dimensiones con muy poco peso, lo que mejora sensiblemente los tiempos de colocación, aunque todavía el coste final no resulta muy atractivo.

Otros productos bastante novedosos, con una penetración creciente en los mercados, son las unidades de piedra envejecida. Se trata de piezas que han sido sometidas a tratamientos de erosión física con abrasivos, como es la proyección de perdigones de acero, o erosión de naturaleza química, lo que les proporciona un aspecto tosco y alterado que se asemeja a materiales degradados por el uso y el paso del tiempo.

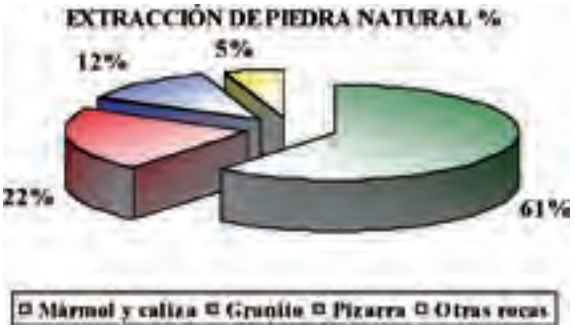
4. LA PIEDRA NATURAL EN LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA, EN ESPAÑA Y EN EL MUNDO

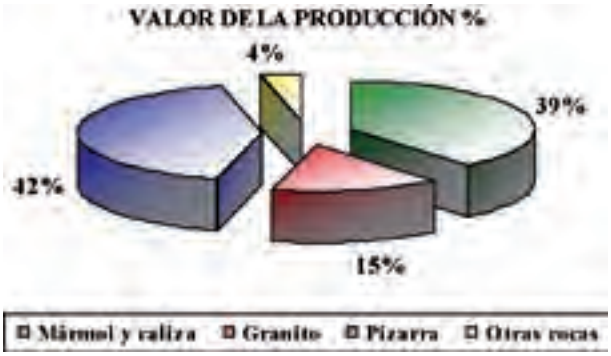
El sector de la piedra natural, con una tradición muy arraigada en nuestro entorno cotidiano, constituye, hoy en día, una industria pujante, tanto desde el punto de vista del consumo interno, como de la exportación.
La gran variedad de piedras naturales que ofrece hoy en día el mercado, junto con la calidad y fiabilidad de los productos elaborados, constituyen elementos de garantía suficientes como para mirar al futuro con optimismo.

4.1. PRODUCCIÓN Y CONSUMO

La producción mundial de piedra natural constituye un mercado en auge, con un crecimiento bastante sostenido, que en los últimos cinco años ha supuesto un incremento de un 33 %.

En España, la producción de piedra natural superó los 8 millones de toneladas, en 2006, con un valor a pie de cantera, antes de su transformación, de casi 710 M€. En los siguientes gráficos se desglosa la producción, en peso y en valor, de los principales tipos de piedra natural que se explotan en España.





En España, el fuerte desarrollo del sector en la década de los noventa, que se encuentra actualmente algo estancado, sobre todo en los tres últimos años, supuso, en aquellos momentos, la generación de recursos suficientes en las empresas para modernizar sus procesos de fabricación y la potenciación de las redes comerciales en todo el mundo. En la actualidad, nuestro país ocupa el sexto lugar en el ranking mundial de la producción de piedra natural.

El estancamiento de la producción española, agravado actualmente por la situación mundial de crisis económica, no es un fenómeno aislado, pues también afecta a los países productores tradicionales de nuestro entorno, como Italia, cuya producción presenta una tendencia prácticamente plana, Francia, Portugal, Grecia o Estados Unidos.

La situación previa a la crisis, con una pérdida de la cuota de mercado externo, se ha debido a la entrada en el mercado de la piedra natural, con gran fuerza, de algunos países de los llamados emergentes, especialmente China, India y Brasil.

En la actualidad, China ocupa un destacado primer lugar, del que ha desbancado a Italia, líder tradicional del sector, con crecimientos anuales superiores el 20 %. Le sigue India y, en tercer lugar, Italia. Tras ellos, Irán y Turquía, dejando a España en el ya citado sexto puesto mundial. En cuanto al Comercio Exterior, el gráfico adjunto da una idea del peso de los principales países exportadores.



Por subsectores, España es el primer país productor de pizarra de techar, y el cuarto/quinto de mármol (rocas calcáreas) y de granito, aunque en estos dos últimos tipos de roca la posición continúa descendiendo de forma inexorable.

La Comunidad Foral Navarra no es una región con grandes producciones de piedra natural. Las características geológicas de su territorio sólo permiten la extracción de mármoles, con gran tradición, aunque pequeños tonelajes, arenisca y alabastro, este último no explotado en la actualidad.

El alabastro, variedad del yeso muy apreciada en decoración, se explotó hasta en siete pequeñas canteras y dio lugar a una importante industria transformadora, que se mantiene en la actualidad, si bien con materiales procedentes de Aragón o de importación. Esta actividad tiene su centro principal en Cintruénigo.



Extracción de calcarenita. Cantera San Jus (Explotaciones Zubillaga)

Desde la década de los 20 del pasado siglo, hay constancia de producciones de bloques mármol, en el valle de Baztán. Las variedades *Verde Molín* y *Blanco Rosado* de Berroeta fueron muy conocidas y apreciadas en su momento.

En los años noventa del siglo XX se llegaron a alcanzar producciones de mármol bastante relevantes, de más de 100.000 toneladas/año, en las cuatro o cinco canteras activas, todas ellas en la citada zona de Baztán, obteniendo las variedades *Rojo Baztán*, *Gris Baztán* y *Rojo Bidasoa*. Actualmente, de las dos canteras que quedaban activas sólo se mantiene una, productora del *Rojo Baztán*, con producciones inferiores a las 10.000 t/año.

Sin duda, en la actualidad son las explotaciones de arenisca ornamental las que presentan un especial interés, ya que, aunque la producción no es elevada, una buena parte de ella se emplea en la restauración de los monumentos del Camino de Santiago, a su paso por Navarra.

Las areniscas de grano fino-medio, con una gama de tonalidades muy variada, desde el ocre al rojo, han sido extraídas históricamente en muchos puntos de Navarra, aunque en pequeñas zanjas y cortas, que actualmente resulta difícil localizar. Sin embargo, varias explotaciones actuales comercializan su piedra como elemento de sustitución en aquellos monumentos que presentan graves daños en sillería, así, en Artajona se extraen areniscas (piedra de Artajona o deTafalla), empleadas en numerosas edificaciones del Camino: Portal de Castilla (Los Arcos), torre iglesia de Villamayor de Monjardín, Castillo de Javier, etc.

Las areniscas de grano fino y tonos ocres aparecen en edificios de la localidad de Sangüesa, como la Colegiata de Santa María la Real de Rocamador o el palacio Príncipe de Viana.

Las calcarenitas que aparecen en la cuenca de Pamplona, con zonación en tonos grises y ocres, explotadas actualmente (Explotaciones Zubillaga, SA), aparecen en algunos sectores de la catedral y murallas de Pamplona, la ciudadela, e incluso en parte del trazado aragonés del Camino.

Se muestra un claro ejemplo de deterioro en la iglesia de Santa María de Eunate, por un proceso de *alveolización*, consistente en una degradación de origen físico-químico en forma de alveolos. En este caso, el proceso se agudiza por ser unas areniscas con marcada estratificación.





Santa María de Eunate, proceso de alveolización en sillar de arenisca

LA MINERÍA Y EL MEDIO AMBIENTE

EL RECORRIDO DE LOS MINERALES







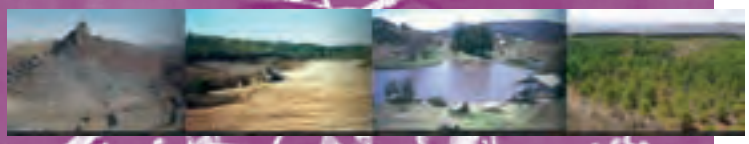




MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

Instituto Geológico y Minero de España

Gobierno de Navarra
Departamento de Innovación, Empresa y Empleo



Gobierno de Navarra
Departamento de Innovación,
Empresa y Empleo

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

Instituto Geológico y Minero de España

contenido

1. ¿QUÉ ES EL MEDIO AMBIENTE EN MINERÍA?
   - 1.1. Definición
   - 1.2. Minería y desarrollo sostenible

2. EL RECORRIDO DEL MEDIO AMBIENTE EN MINERÍA
   - 2.1. Un poco de historia
   - 2.2. Los efectos ambientales de la minería
   - 2.3. Protección ambiental en minería

3. LA RESTAURACIÓN DE LAS EXPLOTACIONES MINERAS
   - 3.1. Qué es la restauración minera
   - 3.2. Técnicas de restauración minera

4. MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE EN ESPAÑA Y EN LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA
   - 4.1. La restauración en la Comunidad Foral de Navarra
   - 4.2. Ejemplo de restauración en la Comunidad Foral de Navarra

AUTORAS: **María del Milagro Escribano Bombín**
Licenciada en Química Agrícola
Alba Ingenieros Consultores, S.L.

Carmen Mataix González
Doctora en Biología
Alba Ingenieros Consultores, S.L.

TEXTOS COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA: Carmen Marchán (IGME) y Mª del Mar Trapote (CF Navarra)

© DE LA EDICIÓN: Domènech e-learning multimedia, S.A.

DISEÑO Y MAQUETACIÓN: Enrique Domínguez

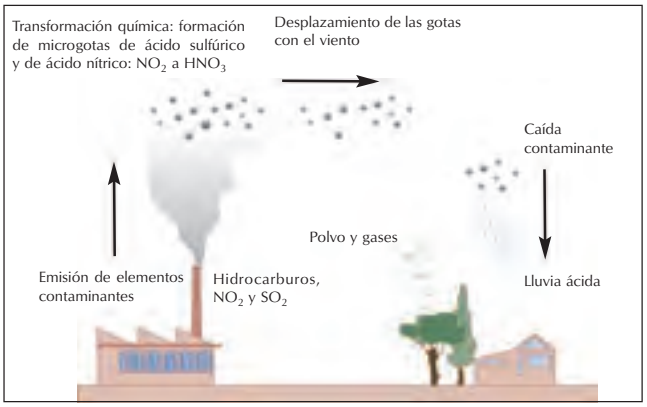
1. ¿QUÉ ES EL MEDIO AMBIENTE EN MINERÍA?

Prácticamente todas las actividades del ser humano repercuten sobre el medio ambiente: suponen un gasto de recursos, renovables y no renovables, provocan contaminación, generan algún tipo de residuos, etc.

En el pasado, no se tenían prácticamente en cuenta estas repercusiones, parecía que los recursos eran inagotables, y que la Tierra tenía la capacidad suficiente para limpiar la contaminación y absorber los residuos. Pero se está viendo que los recursos pueden agotarse, y han aparecido una serie de problemas ambientales muy preocupantes que afectan a todo el planeta, como el agujero de ozono o el cambio climático.

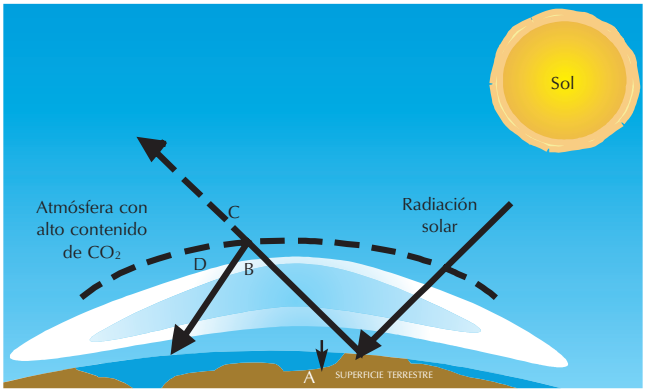
Por esa razón, desde hace varias décadas se están incorporando medidas para cuidar y proteger el medio ambiente en todas las actividades (comercio, industria, pesca, etc.).

LA LLUVIA ÁCIDA

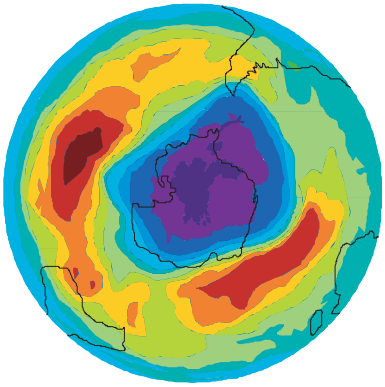


Las consecuencias de la lluvia ácida son, entre otras, la acidificación de lagos y embalses, la destrucción de bosques, la erosión de edificios y los perjuicios en la salud de los ciudadanos.

EFECTO INVERNADERO



A: Energía absorbida por la tierra.
B: Energía calorífica reflejada por la tierra.
C: Fracción de energía reflejada de vuelta al espacio.
D: Fracción de energía reflejada absorbida por la atmósfera.
Cuanto mayor es la concentración de CO_2 en la atmósfera mayor es D en relación a C, con lo que la temperatura de la Tierra aumenta.



EL AGUJERO DE LA CAPA DE OZONO

La capa de ozono es un delgado escudo de gas situado a unos 20 km de la superficie terrestre, rodeando la Tierra y que la protege de la dañina radiación ultravioleta proveniente del Sol. Esta capa hace posible la vida en la Tierra y la destrucción de parte de ésta es uno de los efectos nocivos del hombre sobre la atmósfera.



Explotación de hierro en Brasil.



Mina de niobio restaurada.

1.1. DEFINICIÓN

En la minería, las medidas de cuidado del medio ambiente tienen como objetivo que la actividad se desarrolle de manera que su efecto sobre la vegetación, el suelo, el agua y el resto de elementos del medio sea el mínimo posible, con ahorro de recursos y de energía, al tiempo que se reduce la contaminación y la generación de residuos.

Una de las medidas más importantes es la restauración, que permite integrar los terrenos explotados en su entorno ecológico y paisajístico, y desarrollar en ellos un uso alternativo a la minería una vez que concluye su explotación.

1.2. MINERÍA Y DESARROLLO SOSTENIBLE

En junio de 1992, en Río de Janeiro se celebró la Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas, conocida como la **Cumbre de la Tierra**. Fue un acontecimiento histórico de gran significado, porque hizo del medio ambiente una prioridad a escala mundial.

Aquí se aprobó un plan de acción mundial para promover el Desarrollo Sostenible, concepto sobre el que actualmente se basan las directrices políticas de la Unión Europea y sus estados miembros, así como las de la gran mayoría de los países del mundo.

Desarrollo Sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades presentes, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas propias. Es decir, consiste en asegurar una mejor calidad de vida para todas las personas, ahora y en el futuro, y para ello es imprescindible que se armonice el desarrollo económico, la protección del medio ambiente y el bienestar social.

La responsabilidad del sector minero respecto al Desarrollo Sostenible es alcanzar modelos de producción y consumo, que contribuyan a ahorrar recursos y limiten la generación de contaminación y la degradación de los terrenos, para que en el futuro el planeta Tierra sea un lugar donde el ser humano pueda seguir viviendo y progresando.

Posteriormente, en el año 2002, se celebró en Johannesburgo otra Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, que ratificó los principios básicos de una nueva estrategia respetuosa con el medio ambiente.

CUMBRE MUNDIAL SOBRE DESARROLLO SOSTENIBLE
JOHANNESBURGO 2002



Explotación de carbón restaurada en Asturias.

2. EL RECORRIDO DEL MEDIO AMBIENTE EN MINERÍA

2.1. UN POCO DE HISTORIA

Con el paso del tiempo, la forma de explotar los recursos minerales ha ido evolucionando y acomodándose a la demanda social de respeto al medio ambiente.

En un principio, únicamente se pretendía el aprovechamiento de las rocas y minerales sin apenas control sobre sus efectos ambientales negativos. Durante la explotación, no se tenía en cuenta si se contaminaban las aguas o el aire, y una vez finalizada la explotación se abandonaban los terrenos convertidos en espacios degradados.

No obstante, la preocupación cada vez mayor de la sociedad por el medio ambiente ha propiciado un cambio de mentalidad y la incorporación a las explotaciones mineras de medidas de cuidado ambiental.

Un ejemplo de ello es la gestión que se realiza del agua. Antes, las aguas utilizadas en el proceso de extracción o de tratamiento de los minerales se vertían directamente a los ríos, muchas veces contaminadas por diversas sustancias. Ahora, las aguas se reciclan para reducir el consumo y se depuran antes de devolverlas a los cauces.

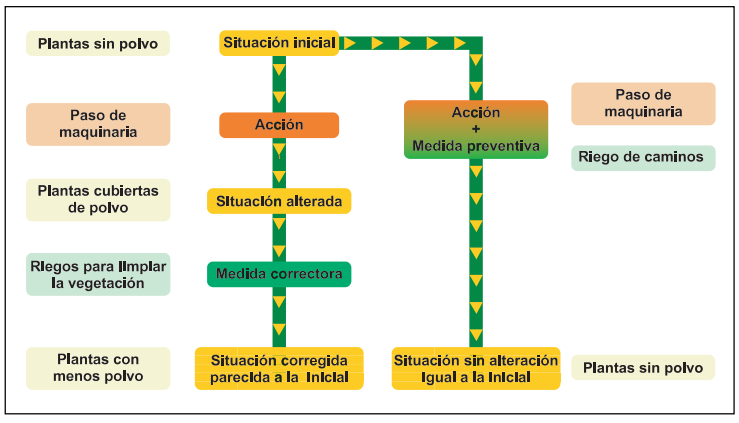
Asimismo, la forma de considerar los aspectos ambientales en las explotaciones mineras también ha evolucionado. Se ha pasado de un tratamiento "curativo" de los impactos ambientales, es decir, de reparar el daño ocasionado, a un tratamiento "preventivo" que intenta evitar que los impactos se produzcan.

En España, la minería está regulada por una legislación específica muy exhaustiva, que también se ha ido adaptando a los cambios sociales y a las nuevas estrategias políticas. Esta legislación en su momento fue pionera en cuanto a la consideración del medio ambiente, y continúa actualizándose y modernizándose.

Las leyes y normas que regulan el sector minero obligan no sólo a restaurar los terrenos explotados, sino también a determinar los posibles efectos ambientales negativos del proyecto minero antes de iniciar la explotación, y a establecer las medias preventivas necesarias para que dichos impactos no se produzcan, o afecten en menor medida al entorno.

En el momento actual, como objetivo central del Desarrollo Sostenible, y de acuerdo al VI Programa de Acción Comunitario en Materia de Medio Ambiente y la Directiva Marco sobre Evaluación Ambiental Estratégica de Planes y Programas (E.A.E.), se ha avanzado a un nivel superior de evaluación ambiental, de mayor alcance, con el fin de determinar los efectos acumulativos provocados por las interacciones entre diferentes actividades.

ESQUEMA EXPLICATIVO SOBRE MEDIDAS CORRECTORAS Y PREVENTIVAS



NORMATIVA MINERO-AMBIENTAL	
Disposiciones generales de la minería	• Ley 22/1973 de 21 de julio. Ley de Minas. • Real Decreto 2857/1978, de 25 de agosto. Reglamento General para el Régimen de la Minería. • Ley 6/1977, de 4 de enero. Ley de Fomento de la Minería. • Real Decreto 863/1985, de 2 de abril. Reglamento General de Normas Básicas sobre Seguridad Minera. • Orden de 16 de octubre de 1991 por la que se aprueba la Instrucción Técnica Complementaria 07.1.04 del Capítulo VII del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.
Disposiciones medioambientales particulares de la minería	• Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.
Disposiciones en materia de protección y evaluación de impacto ambiental	• Real Decreto 1131/1988, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de evaluación de impacto ambiental. • Real Decreto 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de impacto Ambiental de Proyectos. • Ley Foral 4/2005, de 22 de marzo, por la que se regulan las Declaraciones de Impacto Ambiental.

2.2. LOS EFECTOS AMBIENTALES DE LA MINERÍA

La explotación de los recursos minerales, que por otra parte son imprescindibles, produce una serie de efectos negativos sobre el medio. Esto se debe, fundamentalmente, a que es necesario realizar grandes movimientos de tierra para alcanzar las rocas y minerales, lo que provoca profundos cambios en las formas del terreno, con el consiguiente deterioro del paisaje, además de otras alteraciones sobre el suelo, la vegetación, el agua, etc.

No hay que olvidar a las propias personas que habitan en las cercanías de las explotaciones mineras que pueden sufrir molestias por ruido, tráfico de camiones, etc., y ver disminuida su calidad de vida. Sin embargo los beneficios sociales son importantes, ya que las explotaciones mineras crean puestos de trabajo y activan otros sectores, como la construcción, los servicios, el comercio, etc.

Los efectos ambientales de la actividad minera dependen de las características del lugar donde se localiza la explotación, del tipo de mineral o roca a extraer y del método de explotación y tratamiento empleado. También cada fase de la explotación genera diferentes impactos ambientales.



Sondeo de investigación.

Cuando se realizan trabajos de exploración para conocer la calidad y las reservas del yacimiento minero, la construcción de pistas hasta el área a investigar y los sondeos y calicatas pueden provocar la eliminación puntual de la vegetación y el suelo de la zona.

En la fase denominada de instalaciones o infraestructuras, las principales fuentes de impacto provienen de la preparación del terreno donde irán situadas las instalaciones (accesos y caminos, planta de tratamiento, oficinas, báscula de pesaje, balsas de decantación, etc.). Esta preparación consiste en retirar la vegetación y las tierras de cobertera, que no tienen interés minero, lo que provoca un efecto directo sobre las formaciones vegetales y el suelo productivo.

Durante la fase de actividad de la explotación, las principales fuentes de impacto provienen del trabajo de los equipos y la maquinaria empleados para la extracción de las rocas y minerales, el proceso de tratamiento y algunas operaciones específicas. Este conjunto de acciones da lugar a una serie de efectos ambientales, de mayor o menor intensidad según sean las características de partida del entorno y las de la explotación:

- Pérdida de vegetación y/o cultivos.
- Alteración del suelo.
- Contaminación atmosférica por polvo.
- Ruido.
- Eliminación y/o alteración de hábitats faunísticos.
- Generación de residuos y vertidos.

En minería, no es habitual la producción de residuos peligrosos ni contaminantes. Con la excepción de algunas explotaciones metálicas y de carbón, la mayoría de los residuos producidos son estériles inertes. Estos materiales no generan contaminación y se depositan en escombreras, o se emplean posteriormente para la restauración de los terrenos.

EJEMPLOS DE ALGUNOS EFECTOS AMBIENTALES DE LA MINERÍA



En minería a cielo abierto, antes de iniciar la extracción de las rocas y minerales, es necesario retirar el suelo y la vegetación. La eliminación de vegetación supone, además, la supresión de sus hábitats faunísticos asociados.



Las voladuras utilizadas para el arranque del material, pueden causar daños por vibraciones y proyección de materiales fuera de los límites de la explotación.



El polvo es el principal agente de contaminación atmosférica en las explotaciones mineras.

En las labores de reparación y mantenimiento de la maquinaria, sí pueden generarse residuos considerados "peligrosos": aceites usados, absorbentes, envases, trapos contaminados, etc.

La utilización de agua en las explotaciones mineras suele realizarse en circuito cerrado, recuperando el agua no consumida en lugares específicamente construidos para ello, para reutilizarla una vez depurada, por lo que no es habitual que se produzcan grandes volúmenes de vertidos. Una excepción son las explotaciones en las que los huecos pueden inundarse y es necesario bombear continuamente el agua para que la maquinaria pueda trabajar.

La mayoría de los impactos generados en esta fase de la actividad son temporales, es decir, desaparecen una vez concluida la actividad.

Con la explotación, el terreno sufre una serie de transformaciones relacionadas con la creación de estructuras y formas nuevas, como son huecos y frentes rocosos, lagunas residuales, escombreras, balsas de residuos, etc. Estas nuevas formas, en general, son percibidas como elementos poco integrados en el paisaje, porque su forma y color suelen contrastar considerablemente con la vegetación y el relieve circundantes.

Además, las condiciones en las que queda el terreno tras la explotación hacen muy difícil el crecimiento de la vegetación, por el predominio de los materiales rocosos, la mala calidad del sustrato, las elevadas pendientes, etc. En algunos casos, también pueden aparecer problemas de inestabilidad, de erosión, e incluso, de contaminación.

Éstos son algunos de los principales impactos asociados a la última fase de la actividad, denominada fase final o de restauración.

Muchos de los impactos de las distintas fases de la actividad minera son corregidos, e incluso evitados. Para ello se adoptan criterios de cuidado ambiental y se aplican las medidas de prevención y corrección de impactos más adecuadas.

Cada vez más explotaciones cuentan con un sistema de gestión ambiental en el que se describen los procedimientos a seguir para el control integral de la actividad, y que se revisa periódicamente para que haya una mejora continua de la actividad en relación al medio ambiente.

Frente activo de cantera de caliza.



Estériles producidos por una mina y depositados en una escombrera.





Vista aérea de una cantera.

2.3. PROTECCIÓN AMBIENTAL EN MINERÍA

Las buenas prácticas ambientales son recomendaciones, casi siempre de sencilla aplicación, que pueden adoptarse en una explotación minera para reducir los efectos negativos sobre el medio natural y social.

Algunas de ellas tienen carácter de recomendación, pero la gran mayoría son medidas obligatorias que las explotaciones mineras deben asumir conforme a la normativa vigente.

Unas son de carácter preventivo y están relacionadas con el diseño y la planificación; otras son de carácter técnico y consisten en la aplicación de las mejores técnicas disponibles; y otras son de carácter ambiental y están relacionadas con la restauración de los terrenos.

BENEFICIOS DE LAS BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES

- Reducción del consumo de los recursos energéticos y agua.
- Racionalización de la compra de materias primas desde el punto de vista medioambiental.
- Reducción del coste de la gestión de residuos, mediante su disminución y el fomento de su reutilización y reciclaje.
- Minimización de impactos derivados de las emisiones atmosféricas, ruidos y vertidos.
- Mejora de la imagen de la empresa.
- Contribución a un modelo de desarrollo sostenible.
- Ahorro de costes destinados a la gestión medioambiental.

Fuente: Guía de buenas prácticas medioambientales del sector de la minería no metálica. CECOTRAN; 2004.

IMPACTOS AMBIENTALES Y SUS MEDIDAS CORRECTORAS O DE RECUPERACIÓN	
SOBRE LA ATMÓSFERA (POLVO, GASES Y RUIDOS)	• Riego de pistas con agua y estabilizantes químicos. • Pavimentación de accesos y zona de instalaciones. • Sistemas de captación de polvo en instalaciones y maquinaria minera. • Cubrición de instalaciones. • Empleo de pantallas perimetrales contra polvo y ruido. • Sustitución del transporte rodado por cintas transportadoras. • Mantenimiento adecuado de la maquinaria. • Instalación de sistema de limpieza de las ruedas y bajos de los vehículos.
SOBRE EL AGUA SUPERFICIAL	• Creación de sistemas de recogida y canalización de aguas: cunetas, bajantes y balsas. • Reducción de la pendiente de los taludes. • Recogida, canalización y tratamiento de las aguas contaminadas en las minas, antes de su vertido a los cauces naturales. • Reducción de la superficie alterada por la actividad minera. • Revegetación de áreas restituidas y marginales. • Aislamiento de materiales contaminantes. • Recogida selectiva de residuos y gestión definitiva.
SOBRE EL SUELO	• Retirada previa a los trabajos mineros y almacenamiento de las tierras. • Reposición del suelo y restauración de los terrenos para permitir su utilización cuando finalice la actividad minera.
SOBRE LA VEGETACIÓN Y LA FAUNA	• Cerramiento de las explotaciones. • Optimización del tráfico. • Disminución del ruido ambiente. • Limitar el uso de explosivos en épocas de cría de animales protegidos. • Revegetación de los terrenos alterados con especies vegetales autóctonas.
CONTROL DE RIESGOS GEOFÍSICOS (EROSIÓN, DESPRENDIMIENTOS, INUNDACIONES, SUBSIDENCIA, SEDIMENTACIÓN)	• Disminución de la pendiente de los taludes y desmontes. • Instalación de sistemas de recogida de aguas. • Remodelación y revegetación de las escombreras. • Minimización del tiempo que transcurre entre superficie alterada - superficie restaurada.
SOBRE LA MORFOLOGÍA Y EL PAISAJE	• Relleno de los huecos excavados siempre que sea posible. • Reducción en lo posible del tamaño de los huecos y las escombreras. • Remodelado de la topografía final para que se ajuste lo más posible al entorno. • Redondeo de las formas y evitar aristas y superficies muy planas. • Empleo de los estériles producidos en la propia explotación para el relleno de huecos y la conformación de taludes. • Evitar sobrepasar la línea del horizonte. • Revegetación final de todos los terrenos alterados. • Retirada de todas las instalaciones y limpieza general de la zona una vez finalizada la actividad extractiva.
SOCIALES Y CULTURALES	• Recuperación de los usos tradicionales de la zona. • Adecuación alternativa para el uso sustituido. • Aplicación de medidas compensatorias y sociales.

2.3.1. Ahorro de recursos y energía

El progresivo agotamiento de los recursos naturales hace necesario que, en todas las actividades, se realice una correcta gestión de los recursos disponibles que incluya el ahorro de energía, de agua, de materias primas y de combustibles.

Para reducir estos consumos, pueden utilizarse multitud de técnicas, y en cada explotación minera se adoptan las más convenientes, dependiendo de los objetivos particulares y de las características de cada empresa. Algunas de las más usuales son las siguientes:

- Para ahorrar energía eléctrica se utilizan equipos de bajo consumo; en algunos casos, se sustituye la energía tradicional por otras renovables, como la fotovoltaica o la eólica. Se adoptan hábitos para evitar el despilfarro, como apagar los equipos y maquinarias cuando no se están utilizando, etc.
- Para reducir el consumo de agua, se trabaja en circuito cerrado recogiendo las aguas usadas y reutilizándolas de nuevo. Se instalan programadores de riego y grifos con temporizador, se pavimentan las zonas por donde circula la maquinaria para que no se genere polvo y no sea necesario regar, en lugar de limpiar con agua se utilizan barredoras industriales.
- Para disminuir el consumo de materias primas, se eligen preferentemente productos con etiqueta ecológica y de bajo consumo, minimizando los embalajes.
- Para reducir el consumo de combustible, se utilizan combustibles de alta eficiencia energética, se intenta disminuir las distancias de transporte y se mantienen a punto todos los equipos y vehículos.

2.3.2. Reducción de la contaminación y los residuos

A excepción de algunas rocas industriales y minerales energéticos o con radiactividad, que pueden generar estériles con cierta carga contaminante, el resto de los recursos minerales se pueden considerar limpios, en cuanto a que sus estériles son inertes, es decir, no tienen potencial contaminante.

Estos materiales se emplean para rellenar los huecos excavados, o bien se depositan en escombreras. En algunos tipos de explotaciones, como en las de granito ornamental, se utilizan para fabricar áridos de machaqueo. De esta manera, se da valor a un subproducto que originalmente es residual, y se evita la ocupación de suelo por escombreras y sus efectos derivados sobre el paisaje.

Los estériles que sí tienen potencial contaminante se disponen separadamente en depósitos sellados con distintos materiales, o bien en el núcleo central de las escombreras, recubiertos con materiales inertes.

En las labores de mantenimiento de la maquinaria y con el uso de los servicios de personal, se generan residuos no peligrosos como chatarras, envases no contaminados, maderas, papel, vidrio, etc.; peligrosos, como grasas, aceites usados, filtros de aceite, baterías, etc.; y residuos asimilables a urbanos, que proceden de las oficinas y los comedores del personal.

La gestión ambiental de estos residuos consiste en su clasificación y almacenamiento en áreas preparadas hasta su retirada al vertedero, o a un centro específico de tratamiento y/o eliminación, por empresas especializadas, y en su reciclado y reutilización externa o dentro de los procesos productivos de la propia explotación.



Tratamiento de estériles para la fabricación de áridos en una explotación de granito ornamental.





Las distintas dependencias de los parques de residuos se señalizan con carteles en los que se indica el tipo de residuo a depositar y las condiciones de depósito y manejo.

2.3.3. Protección del aire

El cuidado del aire en minería se centra básicamente en el control del polvo y del ruido. Sólo en algunas explotaciones, en las que se realizan tratamientos complejos de los materiales extraídos, se producen humos y gases.

Para reducir la generación de polvo se riegan los accesos y caminos, y se pulveriza agua con tensoactivos en los principales focos de generación de polvo (cintas, puntos de transferencia y carga, etc.); se instalan filtros y captadores de polvo en los equipos; se cubren las instalaciones de tratamiento para evitar que el polvo generado se disperse; los productos de menor tamaño se almacenan en silos; y se cubre la caja de los camiones y se limpian sus ruedas y fondos antes de su incorporación a las vías públicas.

También se procura que la emisión de gases a la atmósfera sea mínima. Para ello se realiza un cuidadoso mantenimiento de los vehículos y la maquinaria, lo que también ayuda a reducir el nivel de ruido.

Desde 1995, la maquinaria empleada debe disponer de marcado CE, que garantiza unas emisiones acústicas mínimas y situadas dentro de los niveles que determina la legislación.

Otra práctica habitual es construir barreras artificiales o de vegetación que filtran el polvo y evitan además la propagación del ruido.

Los tensoactivos que se añaden al agua en el riego de las pistas aglomeran las partículas para que su tamaño y peso aumenten y no puedan ser dispersadas por el viento y formar polvo.



Para evitar la generación de polvo las cintas transportadoras, se cubren y se prolongan con unos dispositivos, denominados mangas, que reducen la altura de caída de los materiales.







En los alrededores de las explotaciones mineras, se realizan mediciones periódicas de ruido y polvo, con el fin de determinar el nivel de incidencia de estos dos agentes.

2.3.4. Protección del agua

La principal práctica de cuidado del agua es evitar los vertidos de aguas contaminadas a los cauces naturales. Para ello se crean unos sistemas de recogida de las aguas dentro de la explotación, que conectan con balsas de decantación o con estaciones de depuración, para limpiar las aguas antes de devolverlas a sus cauces originales, o bien para dejarlas en condiciones para que puedan reutilizarse de nuevo en el proceso minero.

En algunas minas metálicas y de carbón en las que se producen aguas ácidas, lo más habitual es que el tratamiento se realice en plantas activas, empleando productos químicos. Pero también se utilizan sistemas de tratamiento pasivo, que consisten en hacer circular las aguas ácidas a través de humedales construidos con cañas y juncos, fosos rellenos de caliza o balsas en las que se mezcla caliza y estiércol. Estos sistemas elevan el pH del agua y reducen su contenido en metales disueltos.

Otra práctica de cuidado del agua es evitar que ésta se contamine. Para ello se construyen cunetas que recogen las aguas de lluvia y escorrentía, y las conducen de forma que no entren en contacto con los materiales potencialmente contaminantes, o se disponen éstos separadamente y con cubiertas de aislamiento que impiden su contacto con las aguas.

Para no contaminar las aguas subterráneas, los depósitos de combustible, las zonas de reparación de maquinaria y las áreas de almacenaje de residuos se construyen sobre un solado de hormigón que impide la filtración de sustancias contaminantes al subsuelo. También suelen construirse fosos y cubetos para recoger los vertidos accidentales.

Las oficinas y servicios del personal se conectan con el sistema de alcantarillado y saneamiento municipal, para evitar contaminación por vertido de las aguas residuales. Si la explotación no está cerca de ninguna población, se utilizan fosas sépticas con separador de grasas.



En las graveras, suelen emplearse los huecos antiguos para decantar los lodos producidos en el proceso de lavado de la planta de tratamiento.

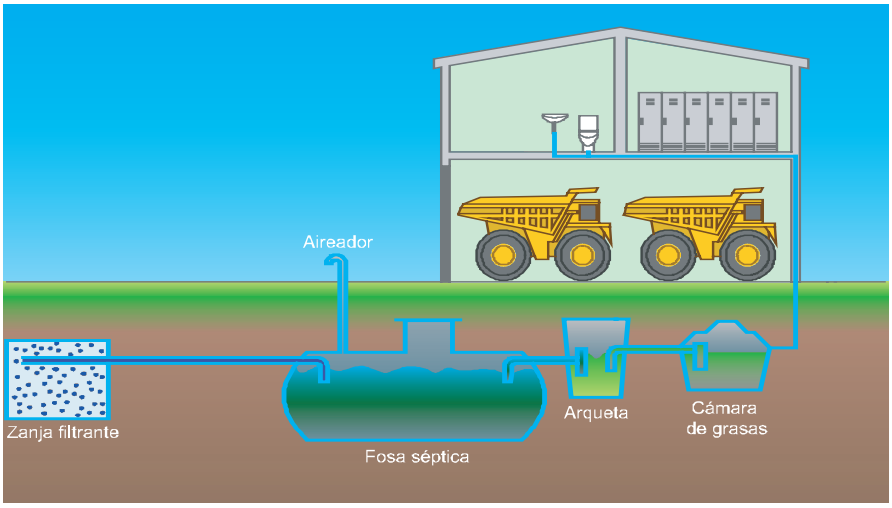


Sistema de tratamiento pasivo de aguas ácidas construido en la escombrera exterior de una mina de lignito. En el primer término de la imagen, se observa una balsa rellena de caliza y estiércol, y al fondo una ciénaga.



Los depósitos de combustible se instalan en el interior de una especie de piscina de hormigón, llamada cubeto, que sirve para recoger los vertidos accidentales de combustible, y evitar que contaminen el suelo o las aguas.

ESQUEMA DE UNA FOSA SÉPTICA ANEXA A UNA NAVE DE MANTENIMIENTO



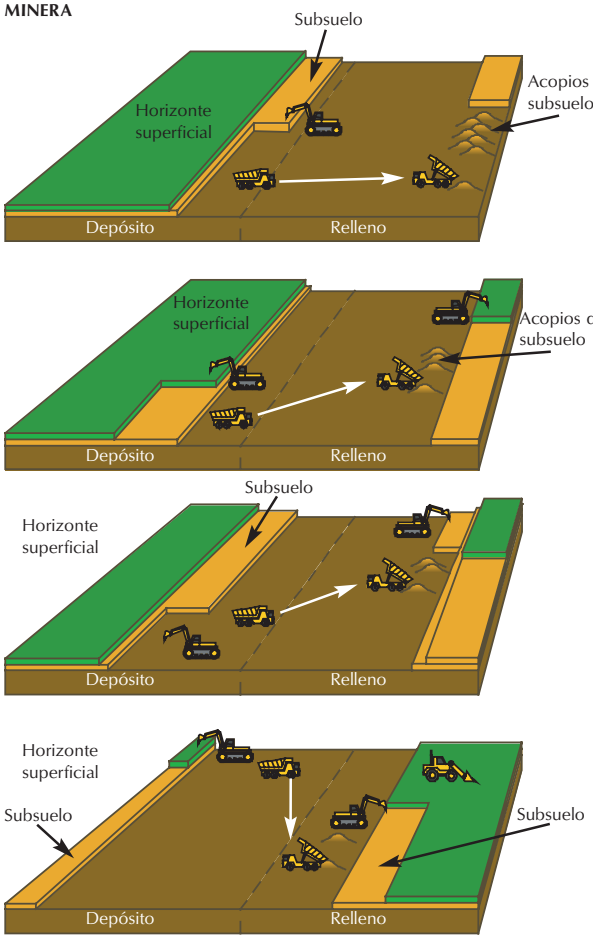
2.3.5. Protección del suelo, la vegetación y el paisaje

Antes de iniciar la extracción de las rocas y minerales, es preciso retirar la vegetación y el suelo que cubre el área de explotación. En esta operación, se aplican una serie de medidas para que la pérdida de estos elementos sea mínima.

Los ejemplares arbóreos y arbustivos de mayor interés se transplantan a zonas en restauración, o a terreno natural, para evitar su pérdida. También se recolectan semillas de las plantas del área de explotación para su empleo en la revegetación de los terrenos explotados.

El suelo se retira del área de explotación y se almacena en lugares apropiados, para utilizarlo posteriormente en la restauración. Si tiene que estar mucho tiempo almacenado, los acopios de suelo se siembran con plantas leguminosas herbáceas, que aportan nutrientes al suelo, mantienen su fertilidad y crean una cubierta protectora frente a la acción erosiva de la lluvia.

RETIRADA DE SUELO Y VEGETACIÓN PARA INICIAR UNA EXPLOTACIÓN MINERA



Siempre que es posible, se retiran por separado cada una de las capas que componen el suelo, y después se extienden en la zona a restaurar en su mismo orden original.



Pantalla visual construida con tierra vegetal acopiada para su uso posterior.

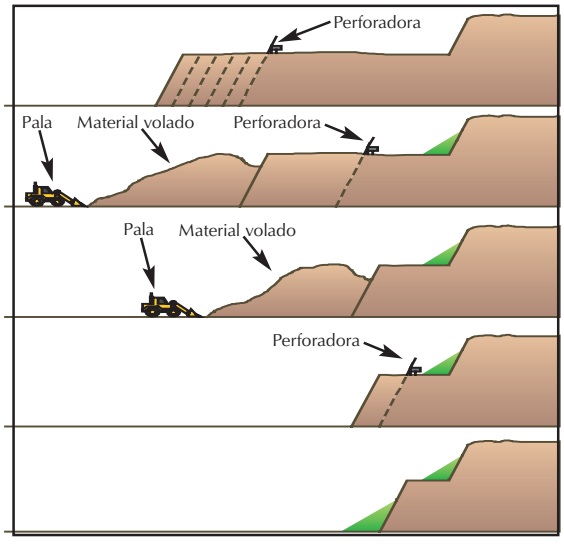
Con el fin de reducir al mínimo los efectos sobre el paisaje, se tienen en cuenta una serie de criterios previos al propio proyecto de explotación como por ejemplo:

- Localizar, cuando la geología lo permita, las explotaciones mineras alejadas de los núcleos urbanos y zonas transitadas.
- Concentrar las explotaciones en una misma zona, evitando abrir una nueva explotación en un área natural, sin antecedentes mineros.
- Aprovechar los accidentes topográficos y la vegetación para ocultar la actividad extractiva.

Esto no siempre es posible, ya que las explotaciones deben localizarse donde está el recurso minero, y no puede elegirse la ubicación más idónea para reducir el impacto.

Durante la explotación, las prácticas de cuidado del paisaje están orientadas a ocultar las superficies y estructuras que pueden causar impacto paisajístico empleando, por ejemplo, pantallas visuales construidas con vegetación, así como a facilitar la restauración inmediata de los terrenos, por ejemplo, cuando la explotación está situada en ladera, explotando desde el banco superior hacia el inferior.

AVANCE DE UNA CANTERA DESDE EL BANCO SUPERIOR AL INFERIOR, CON RESTAURACIÓN SIMULTÁNEA A LA EXPLOTACIÓN



3. LA RESTAURACIÓN DE LAS EXPLOTACIONES MINERAS

3.1. QUÉ ES LA RESTAURACIÓN MINERA

A la vez que se extraen los recursos minerales, los terrenos donde estaba situada la explotación minera quedan completamente transformados y en condiciones inadecuadas, por lo que es obligatorio restaurarlos de forma paralela o al final del proceso de explotación. En este sentido, la restauración, o recuperación de los terrenos explotados es una fase paralela, o la última fase, del proceso productivo.

La restauración, en el caso de la minería, está controlada y regulada por una legislación pionera (más antigua que la legislación medioambiental procedente de la transposición de Directivas Europeas) que obliga a:

- Disponer de un *proyecto de restauración* de los terrenos aprobado por la autoridad competente.
- Depositar un *aval* que garantice la ejecución del proyecto. En caso de incumplimiento del proyecto de restauración, la autoridad competente puede ejecutar dicho aval, para garantizar los trabajos de restauración previstos, en el momento que se considere oportuno.

A lo largo de las etapas de la actividad y al finalizar ésta, el objetivo es reacondicionar los terrenos de acuerdo con unas directrices de calidad medioambiental, para devolver el área a su entorno.

Prácticamente, la restauración no es, ni más ni menos, que el desarrollo de una serie de actuaciones para devolver a los terrenos alterados la posibilidad de tener el mismo uso que tenían antes de la explotación minera, u otro compatible con la situación del momento.

Cuando se trata de reponer exactamente las condiciones originales de los terrenos, se habla de restauración, pero cuando pretende conseguirse un aprovechamiento diferente, se habla de rehabilitación o recuperación. Aunque, como se puede ver, no se trata de sinónimos, en este apartado van a emplearse de manera indistinta ambos términos.

Los objetivos básicos de la restauración son tres:

- Corregir los impactos ocasionados por la explotación minera.
- Hacer posible el aprovechamiento de los terrenos.
- Integrar los terrenos en el paisaje circundante.



Mina metálica abandonada en la que han quedado numerosos restos de estructuras e instalaciones, una balsa de residuos, escombreras, etc.

DIFERENTES FASES EN LA RESTAURACIÓN DE UNA MINA

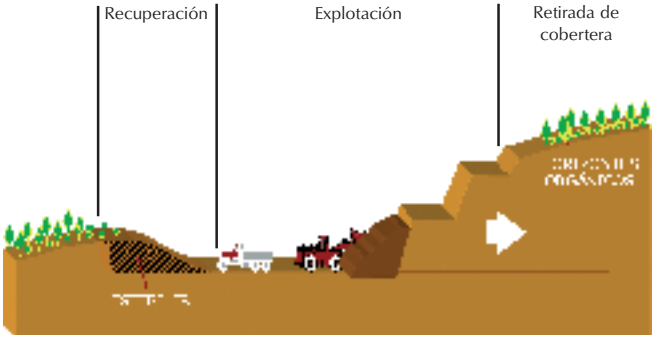


Para la restauración de esta mina, primero se retiraron los residuos, después se acondicionó el terreno y, por último, se plantaron pinos, que es la vegetación del entorno de la explotación.

Es fundamental y preceptivo que la restauración esté integrada en las fases de planificación y diseño de la explotación minera. De esta manera, se consiguen beneficios ambientales y económicos muy importantes, como la minimización de los efectos desfavorables, mayor capacidad de adaptación de la restauración al medio y menor coste de los trabajos de restauración.

La denominada minería de transferencia es un buen ejemplo de esto. En este tipo de minería, los huecos se van rellenando progresivamente, según avanza la excavación, con los estériles generados, de manera que se logra una recuperación casi inmediata de los terrenos afectados.

ESQUEMA DE EXPLOTACIÓN-RESTAURACIÓN EN MINERÍA DE TRANSFERENCIA



3.2. TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN MINERA

Para restaurar un espacio minero, es necesario decidir previamente qué uso post-operacional se puede desarrollar en él. En principio, las posibilidades son muy amplias:

- Urbanístico e industrial.
- Vertedero.
- Depósito de agua.
- Recreo.
- Agrícola.
- Forestal.
- Conservación y creación de hábitats.

Si bien, su elección está condicionada por las características naturales y sociales del entorno, por las condiciones en que queden los terrenos tras la explotación, por la normativa que regula la utilización del territorio, las necesidades y/o demandas sociales y también por los propios intereses de la empresa promotora del proyecto.

Es importante que la participación del conjunto de personas particulares, asociaciones, autoridades, etc., que tienen un interés real en el resultado de la restauración, sea una participación activa en la selección del uso post-operacional.

EXPLOTACIONES MINERAS RESTAURADAS PARA DISTINTOS USOS



USO DE RECREO
Campo de golf y zona deportiva en una cantera de Florida en Estados Unidos.



USO AGRÍCOLA
Mina de carbón restaurada para usos agrícolas en Puertollano, Ciudad Real.



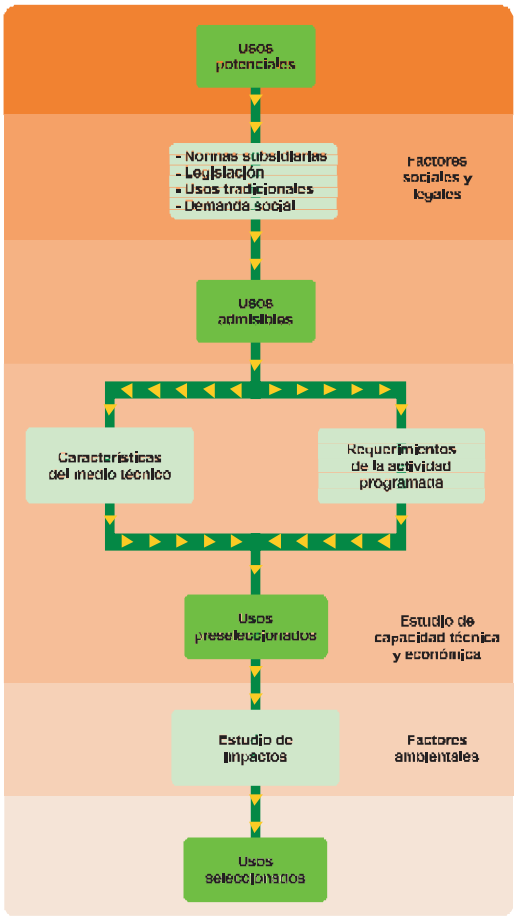
USO FORESTAL
Repoblación de pino en una cantera de caliza.



Gravera recuperada para área de recreo.

Una vez seleccionado el uso o usos más acordes con el entorno y con las condiciones del terreno, debe definirse cómo se van a desarrollar los trabajos de restauración, con el fin de que su instauración no fracase. Dentro de este punto es fundamental, y así lo exige la legislación minera, elaborar un plan previo de restauración, en el que se indiquen las operaciones y técnicas necesarias para alcanzar los objetivos de uso inicialmente planteados. Siendo las actuaciones más habituales el remodelado, incluido el relleno y tratamiento de taludes, la preparación del sustrato y la revegetación.

ESQUEMA METODOLÓGICO DE SELECCIÓN DE USOS

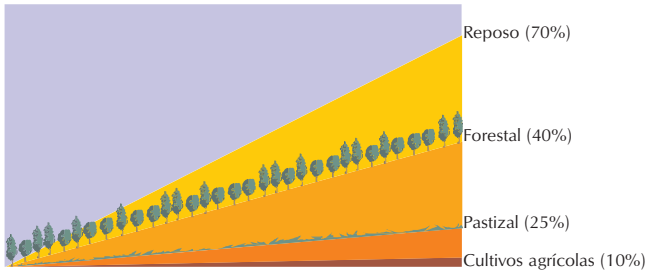


3.2.1. Técnicas para modificar las formas del terreno

La minería provoca un cambio muy importante en la topografía natural del terreno. Por ello, es necesario modificar de nuevo las formas del terreno para dejarlas en condiciones adecuadas. Esta operación se denomina remodelado y sus objetivos básicos son naturalizar la apariencia y textura del terreno, disminuyendo la pendiente, rompiendo la linealidad y angulosidad de las formas, y creando pequeñas fisuras, oquedades, repisas, salientes, etc.

Las técnicas de remodelado de posible aplicación dependen del tipo de superficie a tratar, de la naturaleza del sustrato, del uso posterior previsto, de las condiciones de estabilidad, etc.

PENDIENTE MÁXIMA DEL TERRENO PARA DIFERENTES USOS POST-OPERACIONALES



REMODELADO DE HUECOS MEDIANTE RELLENO



Operación de relleno de un hueco con estériles.

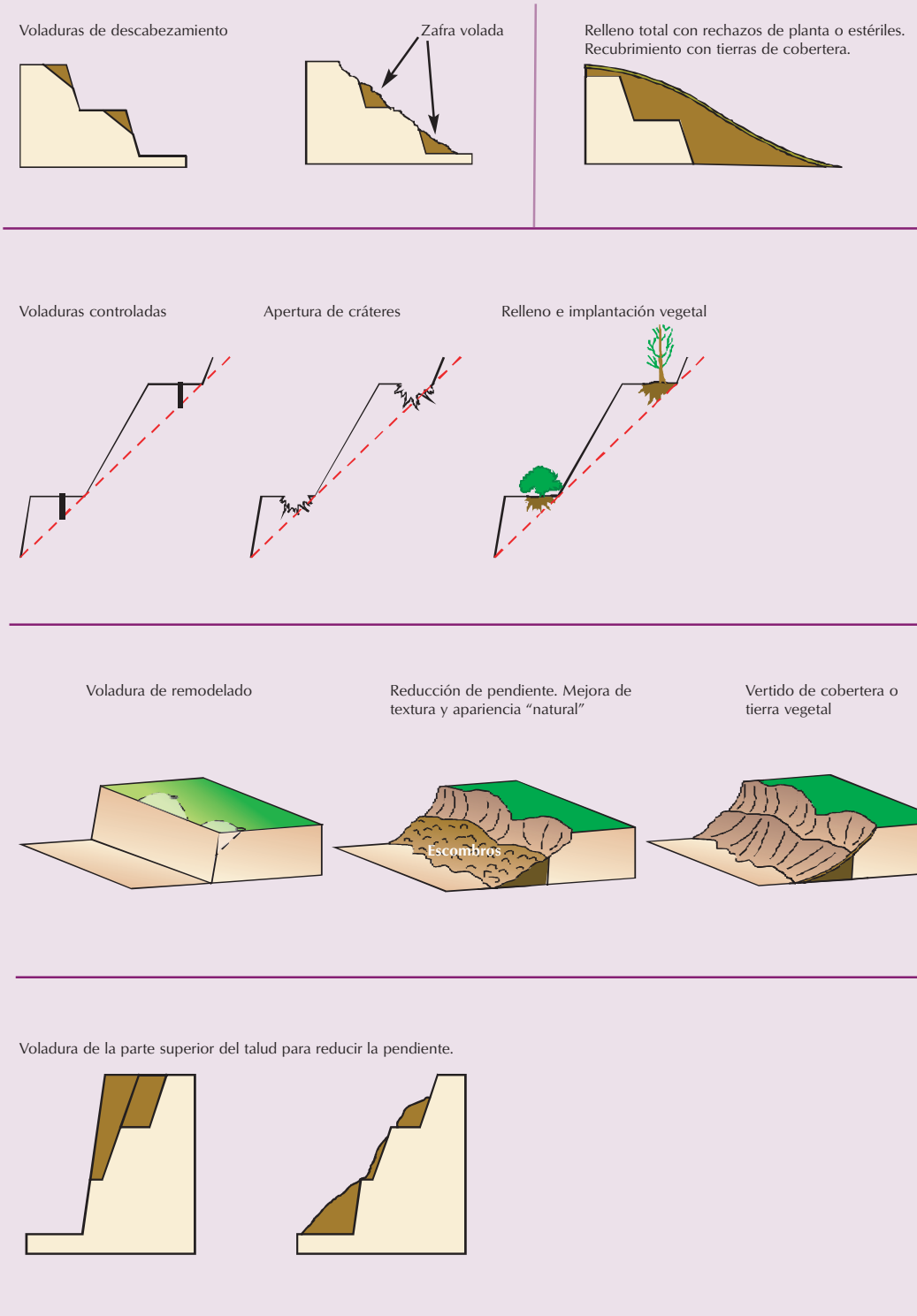


Hueco de una cantera de yeso relleno con estériles.

Los huecos de explotación se remodelan mediante relleno total o parcial, con los estériles de explotación, o bien con materiales externos procedentes de excavaciones y obras de construcción.

Los frentes son paredes rocosas, generalmente de gran altura y pendiente, que suelen estar divididas en bancos. Su remodelado se realiza mediante relleno total o parcial de los bancos y con la aplicación de voladuras controladas, que permiten crear taludes continuos, romper las aristas de los bancos, e incluso abrir pequeños cráteres donde se puede plantar vegetación.

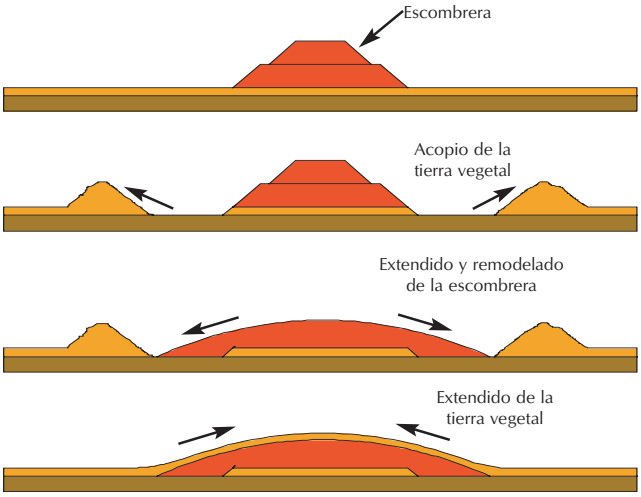
DIFERENTES TÉCNICAS PARA EL REMODELADO DE LOS FRENTES DE EXPLOTACIÓN



En las escombreras, el principal objetivo es reproducir las formas topográficas del paisaje circundante. Para ello, el método de actuación más eficaz es prever con antelación su ubicación y forma de construcción, intentando que la escombrera no sobresalga de la línea del horizonte, y evitando formas excesivamente geométricas.

Una vez construidas, con el remodelado se intenta redondear las angulosidades y eliminar las bermas, para dar a la escombrera una apariencia más natural.

PROCESO DE REMODELADO DE ESCOMBRERAS





Escombrera remodelada imitando las formas naturales del terreno y revegetada con una plantación de manzanos en Asturias.

El modelado de las lagunas residuales de graveras se realiza mediante relleno y dejando zonas sin explotar. Combinando estas dos técnicas se crean zonas de playa; se da a las orillas una forma irregular, con entrantes y salientes; se construyen islas y se diversifica la profundidad de las lagunas, preparando zonas de aguas profundas y otras de aguas someras.

3.2.2. La preparación del suelo

La vegetación juega un papel muy importante en la restauración de los espacios mineros. En unas ocasiones, es el elemento fundamental de la restauración, como en el caso de los usos finales relacionados con la agricultura, el recreo o la recuperación de hábitats faunísticos. Cuando el uso final es de tipo industrial, urbanístico o deportivo, la vegetación es únicamente un elemento accesorio que se emplea para el ajardinamiento de los espacios.

Pero en cualquier caso, para que la vegetación pueda desarrollarse es necesario mejorar las características del suelo. Algunos de los problemas más habituales son los tamaños muy extremos, o muy gruesos o muy finos, de los materiales que forman el sustrato; la predominancia de roca dura; la excesiva compactación; la escasez de nutrientes y de materia orgánica; y la falta de tierras de cobertera de calidad suficiente.

Para corregir estas deficiencias, se realiza una preparación del terreno que incluye, entre otras actuaciones fundamentales, el aporte y extendido de tierras de calidad suficiente, la descompactación del terreno, la fertilización del suelo con sustancias orgánicas y químicas, y la construcción de cunetas y otras estructuras para evitar encharcamientos, proporcionar una buena descarga del agua y reducir el riesgo de erosión.



La diversidad de tamaños de los materiales que forman las escombreras dificulta la restauración adecuada de éstas.

3.2.3. Plantaciones y siembras

La última etapa de la restauración es la revegetación de las superficies previamente preparadas, es decir, la plantación o siembra de especies vegetales.

Para asegurar el éxito de la revegetación, es necesario utilizar las especies vegetales más apropiadas al uso previsto y a las características de suelo y clima de la zona. Pueden emplearse plantas cultivadas en vivero, semillas, o bien una mezcla de ambas formas, y una combinación de especies que incluya árboles, arbolillos, arbustos, matas y hierbas.

Las especies leñosas cultivadas en vivero se plantan en hoyos excavados en el terreno, de manera individual o en grupos, o en zanjas, disponiendo las plantas en hileras.

Una modalidad especial de plantación es el transplante. Consiste en mudar directamente con su cepellón un ejemplar maduro desde su lugar de crecimiento en el campo, hasta otro sitio.

La siembra es un método de revegetación muy utilizado en la restauración de espacios mineros, ya que permite cubrir grandes superficies de terreno en un plazo de tiempo relativamente corto. Se efectúa esparciendo las semillas a voleo directamente sobre la tierra. Suelen emplearse semillas de herbáceas, aunque también pueden sembrarse matas de pequeño tamaño, e incluso bellotas de encina, roble o quejigo.

Un tipo especial de siembra es la hidrosiembra. Consiste en proyectar una mezcla de semillas, agua y otros productos sobre la superficie a restaurar, con una manguera a presión. La mezcla de hidrosiembra incluye productos que fijan las semillas a la superficie de tratamiento, otros que crean una capa que las recubre y evita que se sequen, y otros productos de la mezcla son fertilizantes y abonos.



Olivos transplantados en una cantera de caliza en Madrid.



Muchas explotaciones disponen de viveros propios en los que cultivan las plantas que después utilizan en la restauración.



Para la hidrosiembra de los frentes rocosos se utilizan semillas de plantas rupícolas y productos que dan a la roca un aspecto envejecido.



Hidrosiembra de una escombrera.

4. MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE EN ESPAÑA Y EN LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA

4.1. LA RESTAURACIÓN EN LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA

Una de las principales preocupaciones de las autoridades de la Comunidad Foral ha sido dotar de un alto nivel de protección medioambiental al entorno físico de la región.

Las figuras de protección sobre el territorio son muy numerosas, tanto las de carácter nacional como las desarrolladas por la propia comunidad autónoma, abarcando montes, fauna, flora, etc., que establecen las diferentes figuras de protección como Parques y Espacios Naturales, Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPAs), Lugares de Interés Comunitario (LICs), Patrimonio Forestal, etc.

A nivel estatal, debe reseñarse la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, de Patrimonio natural y Biodiversidad, La Ley 41/1997 de Conservación de Espacios Naturales y de la Fauna y Flora Silvestres y el Real Decreto 1803/1999 que desarrolla el Plan Director de la Red de Parques Nacionales. Así mismo, el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Impacto Ambiental de Proyectos.

Dentro de la Comunidad Foral, destacamos la Ley Foral 18/2002 que modifica la Ley Foral 2/1993 de Protección y Gestión de la Fauna Silvestre y sus Hábitats; la Ley Foral 9/1996 de Espacios Naturales de Navarra.

De especial interés para la actividad minera es la Ley Foral 4/2005, de 22 de marzo, de intervención para la protección ambiental, por la que se regulan las Declaraciones de Impacto Ambiental.

Con todas las figuras existentes, gran parte del territorio navarro cuenta con alguna protección ambiental. Por otra parte, la minería, además de presentar ante la autoridad minera el Plan de Labores en el que se destallan las actividades mineras a realizar, debe presentar, ante las autoridades ambientales, los planes de restauración del terreno afectado y, cuando sea preciso, la correspondiente Declaración de Impacto Ambiental, así como los avales necesarios para asegurar la correcta restauración de la explotación, una vez finalizada ésta.

4.2. EJEMPLOS DE RESTAURACIÓN EN EXPLOTACIONES DE LA COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA

En el caso de las numerosas graveras existentes, dada su ubicación en las riberas de los principales ríos, el terreno suele presentar características muy favorables para el cultivo, por lo que la forma más frecuente de restauración es, tras el suavizado de los taludes, preparar el terreno para un uso agrícola, en muchos casos plantando vides.

En otras ocasiones, y frecuentemente en el caso de explotaciones de otras sustancias, el hueco de la explotación pasa a tener un uso industrial, situando allí una planta de tratamiento, dedicándolo a vertedero de inertes para el municipio o como escombrera controlada.



Calabazas. Antigua explotación de gravas, en Mendavia. Actualmente restaurada para el cultivo de viñedos

Cuando se trata de grandes explotaciones de calizas o de ofitas, con frentes explotados en bancos, la restauración suele consistir en dejar pendientes no demasiado acusadas, unas alturas de banco adecuadas y con bermas de un ancho suficiente para que se pueda plantar vegetación. En el ejemplo de la fotografía, los bancos se dejaron con alturas de 10 metros y las bermas de 2,5



YANCI. Frente de calizas restaurado en el paraje Barrio Unanue, en Igantzi .





En el caso de la extracción de magnesitas, MAGNA completa el ciclo productivo de la extracción del mineral con la rehabilitación del espacio minero; en unos casos, acercándose al perfil original del terreno, trabajando para la recuperación de la cubierta vegetal; en otros casos, poniendo en valor distintos aspectos geológicos que salen a la luz con la explotación.

Cabalgamiento en materiales de muro del yacimiento.
Pliegues en los materiales de techo.

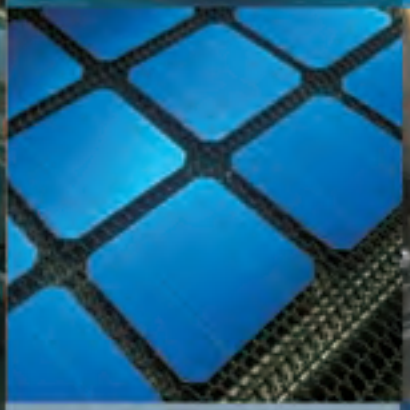
ANEXOS

EL RECORRIDO DE LOS MINERALES

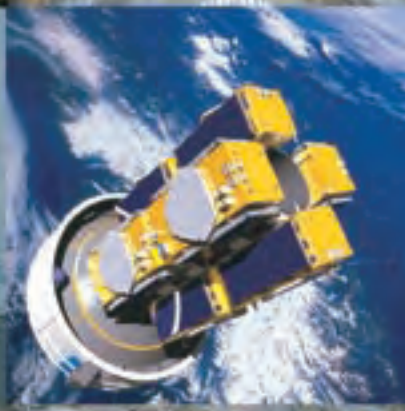










MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

Instituto Geológico
y Minero de España

Gobierno de Navarra
Departamento de Innovación,
Empresa y Empleo



Gobierno de Navarra
Departamento de Innovación,
Empresa y Empleo

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

Instituto Geológico
y Minero de España

contenido

1. ITINERARIOS

2. EXPERIENCIAS

MURALES

- Métodos de explotación a cielo abierto
- Métodos de explotación subterráneos
- Procesos de transformación de la piedra natural
- Los recursos energéticos y sus aplicaciones
- Técnicas de restauración minera
- Los minerales en tu entorno
- Minerales que consumes en tu vida

AUTORAS: **María del Milagro Escribano Bombín**
Licenciada en Química Agrícola
Alba Ingenieros Consultores, S.L.

Carmen Mataix González
Doctora en Biología
Alba Ingenieros Consultores, S.L.

TEXTOS COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA: Carmen Marchán (IGME) y Mª del Mar Trapote (CF Navarra)

© DE LA EDICIÓN: Domènech e-learning multimedia, S.A.

DISEÑO Y MAQUETACIÓN: Enrique Domínguez

ITINERARIO 1



Cantera de marga y planta de fabricación de cemento

IDENTIFICACIÓN:	CEMENTOS PORTLAND VALDERRIVAS, S.A.	
TÉRMINO MUNICIPAL:	Olazagutía	
PROVINCIA:	NAVARRA	
DIRECCIÓN:	Barrio de la Estación s/n.	km 396 carretera N1 Autovía del Norte
CONTACTO:	NIEVES LACERA LEMA	
TELÉFONO:	948 466 116	
E-mail:	mmlaceral@valderribas.es	

ACTIVIDAD PRINCIPAL:	FABRICACIÓN DE CEMENTOS
DURACIÓN:	2 HORAS
RESERVA:	NECESARIA CON 15 DÍAS DE ANTELACIÓN
GRUPO MÁXIMO / MÍNIMO:	MÁXIMO 25 VISITANTES
EDAD:	MAYORES DE 14 AÑOS
PRECIO:	GRATUITO

¿Qué vamos a ver?

Se visitará la cantera, viendo el transporte del material hasta el molino de la cantera.

También se visitará la restauración llevada a cabo en los terrenos ya explotados.

En la fábrica se realizará una explicación del proceso de producción de cemento, desde la entrada de materias primas hasta el producto final.

Se realizará una visita a las instalaciones principales: hornos, sala de control, molienda y expedición.

¿Qué hay de diferente?

A partir de diferentes minerales extraídos se produce, mediante procesos mecánicos y térmicos, un mineral artificial denominado *clinker*.

Este *clinker* tiene las propiedades necesarias para, una vez molido y mezclado con agua, ser un ligante (cementante).

El *clinker* es finalmente molido con yeso y otros minerales y materias para fabricar los diferentes tipos de cemento que se utilizan en el mercado.



Cantera de caliza y planta de fabricación de cemento



¿Cuáles son los componentes que hay que distinguir?

- **Materias primas** en bruto que son mezcladas y molidas para producir la materia prima (denominada crudo) que será introducida al horno.
- **Combustible (coque de petróleo)** que es molido para ser inyectado en los quemadores del horno.
- ***Clinker.*** Mineral artificial producido en el horno.
- **Cemento.** Producto final que proviene de la molienda a alta finura del *clinker*, yeso, caliza y otras adiciones.

Algunas cuestiones

1. ¿Cuál es la materia prima principal de la fabricación de *clinker* ?
2. ¿Qué otros minerales se utilizan en la fabricación del *clinker* y del cemento?
3. ¿Cuál es el componente principal de la caliza?
4. ¿Cuáles son los tipos y usos del cemento?

ITINERARIO 2



Cantera y fábrica Yesos Ibéricos

IDENTIFICACIÓN:	ALGISS – YESOS IBERICOS, S.A. URALITA
TÉRMINO MUNICIPAL:	MAÑERU
PROVINCIA:	NAVARRA
DIRECCIÓN:	PASEO SAN VICENTE S/N
CONTACTO:	ANTONIO DÁVILA
TELÉFONO:	948 340 219
E-mail:	antonio.davila@uralita.com
Web:	www.uralita.com

ACTIVIDAD PRINCIPAL:	FABRICACION DE YESO EN POLVO
DURACIÓN:	2 HORAS APROXIMADAMENTE
RESERVA:	NECESARIO 1 MES DE ANTELACIÓN
GRUPO MÁXIMO / MÍNIMO:	ENTRE 10 Y 15 VISITANTES
EDAD:	MINIMO 16 AÑOS
PRECIO:	GRATUITO

¿Qué vamos a ver?

Se visitarán varias fases del proceso de fabricación de yeso en polvo. Comenzaremos con la extracción del mineral en la cantera y con la molienda del mismo en las instalaciones de machaqueo. Posteriormente se visitara la fábrica donde se verá el proceso de transformación de mineral de yeso molido a producto final y el envasado del mismo.



¿Qué podemos destacar?

La explotación minera que gestiona ALGISS destaca por la proximidad con la fábrica que transforma el mineral en producto final. Por ello se gestiona el proceso como un todo, desde la extracción hasta la distribución del producto final, aplicando los estándares de calidad, seguridad y medio ambiente a todos y cada uno de los elementos que forman parte del mismo.

Muestras de ello son el elevado posicionamiento de los productos ALGISS en el mercado, el cumplimiento del año sin accidentes o la concesión de la Autorización Ambiental Integrada por parte de Gobierno de Navarra.



¿Qué caracteriza al yeso?

La piedra de yeso o aljez (sulfato cálcico dihidrato) se encuentra en abundancia en la mitad este de la península. Es una piedra sedimentaria que tiene su origen geológico en la desecación por evaporación de mares interiores con láminas de agua de poco espesor en clima árido.

Se encuentra en diferentes estados de cristalización pudiendo aparecer monocristales trasparentes como el espejuelo, en maclas como son las rosas del desierto, en formaciones policristalinas como el alabastro…

Se utiliza desde la antigüedad tanto para la construcción como para la decoración. Fueron los árabes quienes la introdujeron en España siendo a partir del siglo XVIII cuando se generaliza su utilización en la construcción.

Las características que prolongan su utilización a lo largo de los años son su adaptabilidad y facilidad de aplicación y propiedades como la regulación hidrométrica, el aislamiento acústico, el térmico y la elevada protección contra el fuego.

ITINERARIO 3





Mina Eugui y Fábrica de Magnesitas Navarras, S.A.

IDENTIFICACIÓN:	MAGNESITAS NAVARRAS S.A.
TÉRMINO MUNICIPAL:	Mina: Eugui (ESTERIBAR) Fábrica: Zubiri (ESTERIBAR)
PROVINCIA:	NAVARRA
DIRECCIÓN:	31630 ZUBIRI
CONTACTO:	J. Alberto Josa Mutuberría
TELÉFONO:	948 304017 / 948 30417
E-mail:	a.josa @magnesitasnavarras.es

ACTIVIDAD PRINCIPAL:	Extracción y calcinación de magnesita. Masas refractarias
DURACIÓN:	2, 3 HORAS
RESERVA:	Dos meses de antelación. (*)
GRUPO MÁXIMO / MÍNIMO:	Máximo: 30 personas, Mínimo 10 personas (**)
EDAD:	Mínimo, 12 años (**)
PRECIO:	

(*) Solicitar por escrito dirigido a Director General, D. Nicolás Gangutia.
(**) En ocasiones, se podría visitar la fábrica desde dentro con grupos de 10 personas y edad, no menor de 15 años.

¿Qué vamos a ver?

En la **mina de Eugui** se pueden ver los aspectos siguientes:

- Tipo de explotación, cómo se mueve
- Ciclo de producción: perforación – (voladura) – carga – transporte – planta – expedición
- Rehabilitación de la mina.

En la **fábrica y a vuelo de pájaro** (no se entraría en la misma), se verían

- El recorrido del material (tratamiento del carbonato, calcinación)
- Estructura de una fábrica
- Operaciones en torno al material



¿Qué hay de diferente?

En relación **con la mina**, las características particulares de la explotación van ligadas
- A la existencia de criterios de calidad para considerar una materia como mineral
- Al tipo de explotación que conlleva, "corta"
- Al alto movimiento de materiales originados

Al tiempo, y en lo que se refiere a rehabilitación,
- Gran esfuerzo por reconducir una explotación con muchos años de vida
- La simultaneidad de la explotación y la rehabilitación
- La aparición de distintos puntos de interés geológico (cabalgamiento Este, pliegues Sur) además de la propia serie de la explotación.

En relación **con la fábrica**, los aspectos más notables, están ligados
- Al gran número y complejidad de los tratamientos del mineral
- A la mecánica de alimentación al horno como respuesta a buen número de productos
- A la existencia de una planta de productos finales destinados a la siderurgia; aspecto significativo respecto a la otra explotación de magnesita en España (Magnesitas de Rubián)
- Al trabajo relevante en la expedición por el importante abanico de productos y formatos de expedición.

¿Cuáles son los componentes que hay que distinguir?

En mina , los componenetes que se pueden distinguir son:
- Zonas de extracción, la corta
- Zonas de destino de materiales, planta o escombreras
- Área de planta (puesto primario, puesto secundario, almacenamientos)
- Área de instalaciones auxiliares

- Zonas en activo
- Zonas rehabilitadas (modelo de escombrera, modelo de corta)

En fábrica, aspectos a destacar son:
- Áreas de almacenamiento de productos (De mina, crudos semielaborados, productos finales, combustible, …)

- Zona de tratamiento de carbonato (lavado y clasificado, medios densos, flotación, briquetado)
- Zona de calcinación (hornos)

- Zona de planta de masas
- Área de expediciones



EXPERIENCIA 1

Identificación de mármoles y calizas

Objetivo:

- Identificar las rocas carbonatadas mediante el uso de HCl, observando la efervescencia (desprendimiento de CO_2).

Material:

- Un vaso de precipitados.
- Un cuentagotas.
- Rocas carbonatadas: mármol, caliza, calizas fosilíferas... o minerales como la calcita. Fragmentos de granito y/o de cuarzo, materiales de construcción.
- Ácido clorhídrico diluido al 10% en volumen, o en su lugar limón o vinagre.

Un poco de información:

Las rocas carbonatadas, como los mármoles y las calizas, químicamente son carbonatos, sales del ácido carbónico. Generalmente suelen ser carbonatos de calcio: $CaCO_3$.

En presencia de ácido clorhídrico, el calcio de la roca se combina con dicho ácido clorhídrico (HCl), quedando libre el ácido carbónico (H_2CO_3) que se descompone en CO_2 y agua, produciendo una efervescencia característica.

$$CaCO_3 + 2HCl \longrightarrow CaCl_2 + CO_2 + H_2O$$

Esta reacción química se produce también aunque el HCl esté en una disolución al 10%, por lo que se recomienda para la identificación de carbonatos. La efervescencia no se produce si la roca no contiene carbonatos y por ello se usa a menudo en la identificación de rocas incluso en la geología de campo.

Puede realizarse con el jugo de un limón o un poco de vinagre. Algunas rocas ornamentales y varios tipos de pavimento doméstico también producen efervescencia.

Atención: el ácido clorhídrico (HCl) es nocivo para la salud.

Vierte sobre un fragmento de roca fresca unas gotas de ácido clorhídrico diluido, en frío.
Observa en qué tipos de rocas se produce o no efervescencia.



EXPERIENCIA 1

Identificación de mármoles y calizas

1. En caso de lluvia ácida, ésta contiene pequeñas cantidades de ácidos fuertes. ¿Qué efecto puede tener sobre monumentos de piedra caliza?

2. Hay suelos que parecen de granito que sorprendentemente reaccionan produciendo efervescencia. ¿Cuál debe ser su composición química?

3. En las cocinas ha dejado de usarse el mármol. Busca una explicación relacionada con la práctica anterior.

EXPERIENCIA 2

Un mineral en la pizarra

Objetivo:

- Determinar cuál de las tizas está hecha de yeso y cuál de calcita.

Material:

- Tizas diferentes: blancas, de colores, de sección cuadrada, de sección redonda...
- Solución de ácido clorhídrico diluida (10% en volumen).
- Un plato o un recipiente plano.
- Un vaso de precipitados para preparar la disolución.
- Un cuentagotas.

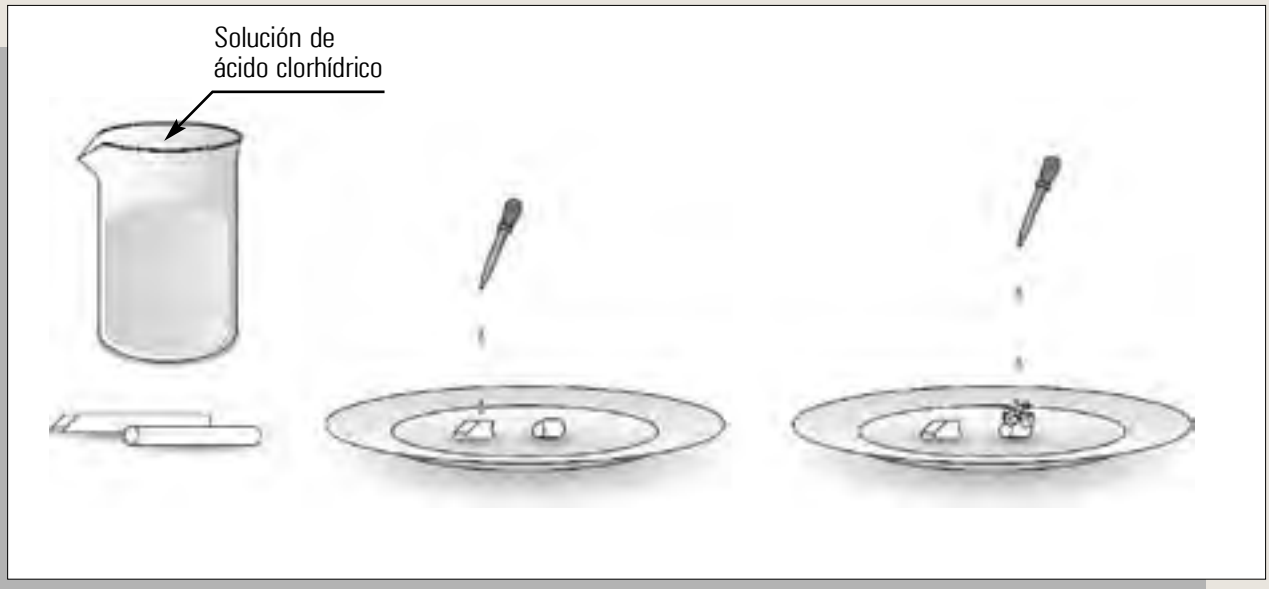
Un poco de información

En todas las aulas de tu colegio hay tizas. Se trata de un mineral blando y de color blanco y lo utilizamos para escribir en la pizarra. Hay tizas de dos tipos ya que están hechas de dos minerales diferentes: las de yeso que son más blandas y desprenden mucho polvo y las de calcita, que son más duras y no desprenden tanto polvo. En vuestro colegio puede que sólo utilicéis una de las dos. Ahora veremos de cual se trata.

Procedimiento
Coged fragmentos de las diferentes tizas y ponedlos en un plato o en cualquier otro recipiente plano. Tirad con mucho cuidado, unas gotas de solución de ácido clorhídrico sobre cada fragmento.

Pueden pasar dos cosas: o bien no pasa nada, o se produce una efervescencia. Si no ha pasado nada, es que realmente el mineral es de yeso y es el que hace más polvo. Si ha hervido, es calcita i es el mineral más duro y que hace menos polvo.

Seguramente en vuestro colegio utilizáis calcita para evitar que alrededor de la pizarra el ambiente se llene de polvo, se os ensucie la ropa, tengáis molestias al respirar o se os irriten los ojos.



EXPERIENCIA 2

Un mineral en la pizarra

1. La palabra "tiza" la utilizamos para nombrar lo que usamos para escribir en la pizarra, pero después de esta experiencia podéis determinar qué tipo de mineral utilizáis en vuestro colegio. ¿Qué utilizáis, yeso o calcita?

2. El yeso que se encuentra en la naturaleza se calcina (se quema) y se convierte en otra sustancia llamada escayola que tiene la ventaja que cuando se mezcla con agua, se puede modelar muy fácilmente, y cuando se seca, es muy resistente.
   La escayola se utiliza para muchas cosas diferentes. Escribe todas las utilidades que conozcas de la tiza, el yeso o la escayola.

EXPERIENCIA 3

¡Un mineral... para escalar!

Objetivo:

- Indentificar de forma simple la magnesita

Material:

- Magnesita en polvo (se puede encontrar en las tiendas de deportes)
- Talco en polvo
- Dos recipientes
- Una cucharilla

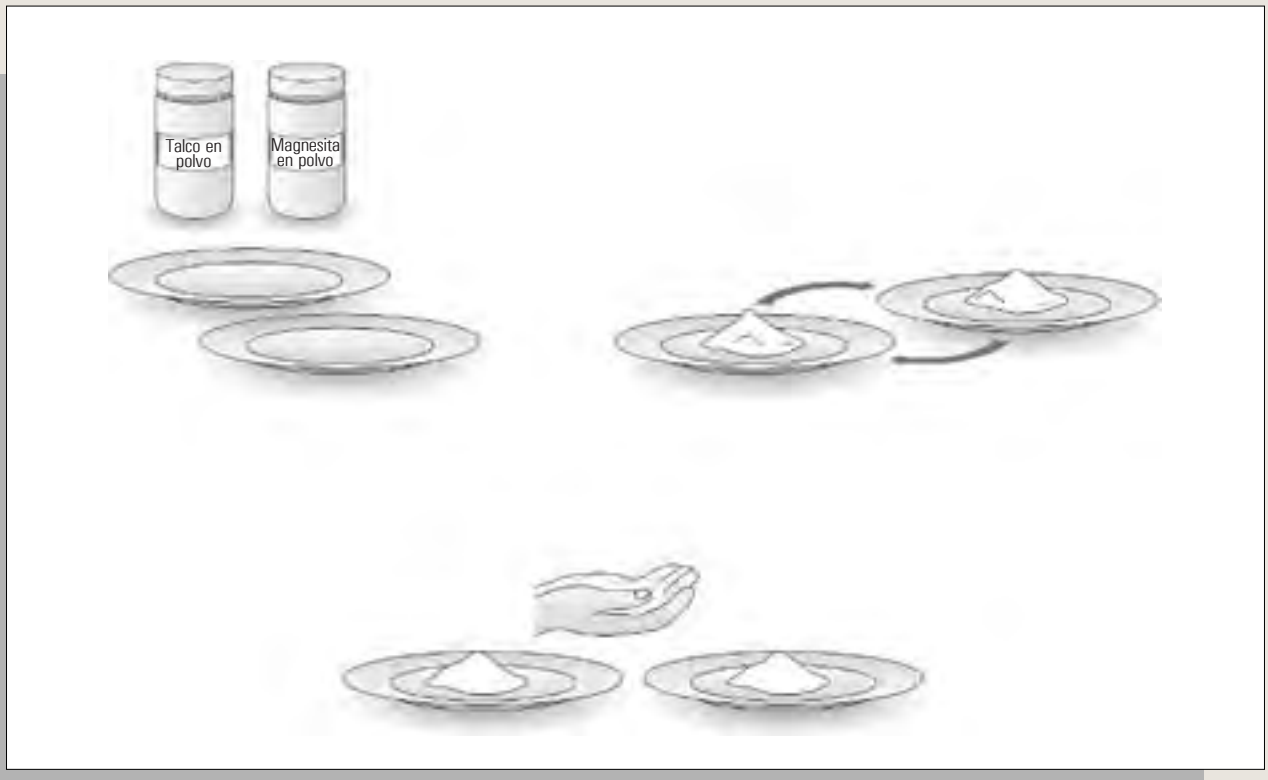
Un poco de información

Si conocéis a alguien que haga escalada o gimnasia con aparatos, seguro que tiene una bolsa con un polvillo blanco para ponérselo en las manos. Cuando se realiza un deporte en el cual es muy importante la adherencia de manos y pies sobre algún objeto, este polvo es perfecto para evitar resbalar.

El magnesio está formado por un mineral llamado magnesita que tiene un gran poder de absorción de líquidos de forma instantánea. El sudor de las manos, que podría ser un peligro, se elimina con toda eficacia.

La magnesita, poco frecuente en la naturaleza es de color blanco o amarillento.

Procedimiento:
Poned una cucharadita de talco en un plato y una de magnesita en otro. Moved los platos de manera que no sepáis que producto hay en cada plato.
Con los ojos cerrados y al mismo tiempo, coged un pellizco de polvo en cada mano y frotad los dedos de cada mano entre sí. ¡No mezcléis los productos!



EXPERIENCIA 3

¡Un mineral... para escalar!

1. ¿Qué notáis?
2. ¿Cuál de los dos utilizaríais para escalar? ¿Por qué?
3. ¿Cuál es cada uno de los minerales?
4. ¿Qué pasaría si en lugar de magnesita se utilizase talco para escalar?

EXPERIENCIA 4

Composición de las monedas del SME

Objetivo:

- Conocer la composición metálica cualitativa de las diferentes monedas que componen el sistema monetario europeo (SME), y estimar aproximadamente la composición cuantitativa en los diversos metales componentes de cada una de ellas.

Material:

- Imán
- Moneda de 0,10 €
- Moneda de 0,50 €
- Moneda de 1 €
- Moneda de 2 €



Un poco de información:

El uso amonedado de los metales se remonta a los inicios de la historia.
En principio, se utilizaron para ello el oro y la plata pero por su alto valor y escasez, relativa blandura, y poca resistencia al desgaste, pronto se recurrió a aleaciones de ambos metales con cobre, o a utilizar únicamente este metal o sus aleaciones (bronces, latones).
Ya en épocas modernas, y en complementariedad con el papel moneda, se adoptó la utilización del níquel en aleación con el cobre, y de aleaciones ternarias de alguno de estos dos metales con aluminio y cinc. Para monedas de bajo valor facial se pasó también a utilizar acero recubierto con otros metales.

El sistema monetario europeo (SME)
Este sistema comprende, desde el punto de vista de su composición metálica, tres clases de monedas: la de 1 y 2 €; el grupo fraccionario de 0,50; 0,20; y 0,10 €; y el grupo fraccionario de 5, 2, y 1 céntimos de €.

Las monedas de 2 € tienen un diámetro de 25,75 mm, un grosor de 2,20 mm y un peso de 8,50 g; la composición de la corona externa, de color blanco, es una aleación de cobre-níquel (cuproníquel), y el disco interior de color amarillo está formado por tres capas superpuestas de níquel-latón, níquel y latón-níquel.

Las monedas de 1 € tienen un diámetro de 23,25 mm, un grosor de 2,33 mm y un peso de 7,50 g; la composición de la corona externa de color amarillo es una aleación de níquel-latón, y el disco interior de color blanco está formado por tres capas superpuestas de cobre-níquel, níquel y níquel-cobre.

Las monedas de 0,50 € tienen un diámetro de 24,25 mm, un grosor de 2,38 mm, y un peso de 7,80 g; al igual que las monedas de 0,2 y 0,1 €. Son todas ellas de color amarillo y su composición es íntegramente de la aleación denominada oro nórdico.

Las monedas de 0,05 € tienen un diámetro de 21,25 mm, un grosor de 1,67 mm, y un peso de 3,92 g. Son de color rojizo que se transforma en marrón oscuro con el uso; la composición es íntegramente de acero recubierto de cobre.

EXPERIENCIA 4

Composición de las monedas del SME

1. Comprobar el comportamiento magnético de las diversas clases de monedas del SME teniendo en cuenta las siguientes propiedades magnéticas:

Propiedades magnéticas destacables:

- Los dos grupos de monedas de 1 y 2 € presentan propiedades magnéticas debido a su contenido de níquel, si bien atenuadas por la presencia mayoritaria de cobre lo que exige campos magnéticos fuertes para hacerlas ostensibles.
- El grupo de monedas fraccionarias de 0,5, 0,2 y 0,10 € no tienen propiedades magnéticas.
- El grupo de monedas fraccionarias de 0,05, 0,02 y 0,01 € son magnéticas y reaccionan como tales con campos relativamente débiles.

Información de interés:

Aleaciones utilizadas:

El cobre-níquel (cuproníquel) es una aleación binaria de color blanco formada por 75% de cobre y 25% de níquel.

El níquel-latón, o latón-níquel, es una aleación ternaria de color amarillo con 75% de cobre, 5% de níquel, 20% de cinc.

El oro nórdico es una aleación cuaternaria de color amarillo formada por 89% de cobre, 5% de aluminio, 5% de cinc, y 1% de estaño.

Composición cualitativa:

	Cu	Ni	Al	Zn	Sn	Fe	Peso (g)	Vol.(cm^3)	Den.(g/cm^{-3})
2 €	X	X		X			8,50	1,15	7,73
1 €	X	X		X			7,50	0,99	7,58
0,5 €	X		X	X	X		7,80	1,10	7,10
0,05 €	X					X	3,92	0,59	6,62

Composición de las aleaciones:

	Cu%	Ni%	Al%	Zn%	Sn%	Fe%	Den. (g/cm^3)
cobre	100						8,95
níquel		100					8,91
cobre-níquel	75	25					8,94
latón- níquel	75	5		20			
oro nórdico	89		5	5	1		
acero						100	

DIRECCIÓN: **Carlos López Jimeno**
Director General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid

COORDINACIÓN TÉCNICA: **Emilio Llorente Gómez**
Doctor Ingeniero de Minas
Profesor Emérito de la E.T.S.I. de Minas de la U.P.M.

Pilar García Bermúdez
Doctor Ingeniero de Minas

Jorge Vega Calle
Ingeniero Técnico Industrial

© DE LA EDICIÓN: Domènech e-learning multimedia, S.A.

PRIMERA EDICIÓN: 2007

DISEÑO Y MAQUETACIÓN: Enrique Domínguez

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN
Instituto Geológico y Minero de España

Gobierno de Navarra
Departamento de Innovación, Empresa y Empleo

TEXTOS COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA: **Carmen Marchán** (IGME) y **Mª del Mar Trapote** (CF Navarra).

© Comunidad Foral de Navarra
Departamento de Innovación, Empresa y Empleo

Depósito Legal:

Versión adaptada del Recorrido de los Minerales de la Comunidad de Madrid realizado por la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid.

La Suma de Todos
Comunidad de Madrid

Dirección General de Industria, Energía y Minas
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA
Comunidad de Madrid







MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
Y CIENCIA

Instituto Geológico
y Minero de España

Gobierno
de Navarra