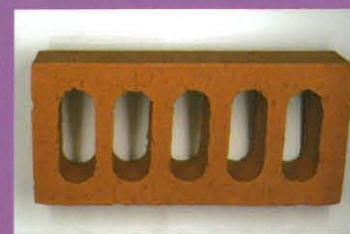


SEMINARIOS DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MINERALOGÍA

VOLUMEN 2

Utilización de Rocas y Minerales Industriales

Alicante 4 de julio de 2005



Editores:

M^a Ángeles García del Cura y Juan Carlos Cañaveras
(Universidad de Alicante)
(Laboratorio de Petrología Aplicada UA-CSIC)



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Instituto Geológico
y Minero de España

Sociedad Española
de Mineralogía

SEMINARIOS DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MINERALOGÍA

VOLUMEN 2

UTILIZACIÓN DE ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES

Editores:

M^a Ángeles García del Cura y Juan Carlos Cañaveras

Coordinadores del Seminario:

Juan Carlos Cañaveras, Vicente Gabaldón, Emilio Galán
y M^a Ángeles García del Cura



Sociedad Española
de Mineralogía



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



© M^a Ángeles García del Cura y Juan Carlos Cañaveras (Editores)
© Sociedad Española de Mineralogía

Depósito Legal: CA-602-2004
ISSN: 1698-5478

Impreso en España – Printed in Spain

2006

Fotocomposición e impresión: Compobell, S.L. – Murcia

Prefacio

Las rocas y minerales industriales constituyen junto con las menas metálicas, los denominados recursos minerales, una parte económicamente muy importante de los recursos naturales. Las rocas y minerales industriales presentan una amplia diversidad de usos, así como unos grandes intervalos de variación en precios, volumen de extracción, tipología de explotación... etc.

A pesar de esta gran heterogeneidad, se podrían aventurar algunos criterios sistemáticos de ordenación, en base al tipo de manufacturación que sufren para ser convertidas de materiales naturales en bienes de consumo. Así, en algunos casos, se usan los materiales pétreos sin ninguna modificación de sus características naturales, caso típico de algunos tipos de construcciones, terraplenes, piedraplenes, escolleras... etc. Otras veces, a los materiales pétreos se les dan formas más o menos definidas, sillares, tablas, bordillos, placas... etc., para usos constructivos diversos, revestimientos, pavimentos, paramentos ... etc., sin olvidar la rotura a favor de superficies de debilidad mecánica, como en el caso de las pizarras de techar. En otros casos se trata de obtener materiales granulares, naturales o de machaqueo, de uso intensivo, y en volúmenes muy elevados, casi siempre con selección previa de tamaños y/o formas, como ocurre con los áridos para hormigones, o los materiales granulares para pantallas drenantes, balastos, macadanés, ...etc. Algunos de estos materiales granulares o de machaqueo con minerales resistentes a la abrasión, que contienen de forma natural, o se adicionan, permiten obtener morteros resistentes al desgaste, o pueden ser usados como abrasivos. Otras veces con una molienda o ultramolienda se les puede incorporar como cargas minerales a productos industriales que confieren color, o refuerzan, o modifican propiedades mecánicas, de estos productos industriales. Otras veces se aprovechan propiedades físicas (impermeabilidad, capacidad de adsorción de iones, gases,... etc.) de los materiales, minerales del grupo de las arcillas s.l., zeolitas, diatomitas,... etc.

El tratamiento térmico de diferentes tipos de materiales naturales, de mezclas de estos o con los óxidos de elementos metálicos, está en el origen de los materiales cerámicos s.s.

(cerámicas, vidrios, refractarios, cerámicas de altas prestaciones tecnológicas: las cerámicas con propiedades aislantes, piezoeléctricas, con propiedades magnéticas, o superconductoras...). Incluso pueden, mediante molienda, dar lugar a la gama de los diferentes tipos de materiales aglomerantes inorgánicos (cales, cementos hidráulicos, yesos,...). Por otra parte, el tratamiento térmico está en la base de la fabricación de áridos ligeros, fibras sintéticas (aislantes, resistentes,...).

Existe una serie de materiales naturales básicos en la industria: haluros, fluoruros, fosfatos, sulfatos, boratos, que entran a formar parte de amplios usos industriales, incluida la industria química, los fertilizantes, correctores de suelos, las cargas artificiales...

Por las razones antes apuntadas, y en especial por la heterogeneidad y diversidad de las rocas y minerales industriales, resulta especialmente atractivo en este libro, «**Utilización de rocas y minerales industriales**». Así, es de notable interés el artículo de Khünel, sobre «*Mineral Policy for industrial mineral and rocks*», en el que se presenta una revisión de las bases conceptuales para su exploración, e investigación, y en su caso aprovechamiento. En el mismo se analizan las características tipológicas de los yacimientos, precios, usos, categorías, especificaciones, por otra parte comunes para todos los recursos minerales, dando una clara idea de su amplia casuística. En el mismo sentido, el artículo de Kuzvart, «*Industrial Minerals and Rocks in the 21st Century*», presenta la vinculación de las rocas y minerales industriales con los diferentes ambientes geológicos y petrogenéticos, los nuevos campos de desarrollo e investigación de las rocas y minerales industriales, las características de los mercados, la dimensión global de las grandes empresas del sector, y su papel en relación con el medio ambiente (por el impacto de sus explotaciones y por su capacidad de solucionar algunos problemas medio ambientales) y la necesidad de defender la sostenibilidad de la producción, así como una revisión de los nuevos usos. El artículo de Calvo Sorando, «*Panorama actual de las rocas y minerales industriales en España*», revisa la situación socio-económica de este tipo de recursos minerales en España, su valor de la producción, creación de empleo, evolución y tendencias temporales de la producción, así mismo señala la nueva línea de desarrollo de la elaboración de nuevos mapas de Rocas Industriales a escala 1:200.000. También presenta algunos ejemplos de estudios previos regionales de ordenación del sector de áridos, para un desarrollo sostenible de sus explotaciones.

Quizá una de las características que mejor definen a las rocas y minerales industriales, como se ha dicho anteriormente, es que pueden ser usadas de modo diverso, y cambiante según la demanda y la tecnología disponible, y en este sentido en este libro se presenta una gran variedad de ejemplos. En el artículo de Galán y Aparicio: «*Materias primas para la industria cerámica*», presentan una revisión del proceso de fabricación de cerámicos, y una descripción de las materias primas, que se usan en la fabricación de este tipo de productos, así como las propiedades que confieren a la pasta cerámica, y las características que las mismas aportan al producto final. El artículo de Rincón: «*Materias primas para la industria del Vidrio*», analiza en profundidad los tipos y usos de los productos vítreos (vidrio, gresite, vidriados y vitrocerámico), incluyendo las características mineralógicas y en su caso granulométricas de los vitrificantes, así como de los minerales y óxidos contaminantes. Se describen los fundentes más importantes, así como los materiales estabilizantes y componentes secundarios, usados como aditivos para darles acabados de calidad, transparencia y coloración determinados. En cuanto a los materiales vitrocerámicos, se analizan fundamentalmente las materias minerales que aportan litio, así como el uso de rocas basálticas

y fosfatos de litio en la fabricación de este tipo de materiales. Mención especial merece el uso de diferentes tipos de vidrios reciclados y de residuos de procesos industriales, estériles de minas, lodos de hidrometalurgia, lodos de corte de rocas ornamentales, cenizas de alto horno,..., en la fabricación de diferentes tipos de productos vítreos.

«*Los minerales utilizados en agricultura*», de Rodas y Fernández Barrenechea, muestra uno de los usos más clásicos y antiguos de las rocas y minerales industriales, como son las sustancias que aportan nutrientes (N, P, K), nutrientes secundarios (Ca y SO_4^{2-}) y micronutrientes (B, Fe, Mn, Cu, Zn y Mo). En el artículo se hace una profunda revisión de los yacimientos de fosforitas, el procesado de las mismas y sus subproductos.

En el escenario de la «Revolución Tecnológica Global 2015», la revolución en los materiales y en su manufacturación, pasa por el diseño de materiales inteligentes (smart materials), nanomateriales (nanotubulos, nanocomposites, nanosemiconductores de efecto cuántico,.. En este sentido el artículo de Khünel, «*Industrial mineral and rocks for high technology products*», apunta en la dirección adecuada para el futuro de este importante y estratégico sector productivo. Los productos de partida para la fabricación de estos materiales cerámicos de alta tecnología son: a) metales y aleaciones metálicas: Be, Ce, Mg, Si, [BeCu], [FeSi], [ThMg], [BNdFe]; b) óxidos: Al_2O_3 , CaO, Fe_2O_3 , MgO, REO, TiO_2 , y ThO_2 ; y c) otros compuestos puros y minerales, K_2CO_3 , LiCO_3 , Na_2CO_3 , SiC, cordierita, cryolita, hectorita, periclasa, wollastonita,... etc. En la fabricación de estas cerámicas se usa tecnología de plasma, laser y de gyrotron, que permiten alcanzar puntos de cocción y fusión en las mejores condiciones. Con estas técnicas y materias primas se fabrican los biocerámicos ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), electrocerámicas aislantes, cerámicas piezolétricas y electroópticas, cerámicas magnéticas, cerámicas superconductoras... etc. Todas estas cerámicas de alta tecnología, cuyos ejemplos aparecen a este artículo, exigen no sólo materias primas nuevas, sino investigación básica en estos nuevos materiales inteligentes (smart materials), que van a definir el futuro desarrollo tecnológico de la Revolución Tecnológica Global.

El artículo de Galán y González: «*Minerales y rocas industriales usados para protección ambiental*», presenta un novedoso análisis de rocas y minerales industriales que pueden ser usados como aislantes de residuos contaminantes concentrados, o bien aquellos que pueden ser usados para depuración de los contaminantes del medio. En la amplia variedad de usos que contemplan los autores, se puede distinguir: a) Neutralización de aguas ácidas de minas, calizas, dolomías, trona y natrón; b) Inmovilización de cationes en suelos, oxi-hidróxidos de hierro y manganeso, arcillas, zeolitas...; c) Adsorción de metales pesados, oxi-hidróxidos de hierro y manganeso, esmectitas, vermiculitas, rocas volcánicas alteradas; d) Depuración de aguas y productos industriales: diatomitas, pumitas, perlitas, zeolitas y arcillas; e) Impermeabilización y sellado de vertederos de residuos no radioactivos, arcillas bentoníticas, pumita, cemento Portland, mezclas de calizas y arcillas; Impermeabilización y sellado de almacenes de residuos radioactivos de alta actividad, donde se usan bentonitas compactadas como barrera de protección entre la cápsula metálica y la roca de la excavación.

La durabilidad de las rocas ornamentales, concebida como la aptitud para mantener sus propiedades mecánicas y su aspecto durante largos periodos de tiempo está relacionada con la interacción entre las características del sistema poroso y las propiedades mecánicas de los materiales pétreos. En el artículo de Benavente, «*Propiedades físicas y utilización de rocas ornamentales*», se hace una descripción detallada de los métodos de investigación de la porosidad, su estructura, distribución del tamaño de poro, forma de los poros,

distribución espacial de la porosidad, así como algunas propiedades hídras relacionadas con la porosidad: permeabilidad, difusibilidad al vapor de agua, capilaridad y secado de las rocas. Por otra parte se describen los ensayos que permite definir el comportamiento mecánico mediante ensayos destructivos (ensayos de compresión, tracción y flexión), y la determinación de los módulos elásticos estáticos de Young y Poisson. La caracterización mediante ensayos no destructivos (ensayos con técnicas sónicas, ondas P y S), usando diferentes configuraciones emisor-receptor, permiten estimaciones de la porosidad, de la anisotropía de la fábrica del sistema pétreo, aproximación al grado de fracturación...etc., y por supuesto la estimación de los módulos elásticos dinámicos de Young y Poisson. La gran ventaja de las técnicas no destructivas es su gran repetibilidad para un mismo material, a la vez que la posibilidad de hacer multitud de medidas espaciales, lo que permite relacionarlas con propiedades hídras espaciales.

La conservación del Patrimonio Histórico ha sido objeto de importantes inversiones, que en el caso de España crecen a un ritmo mayor que el IPC; en muchas de las intervenciones, de ampliación o conservación, se usan importantes cantidades de materiales pétreos. Y en este sentido, el artículo de Fort, «*Utilización de la piedra natural en restauración*», presenta un amplio panorama de estos usos y los límites en las intervenciones que deben de hacerse con el objeto de preservar el Patrimonio Histórico, y a la vez mantener su autenticidad. En primer lugar la conservación de los elementos constructivos pétreos de un edificio, es el resultado de la «durabilidad» inicial del material, de su posición estructural en la obra, de su colocación frente a los esfuerzos de la estructura del edificio, y del uso y mantenimiento del edificio, todo ello sin menoscabo de las características ambientales, cimentación, posición del nivel freático... etc. En la conservación de los materiales pétreos, se puede optar por consolidar, preservar, proteger los elementos constructivos originales, manteniendo la autenticidad de la edificación; o bien optar por sustituir el material, dejando en todo caso señales y marcas que permitan identificar de modo incontestable este hecho. En todo caso, en el artículo se analizan los puntos básicos de la concepción de las labores de restauración. La selección de materiales de sustitución, justifica sobradamente la búsqueda de las canteras históricas, el desarrollo de técnicas artesanales de corta y labra de elementos constructivos, y la búsqueda de criterios que permitan establecer la idoneidad, durabilidad, compatibilidad del material pétreo de sustitución.

Por último resulta interesante señalar algunos usos especiales de los materiales pétreos, por su importancia económica en España, con valores de producción anual superiores a 350 m€, las pizarras de techar representan un importante recurso circunscrito a las provincias de Orense y Lugo, con fluctuaciones cíclicas en la demanda, pero con una gran proyección en los mercados europeos. En el artículo de Cárdenes, Pais, García Guínea y Gómez Fernández, «*Pizarras de techar*», se aborda toda la compleja problemática de estos materiales. Se hace en el artículo una amplia referencia al marco geológico de los yacimientos españoles (Sinclinal de Truchas). Así como a las características estructurales de estos materiales (foliación, intersección estratificación-exfoliación, kinks, crenulación, red de fracturas y diaclasado), y a la orientación y estabilidad química de sus minerales, aspectos en los que reside gran parte de su aptitud como materias primas para obtener pizarras de techar, y el rendimiento de las explotaciones. De igual manera que cualquier otra roca de construcción, debe de cumplir unas especificaciones genéricas de durabilidad y estabilidad, así como de características de seguridad frente a incendios, aspectos relaciona-

dos con la salud y el medio ambiente, seguridad en sus usos específicos, así como garantía del aislamiento térmico y acústico. Por otra parte deben tener determinadas características de variación dimensional, resistencia mecánica, permeabilidad al agua y durabilidad (contenido en carbonatos, absorción de agua, ensayos de heladicidad, exposición a atmósferas contaminadas. Mención aparte merecen, por su importancia en la durabilidad, las pautas de oxidación de los sulfuros metálicos, pero muy especialmente los de hierro, en función de la fábrica, y las texturas de estos minerales, así como los procedimientos para, en su caso, inhibir la oxidación de los mismos.

Otro uso importante de las rocas de construcción es como pavimentos, Bernabéu, en su artículo «*Utilización de rocas como pavimentos*» revisa la tipología básica de los pavimentos, en función de sus dimensiones. Para luego avanzar una serie de técnicas muy específicas como es la resistencia al deslizamiento, estimada mediante el péndulo de fricción TRRL; la resistencia a la abrasión, estimada mediante la «máquina de desgaste»; las propiedades mecánicas, fundamentalmente la resistencia a flexión y al impacto; así como los clásicos ensayos de durabilidad frente a los ciclos de hielo-deshielo, humedad-sequedad... Por último, se señalan las bases para su colocación, aspecto básico a la hora de conseguir una buena durabilidad en obra.

Por último, el artículo de García Guinea, Correcher, Sánchez Muñoz y Cárdenes sobre: «*Utilización de las rocas en ornamentación. Mosaicos de piedras tipo séctile: historia, técnicas, diseños, análisis y valoración*», revisa los antecedentes de mosaicos, marquetería lapidaria, teselas, así como la tecnología para su elaboración, y la posibilidad de ser abordados por la industria actual de elaboración de revestimientos y encimeras. En todo caso da una imagen de las inmensas posibilidades que se abren de usar recortes de grandes instalaciones de manufactura de roca ornamental, usando adhesivos, y materiales de soporte adecuados, pero añadiendo mucho de diseño y creación artística.

El libro «**Utilización de rocas y minerales industriales**», viene a llenar un vacío dentro de los recursos minerales, ya que sin intentar ser exhaustivo, presenta una serie de ejemplos realizados por especialistas, que investigan y crean conocimiento en los temas abordados, a la vez que se señalan líneas novedosas, y de un futuro prometedor. Por otra parte, permite a expertos y estudiantes de la temática ponerse en contacto con temas novedosos, presentados desde todos los enfoques posibles. El hecho de aparecer en los «Seminarios de la Sociedad Española de Mineralogía», garantiza su difusión y es una prueba de la vitalidad de la SEM.

Salvador Ordóñez
Universidad de Alicante

Relación de Autores

David Benavente

Profesor de Petrología y Geoquímica

Universidad de Alicante

Laboratorio de Petrología Aplicada. Unidad Asociada CSIC-UA

Ana Bernabéu

Profesora de Petrología y Geoquímica

Universidad de Alicante. Laboratorio de Petrología Aplicada

Unidad Asociada CSIC-UA

Jose Pedro Calvo Sorando

Catedrático de Petrología y Geoquímica

Director del Instituto Geológico y Minero de España

Victor Cardenes

Responsable I+D

Laboratorio de Pizarras de Sobradelo de Valdeorras

Virgilio Correcher

Investigador del CIEMAT

José Fernández Barrenechea

Profesor de Mineralogía

Universidad Complutense de Madrid

Rafael Fort

Investigador del CSIC

Instituto de Geología Económica. CSIC

Laboratorio de Petrología Aplicada. Unidad Asociada CSIC-UA

Emilio Galán

Catedrático de Mineralogía

Universidad de Sevilla

Javier García Guinea

Profesor de Investigación del CSIC

Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC

Fernando Gómez

Profesor de Prospección e Investigación Minera

Universidad de León

Radko A. Kühnel

Investigador ITC, Delft

Miloš Kužvart

Catedrático de Mineralogía

Charles University. Prague

Víctor País

Geólogo prospector

Empresa Pizarrera Expiz

Jesús M^a Rincón

Profesor de Investigación del CSIC

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC

Magdalena Rodas

Catedrática de Mineralogía

Universidad Complutense de Madrid

Luis Sánchez Muñoz

Investigador del CIEMAT

ÍNDICE

Mineral policy for industrial rocks and minerals	15
<i>R. Kühnel</i>	
Materias primas para la industria cerámica	31
<i>E. Galán y P. Aparicio</i>	
Materias primas para la industria del vidrio	49
<i>J.M. Rincón</i>	
Minerales utilizados en agricultura	75
<i>M. Rodas González y J. Fernández Barrenechea</i>	
Industrial minerals and rocks for high technology products	89
<i>R. Kühnel</i>	
Minerales y rocas industriales usados para protección ambiental	101
<i>E. Galán e I. González</i>	
Propiedades físicas y utilización de rocas ornamentales	123
<i>D. Benavente</i>	
Utilización de la piedra natural en restauración	155
<i>R. Fort González</i>	
Pizarras de techar	183
<i>V. Cárdenes Van den Eynde, V. País Diz, J. García Guinea y F. Gómez Fernández</i>	

Mosaicos de piedras tipo séctile: historia, técnicas, diseños, análisis y valoración .	217
<i>J. García-Guinea, V. Correcher, L. Sánchez-Muñoz y V. Cárdenes Vanden Eynde</i>	
Utilización de rocas como pavimentos	247
<i>A. Bernabéu</i>	
Panorama actual de las rocas y minerales industriales en España	267
<i>J.P. Calvo Sorando</i>	
Industrial Minerals and Rocks in the 21st Century	287
<i>M. Kužvart</i>	