

# LA CANTERA DE MONT PALAU I: INFLUENCIA DE LA MINERALOGIA DE LOS ARIDOS EN LA DURABILIDAD DEL HORMIGON

J. S. CHINCHON, A. LOPEZ y X. QUEROL (\*)  
C. AYORA (\*\*)

**RESUMEN.** Se estudia la mineralogía de los áridos de la cantera de Mont Palau (Pineda de Mar — Barcelona —) y la mineralogía de los productos de meteorización generados en un proceso, en el que el papel más importante debe asignarse a la degradación de la *pirrotina* y la *pirita* contenidos en los áridos. A partir de las reacciones de equilibrio entre las especies químicas involucradas, se construye un diagrama  $pE$ - $pH$  para interpretar los dos ambientes de meteorización distintos asociados a cada una de las litofacies que forman los materiales de la cantera: calizas de la Serie Carbonatada y filitas de la Serie Negra.

*Palabras clave:* Aridos, Productos de meteorización, Hormigón, Durabilidad, Diagramas  $pE$ - $pH$ .

**ABSTRACT.** We studied the mineralogy of the aggregates from Mont Palau quarry (Pineda de Mar — Barcelona —) and the mineralogy of the products of weathering arising from a process in which the most important role is played by the degradation of pyrrhotite and pyrite contained in the aggregates. A  $pE$ - $pH$  diagram was constructed from the equilibrium reactions of the chemical species involved, in order to interpret the two different processes of weathering associated with each of the lithofacies which make up the aggregates of the quarry: limestones of the Serie Carbonatada and shales of the Serie Negra.

*Key words:* Aggregates, Products of weathering, Concrete, Durability,  $pE$ - $pH$  diagrams.

## 1. INTRODUCCION

Durante el período comprendido entre 1970-1972, el hormigón de algunos inmuebles y obras públicas de la región catalana del Maresme (Barcelona) sufrió un proceso de fisuración que en algunos casos tuvo como efecto final la destrucción de la obra. Todos los hormigones afectados tenían en común el contener áridos con grandes cantidades de sulfuros, fundamentalmente *pirrotina*, de la cantera de Mont Palau de Pineda de Mar (Barcelona).

Desde entonces hasta hoy, distintos profesionales relacionados con la industria de la construcción se han ocupado del estudio de las patologías causadas en el hormigón por este tipo de áridos [entre otros Majó (1973), Mach y Roca (1973), y Vázquez y Toral (1975)]. En sus estudios se hace incapie sobre todo en criticar la Normativa española que regula la utilización de áridos con sulfuros de hierro en el hormigón (Norma UNE 7245, que ha estado en vigor hasta julio de 1988), ya que utiliza una marcha analítica en la que el error por defecto que introduce en la determinación de los sulfuros puede ser muy importante, dando por idóneos áridos que en realidad no lo son.

(\*) Doctores en Ciencias Geológicas. Instituto de Geología «Jaime Almera». UEL de Geología Ambiental. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

(\*\*) Doctor en Ciencias Geológicas. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Yacimientos Minerales de la Facultad de Geología. Universidad de Barcelona.

### Abreviaturas:

Existen en el texto las siguientes abreviaturas:

DRX: Difracción de rayos X.

SEM: Microscopio electrónico de barrido (Scanning electron microscopy).

SEM EDXA: Análisis por dispersión de energías en microscopía electrónica de barrido.

Falta no obstante una detallada descripción de los materiales de la cantera desde el punto de vista mineralógico, así como del proceso que explique los compuestos generados en la meteorización. En este trabajo se estudia la mineralogía de los áridos de la cantera de Mont Palau y la de los productos de alteración, estableciendo un modelo de relación entre ellos, así como la responsabilidad que la degradación de los sulfuros de hierro tiene en el proceso.

Este mismo modelo cabe extrapolarlo al proceso de meteorización sufrido por los hormigones del Maresme (con independencia de la reacción árido-hormigón), su-

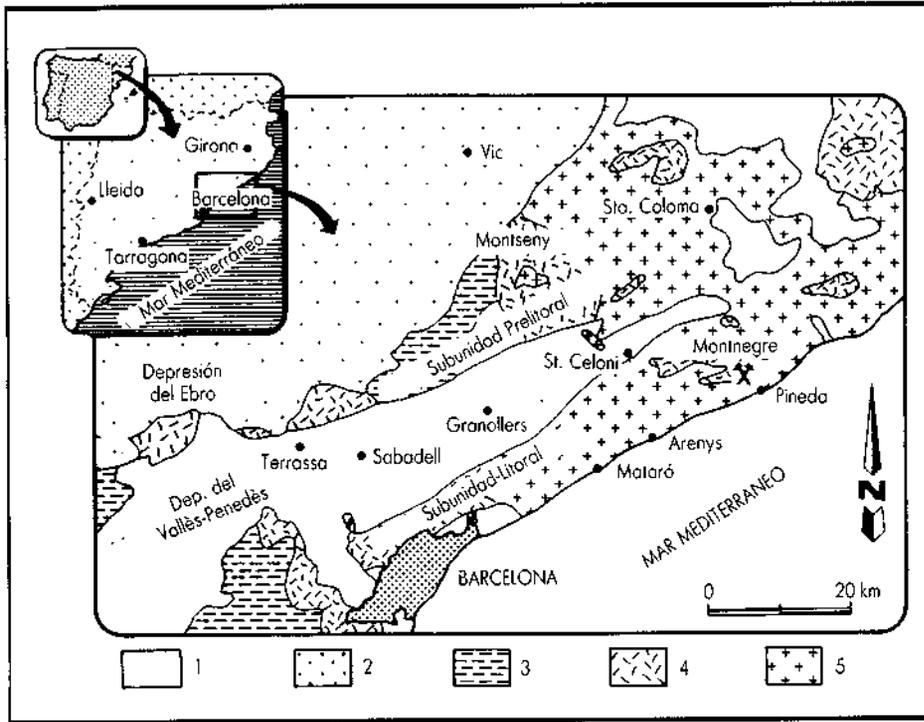


FIGURA 1. Esquema de la situación geográfica y geológica.  
 1) Cuaternario y Mioceno.  
 2) Oligoceno y Eoceno.  
 3) Mesozoico. 4) Paleozoico.  
 5) Rocas plutónicas ácidas.

puesto que los áridos son materiales en los que el coste de transporte hace que la distancia entre el lugar de producción y de utilización sea pequeña y, por tanto, las condiciones climáticas de la cantera y de las zonas del Maresme donde se han utilizado los áridos se suponen similares.

## 2. LA CANTERA DE MONT PALAU. SITUACION GEOGRAFICA Y GEOLOGICA

La cantera de Mont Palau se sitúa dentro del término municipal de Pineda de Mar en la comarca del Maresme, a unos 60 km al NE de Barcelona (fig. 1). Los materiales se engloban dentro de los relieves que conforman la Subunidad Litoral Catalana en su extremo septentrional. Concretamente su ubican en la base oriental del macizo del Montnegre, dentro de un afloramiento de metasedimentos paleozoicos intruidos por granitoides hercínicos pertenecientes al batolito del Maresme.

Los materiales están compuestos esencialmente por calizas con sulfuros de hierro pertenecientes a la parte inferior de la Serie Carbonatada y en una proporción menor por filitas negras infrayacentes de la Serie Negra también con gran cantidad de sulfuros de hierro. El contacto entre ambas litofacies es transicional. Carmona y Viladevall (1983) atribuyen al conjunto de estos materiales una edad Silúrico Superior.

Los materiales han sido deformados durante la orogénia hercínica, desarrollándose principalmente pliegues sinclinales WNW-ESE (Fontboté y Julivert, 1954). Probablemente contemporánea a esta fase de de-

formación tiene lugar una recrystalización metamórfica regional de los sedimentos en un grado débil a muy débil con la aparición de *clorita*, *moscovita* y *biotita* (Carmona y Viladevall, 1983).

La intrusión posterior de granitoides hercínicos, con rocas filonianas asociadas, provoca en los metasedimentos fenómenos térmicos de metamorfismo de contacto con el consiguiente cambio en la textura y la mineralogía de los materiales.

Una serie de fracturas de plano subvertical afecta al conjunto de materiales anteriores complicando más la neta separación de las calizas de la cantera con el resto de litofacies circundantes, principalmente las filitas negras. Una cizalla de plano subhorizontal, con lentejones ocasionales de *cuarzo* y *fluorita* en la zona de intensa deformación, secciona las estructuras anteriores y constituye el límite inferior de la explotación. En la figura 2 se ofrece un Corte Geológico de la cantera de dirección NE-SW.

## 3. MINERALOGIA DE LOS ARIDOS

Los áridos se hallan compuestos fundamentalmente por calizas, filitas negras y sulfuros y en proporciones menores zeolitas y arcillas. En lugares discretos de la cantera, coincidiendo con las zonas de circulación de aguas superficiales, se observan importantes cantidades de productos de meteorización de los sulfuros.

### CALIZAS

Constituyen aproximadamente el 70 % del volumen de la explotación. Compuestas por *calcita*  $\text{CaCO}_3$  recrystal-

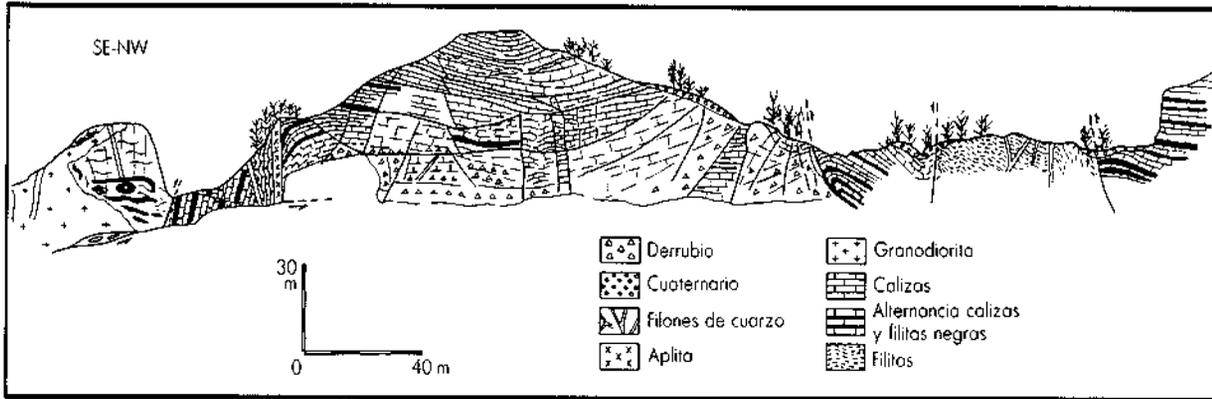


FIGURA 2. Corte geológico de la cantera de Mont Palau.

lizada y *dolomita*  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  en una relación *calcita/dolomita* de 92/8. Dicha relación se ha establecido por DRX utilizando las constantes calculadas por Chinchón et al. (1986) para las reflexiones 104 de la *calcita* y 104 de la *dolomita*. Las calizas contienen, ocasionalmente, masas centimétricas de calcosilicatos, como *grossularia*  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  y *wollastonita*  $\text{CaSiO}_3$ , formadas por la circulación de soluciones hidrotermales próximas a la intrusión de los granitos hercénicos (skarn).

**FILITAS NEGRAS**

Constituyen aproximadamente el 25 % del volumen de la explotación. Se componen de *materia orgánica*, *cuarzo*, *feldespato* y *moscovita*. En una aureola de unos 300 m alrededor de la intrusión granítica, que abarca al conjunto de la cantera, las filitas negras contienen abundante *grafito* C y *andalucita quíastolítica*  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ , formadas por el metamorfismo de contacto inducido por la intrusión.

**SULFUROS**

El sulfuro predominante es la *pirrotina*  $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$  *hexagonal*. La *pirrotina* forma niveles de potencia milicentimétrica y agregados milimétricos diseminados, tanto en las calizas como en las filitas negras. Se trata de mineralizaciones sedimentarias englobadas en las facies reductoras descritas y que han sufrido todos los procesos de la historia geológica que han afectado a las rocas encajantes.

El siguiente sulfuro en importancia es la *pirita*  $\text{FeS}_2$ . Se forma: a) por sulfuración a expensas de la *pirrotina* en texturas «bird eyes», que afectan al conjunto de la *pirrotina* (foto 1), b) diseminaciones en zonas de fractura de ámbito centimétrico.

El contenido en As, Zn, Cu y Pb, analizado por FRX tanto en las calizas como en las filitas negras, implica cantidades prácticamente inexistentes de otros sulfuros.

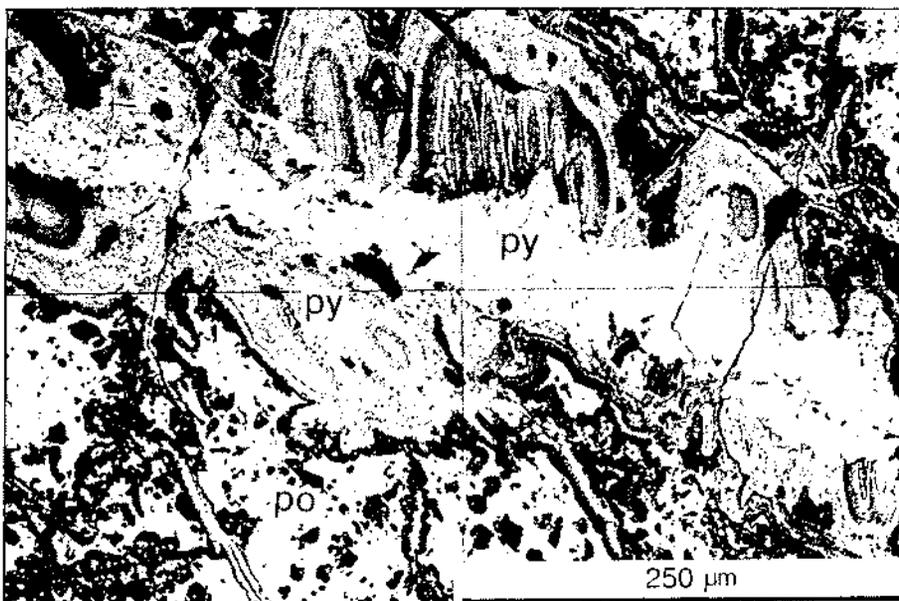


FOTO 1. Pirita (py) formada a expensas de la pirrotina (po). Texturas «bird eyes». Microsc. óptic.

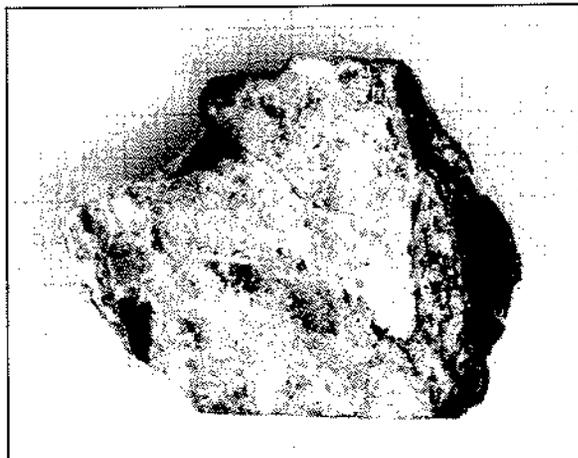
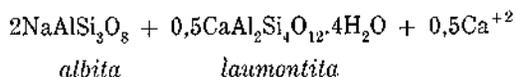
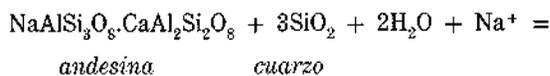


FOTO 2. Filito negro recubierta de laumontita.

### ZEOLITAS

Se observa *laumontita*  $\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  formando pántinas en los planos de las filitas negras (fotos 2 y 3). El hecho de encontrar la *laumontita* cementando de algún modo las filitas, así como el que el espectro de DRX del feldespato en contacto con esta zeolita se ajuste al de una plagioclasa de término *albita*, sugiere una formación definida por Boles y Coombs (1977) como albitización de la plagioclasa:



Para estos autores, este cemento de *laumontita* puede haberse formado a temperaturas inferiores a 50 °C y, de acuerdo con su aparición en grietas y superficies, su origen se atribuye en nuestro caso a la circulación de aguas superficiales.

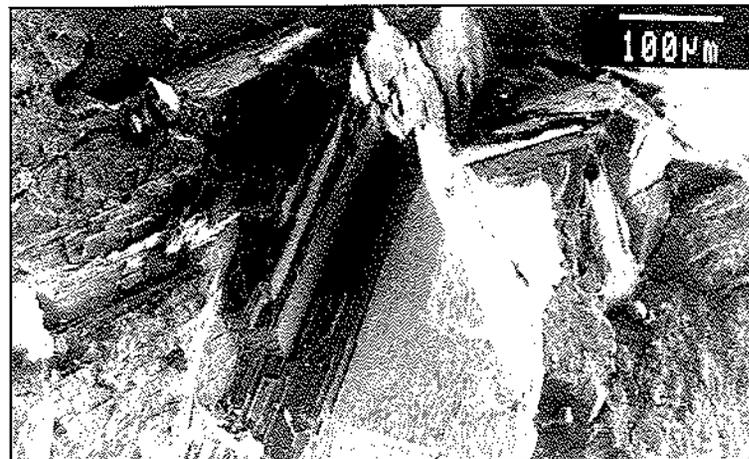


FOTO 3. Aspecto de la laumontita al SEM.

### ARCILLAS

En el análisis de la fracción arcilla de los áridos se han identificado por DRX las siguientes especies minerales:

**Coolinita.** La reflexión 001 (7,1 Å) permanece después de un tratamiento con etilenglicol y se colapsa después de un tratamiento a 500 °C durante 2 horas. Puesto que la *coolinita* no es estable en procesos metamórficos (Muffler y White, 1969; Hower et al., 1976), su origen se atribuye a la meteorización de los *feldespatos* (Velde, 1985).

**Vermiculita.** La reflexión 001 (14,2 Å) se colapsa pasando a 9,98 Å después de estar sometida 2 horas a 500 °C. Tratada con etilenglicol no se produce expansión lo que la diferencia de las *esmectitas*. La fase *vermiculita* suele formarse en los primeros estadios de la meteorización en donde existen en solución gran concentración de iones.

**Illita.** El término *illita* es usado colectivamente para denominar todos los minerales de arcilla de 10 Å que no son expansivos (Gaudette et al., 1964). Para otros autores, la distinción entre *illita* y mica propiamente dicha es exclusivamente un problema de tamaño. A partir de la relación de intensidades difractadas entre los espaciados (10 Å/5 Å) y de la reflexión 060 (Thorez, 1976), la *illita* identificada es dioctahédrica, y se produciría como resultado de la meteorización de la *moscovita*.

### 4. FASES DE METEORIZACION ASOCIADAS A LOS SULFUROS

**Ferrihidrita  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .** Se han denominado así los óxidos de Fe con respuesta de amorfo cuando se analizan por DRX. Se encuentra formando pántinas y agregados, en superficies y fracturas, y su cristalización posterior daría origen a la *goethita*. Para Steguer (1982), la *goethita* es una fase siempre presente como producto de alteración supergénica tanto de la *pirrotina* como de la *pirita*.

**Yeso  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .** Se presenta como el resto de los sulfatos formando eflorescencias, bien en superficie, bien en las fracturas de las filitas negras.

**Melanterita  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ .** La misma muestra analizada posteriormente por DRX cuando ha perdido parte de la humedad, se ha transformado en *rozenita*  $FeSO_4 \cdot 4H_2O$ , lo que coincide con el proceso de deshidratación de la *melanterita* señalado por Jambor y Traill (1963). Para Ehlers y Stiles (1965) la conversión de *melanterita* en *rozenita* es un proceso rápido y reversible que responde únicamente a las variaciones de humedad. Para Wiese et al. (1987), en procesos largos de estancia de las muestras en el laboratorio y, por tanto, procesos largos de deshidratación, la *rozenita* acabaría transformándose en un sulfato de Fe más estable, la *szomolnokita*  $FeSO_4 \cdot H_2O$ .

**Halotrichita  $FeAl_2(SO_4)_4 \cdot 22H_2O$ .** Para Wiese et al. (1987), este sulfato es junto con la *szomolnokita* el más estable de los productos de alteración de los sulfuros de hierro.

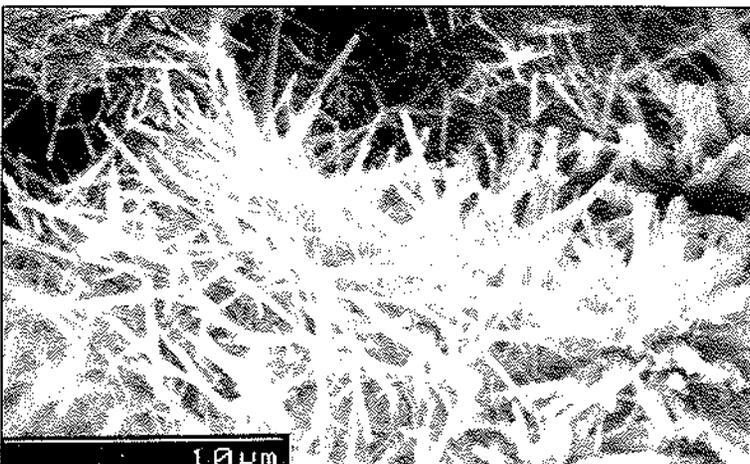
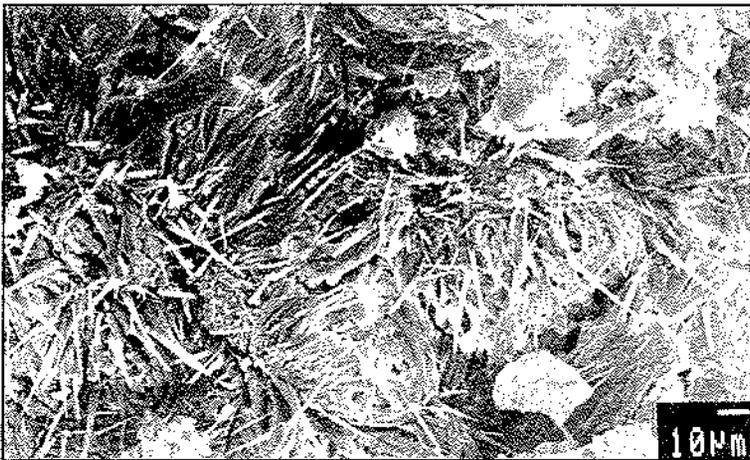
**Pickeringita  $MgAl_2(SO_4)_4 \cdot 22H_2O$ .** Supuesto que esta fase es prácticamente isomorfa de la *halotrichita* su identificación se ha hecho mediante DRX utilizando cuarzo como patrón interno. Asimismo, se ha detectado la presencia de Mg y la ausencia de Fe mediante mi-

croanálisis con SEM-EDXA. En la foto 4 se observa el aspecto acicular de la *pickeringita*, muy similar al de la *etringita*  $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$  (foto 5), un compuesto expansivo que se forma como resultado de la reacción entre los sulfatos y los aluminatos del cemento. En contra de lo que sucede con los sulfatos de Fe hidratados, la *pickeringita* es una fase estable. Se ha analizado por DRX una muestra durante 72 horas seguidas y no se ha observado ningún tipo de transformación que pudiera responder a procesos de hidratación/deshidratación.

### 5. RELACION ENTRE LA DEGRADACION DE LOS SULFUROS Y LOS PRODUCTOS DE METEORIZACION

El estudio de las fases que componen los áridos de la cantera y de los productos de meteorización permite separar un ambiente controlado por la meteorización de los sulfuros en las filitas negras y un ambiente controlado mayoritariamente por la caliza.

La figura 3 muestra la relación entre las especies



FOTOS 4 y 5. Aspecto de la pickeringita (4) y de la etringita (5) al SEM.

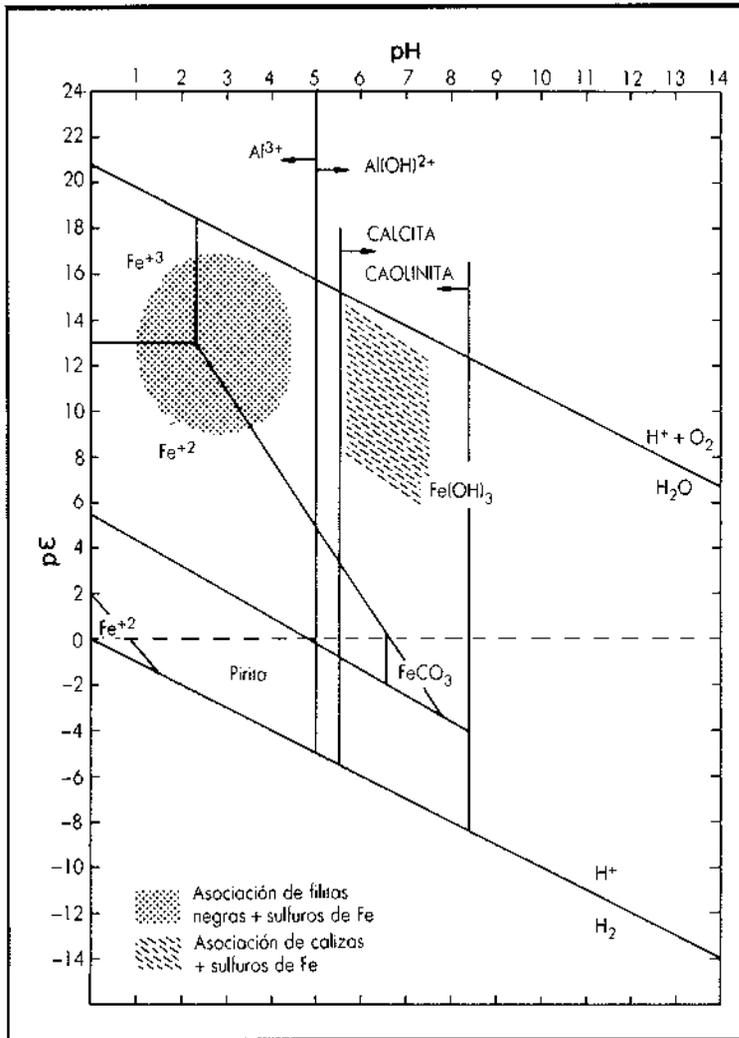


FIGURA 3. Diagrama pE-pH a 25 °C para las especies químicas involucradas en los procesos de meteorización de la cantera de Mont Palau. Se han utilizado las referencias citadas en la Tabla I.

químicas involucradas en los dos ambientes de meteorización a 25 °C. Las reacciones de equilibrio se hallan en la tabla 1. En los cálculos se han supuesto unas actividades iónicas comunes en aguas meteóricas (Garrels y Christ, 1965; Nordstrom y Muñoz, 1985). El límite de pH se ha establecido a partir de la estabilidad de la caolinita. Es necesario considerar lo anterior como una aproximación al ambiente natural, ya que a bajas temperaturas la cinética de las reacciones puede estar lejos de alcanzar el equilibrio entre las especies involucradas. Del mismo modo, es importante destacar el papel que puede jugar la acción bacteriana acelerando la degradación de los sulfuros por comparación con los ambientes estériles (Carpenter y Herndon, 1983; Colmer y Hinkle, 1947).

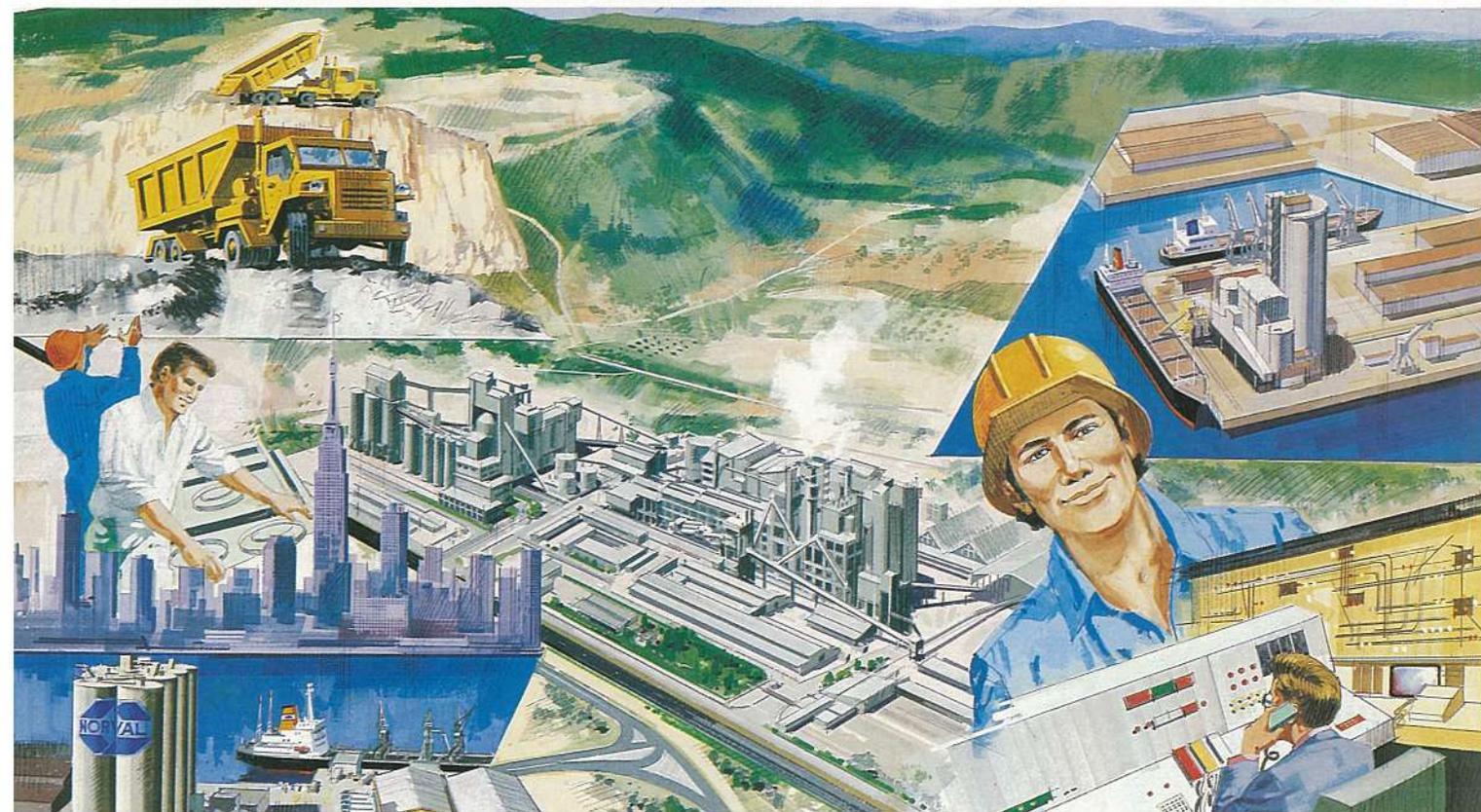
La oxidación de la pirrotina-pirita en las filitas negras genera  $Fe^{+3}$ , lo que explica la gran cantidad de ferrihidrita encontrada en la cantera. Asimismo, el proceso libera  $SO_4^{-2}$  a la solución meteórica, que forma yeso con el  $Ca^{+2}$  y sulfatos hidratados de hierro con el

$Fe^{+2}$ , obtenido igualmente a partir de la meteorización de los sulfuros. La reacción anterior de oxidación de los sulfuros produce un pH muy bajo, responsable de la desestabilización de los aluminosilicatos de la roca. Un pH inferior a 5 (May et al., 1979) o inferior a 4,5 (Dacal, 1975) es necesario para que predomine la especie  $Al^{+3}$  en solución, que explicaría la presencia de halotrichita y pickeringita (Roderic, 1983).

Por otro lado, el tramo carbonático de la serie, contiene menor cantidad de sulfuros, pero sobre todo la presencia de calcita como mineral mayoritario mantiene un pH superior a 6, incompatible con las reacciones descritas para las filitas negras. Así, el producto de meteorización de los sulfuros en las calizas es ferrihidrita, y no se observan sulfatos de hierro y aluminio hidratados.

## 6. CONCLUSIONES

En la cantera de Mont Palau se han identificado los siguientes compuestos, que por su carácter expansivo



# EN CONTINUO MOVIMIENTO.

El futuro no llega:  
se hace día a día afrontando las nuevas realidades,  
aceptando el desafío tecnológico y programando el desarrollo.  
Así ha crecido durante más de setenta años la  
COMPañIA VALENCIANA de CEMENTOS.  
Una gran Empresa que ha superado fronteras de los cinco continentes,  
para hacer del cemento español, una materia prima universal.



POR EL PROGRESO DE LA CONSTRUCCION

# Ampliamos nuestros horizontes



**L**a conducción de fluidos plantea cada día mayores exigencias de calidad y variedad de productos. Nuestra experiencia en este campo nos ha llevado a crear una infraestructura capaz de dar respuesta a las necesidades del Mercado, tanto presentes como futuras.

Con nuestra tecnología y nuestros productos de fibrocemento, de PVC y de polietileno hemos estado siempre en primera línea. Ahora, además, ofrecemos nuestras tuberías de HORMIGÓN REFORZADO CON CAMISA DE CHAPA, con la tecnología más avanzada y reconocida de TUBOS BONNA.

Cuando de conducir fluidos se trate, cuente con verdaderos especialistas, cuente con FIBROTUBO.

## FIBROTUBO

	LOG K (25 °C)	REF
$1/2 O_2 + 2e^- + 2H^+ = H_2O$	41,56	(1)
$H^+ + e^- = 1/2 H_2$	0,00	(1)
$Fe^{3+} + e^- = Fe^{2+}$	13,00	(2)
$Fe(OH)_3 = Fe^{3+} + 3OH^-$	-39,00	(2)
$Fe(OH)_3 + e^- + 3H^+ = Fe^{2+} + 3H_2O$	16,00	(2)
$FeCO_3 = Fe^{2+} + CO_3^{2-}$	-10,50	(2)
$FeS_2 + 8H_2O = Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 14e^- + 16H^+$	-85,70	(3)
$FeS_2 + 4H^+ + 2e^- = Fe^{2+} + 2H_2S$	-4,50	(3)
$CaCO_3 + 2H^+ = H_2O + CO_2 + Ca^{2+}$	9,76	(4)
$Al^{3+} + H_2O = AlOH^{2+} + H^+$	-5,00	(5)
$2KAl_3Si_3O_{18} \cdot 10H_2O + 2H^+ + 3H_2O = 3Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 2K^+$	8,81	(3)

TABLA 1. Reacciones de equilibrio entre las especies químicas involucradas en los procesos de meteorización de la cantera de Mont Palau. Referencias: (1) Garrels y Christ (1965); (2) Diversos autores citados en Nordstrom y Muñoz (1985); (3) Robie y otros (1978); (4) Helgeson (1969); (5) May y otros (1979).

disminuyen la resistencia y la durabilidad del hormigón: ferrihidrita, yeso, halotrichita, pickeringita y melanterita. Se presentan formando eflorescencias y producirían en principio un tipo de alteración superficial en el hormigón. Todos esos compuestos se han generado en un proceso de meteorización en el que el papel más importante debe asignarse a la degradación de la pirrotina y de la pirita.

De las dos litofacies que componen los áridos de la cantera, los compuestos citados están asociados mayoritariamente a las filitas negras. En la calizas, los valores de pH son superiores a los que se necesitan para la formación de sulfatos hidratados expansivos. Eso coincide con lo expuesto por otros autores cuando estudian la degradación de hormigones por la meteorización de sulfuros de hierro: Moum y Rosenquist (1959), hacen referencia a las patologías encontradas en grandes zonas de Noruega cuando se utilizan como áridos, pizarras y esquistos del Cámbrico medio-Ordovícico inferior con gran cantidad de pirrotina; Quigley y Vogan (1970), estudian las expansiones generadas en edificios de Otawa (Canadá) construidos sobre esquistos negros con sulfuros de hierro de la Formación Lorraine de edad Ordovícica.

De acuerdo con el documento ISO N.º154 (1987) que regula el tipo y la cantidad permitida de sustancias nocivas en áridos para su utilización en hormigones, es preciso citar un compuesto nocivo en sí mismo (laumontita) y otro que a través de un efecto combinado es susceptible de provocar patologías en el hormigón (grafito), que se encuentran ambos en la filitas negras en

cantidades importantes. La laumontita expuesta al aire puede perder moléculas de agua para formar leonhardtita (Hansen, 1963); la reacción es reversible y rápida (entre 1 y 2 horas) y el paso de una fase a otra implica un riesgo importante de expansión. El efecto sería similar al ocurrido en la transformación de melanterita en rozenita y viceversa. La presencia de grafito en el árido puede ser una de las causas de que se inicien procesos electroquímicos (Majó, 1973). El que existan en solución iones sulfuro y sulfato aumenta la conductibilidad eléctrica del electrolito; como resultado, por no ser todo el árido idéntico y por no estar idénticamente repartido, se crean zonas de acidez diferente, con el peligro de creación de pilas de concentración que podrían dar lugar a procesos de corrosión en las armaduras.

Por las razones anteriormente expuestas, los áridos extraídos de la cantera de Mont Palau deben considerarse nocivos para su utilización en la fabricación de hormigones, máxime si se tiene en cuenta que la complicación tectónica representa, en la práctica, un obstáculo insalvable a la hora de plantearse una extracción industrial selectiva de la serie carbonatada, igualmente poco recomendable, pero mucho menos perjudicial que las filitas negras.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BOLES, J. R., y COOMBS, D. S. (1977): «Zeolite facies alteration of sandstones in the southland syncline, New Zealand». *American Journal of Science*, 277:982-1012.

CARMONA, J. M., y VILADEVALL, M. (1983): «Estudio geológico del sector oriental del macizo paleozoico del Montnegre (provincia de Barcelona)». *Rev. Inv. Geol.*, 36:83-96.

CARPENTER, L., y HERNDON, L. (1933): «Acid mine drainage from bituminous coal mines». *University of West Virginia Engineering Experimental Station Research Bulletin*, 10, 87 pp.

CHINCHON, S., y MALDONADO, A. (1986): «Cuantificación mediante DRX de las fases superior a 2 µ en sedimentos de la Bahía de La Habana (Cuba)». *XI Congreso español de sedimentología*, p. 59.

COLMER, A. R., y HINKLE, M. E. (1947): «The role of microorganisms in acid mine drainage». *Science*, 106:253-256.

DACAL, R. (1975): «Hydrolysis products of soluble and exchangeable aluminum in acidic soils». *Soil Sci.*, 119:127-131.

EHLERS, E. G., y STILES, D. V. (1965): «Melanterite-rozenite equilibrium». *Am. Mineral.*, 50:1457-1461.

FONTBOTE, J. M., y JULIVERT, M. (1954): «Algunas precisiones sobre la cronología de los plegamientos hercínicos de Cataluña». *XIX Congr. Geol. Int.*, 14-15:575-591.

GARRELS, R. M., y CHRIST, C. M. (1965): «Solutions, minerals and equilibria». *Freeman and Cooper*, 450 pp.

GAUDETTE, H. E.; EADES, J. L., y GRIM, R. E. (1964): «The nature of illite». *Clays Clay Min.*, 13:33-48.

HANSEN, W. C. (1963): «Anhydrous minerals and organic materials as sources of distress in concrete». *Highway Research Board*, 43:1-7.

HELGESON, H. C. (1969): «Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures». *Am. J. Sci.*, 167:729-804.

HOWER, J.; ESLINGER, E. V.; HOWER, M. E., y PERRY,

- E. A. (1976): «Mechanism of burial metamorphism of argillaceous sediment: 1. Mineralogical and chemical evidence». *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 87:725-737.
- ISO N.º 154 (1987): «Áridos naturales de peso normal utilizados en la fabricación del hormigón. Requisitos generales». *International standard organization. Comité técnico TC/71, Subcomité SC/3*.
- JAMBOR, J. L., y TRAILL, R. J. (1963): «On rozenite and siderotil». *Can. Mineral.*, 7:751-763.
- MACH, E., y ROCA, L. (1973): «Muchos edificios en peligro a causa del empleo de ciertos áridos en el hormigón». *Materiales de construcción*, 150-151:107-120.
- MAJO, N. (1973): «Reflexiones sobre el caso de las pirritas del Maresme». *Materiales de construcción*, 150-151:123-143.
- MAY, H. M., HELMKE, P. A., y JACKSON, M. L. (1979): «Gibbsite solubility and thermodynamic properties of hydroxylaluminum ions in aqueous solution at 25 °C». *Geochim. cosmochim. Acta*, 43:861-868.
- MOUM, J., y ROSENQUIST, I. (1959): «Sulfate attack on concrete in the Oslo Region». *Journal of the American concrete Institute*. Vol. 31, n.º 3, pp. 958-964.
- MUFFLER, L. J. P., y WHITE, D. E. (1969): «Active metamorphism of Upper Cenozoic sediments in the Salton Sea Geothermal field and the Salton Trough, Southeastern California». *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 80:157-182.
- NORDSTROM, D. K., y MUÑOZ, J. L. (1985): «Geochemical Thermodynamics». The Benjamin/Cummings Pub. Co. Inc., Menlo Park, California, 477 pp.
- QUIGLEY, R., y VOGAN, R. (1970): «Black shale heaving at Ottawa, Canadá». *Canadian Geotechnical Journal*, 7, 106:106-112.
- ROBIE, R. A.; HEMINGWAY, B. S., y FISHER, J. R. (1978): «Thermodynamic properties of minerals and related substances at 298.15 K and 1 bar (10<sup>5</sup> pascals) pressure and at higher temperatures». *U.S. Geol. Surv. Bull.*, 1452, 456 pp.
- RODERIC, A. (1983): «Weathering processes and pickeringite formation in a sulfidic schist: A consideration in acid precipitation neutralization studies». *Environ. Geol.*, 4:209-215.
- STEGER, H. F. (1982): Oxidation of sulfide minerals. VII. Effect of temperature and relative humidity on the oxidation of pyrrhotite». *Chemical Geology*, 35:281-295.
- THOREZ, J. (1976): «Practical identification of clay minerals». *Editions G. Lelotte B 4820 Dison (Belgique)*.
- UNE 7245: Una Norma Española «Determinación de los compuestos de azufre contenidos en los áridos». *Instituto Nacional de Racionalización del trabajo*. CDU 546.22:543.061.
- VAZQUEZ, E., y TORAL, T. (1975): «Influence des sulfures de fer des granulats du Maresme sur le béton». *Bull. Int. Ass. Eng. Geol.*, 30:297-300.
- VELDE, B. (1985): «Clay minerals. A physico-chemical explanation of their occurrence». *Elsevier: Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo*.
- WIESE, R. G.; POWELL, M. A., y FYFE, W. S. (1987): «Spontaneous formation of hydrated iron sulfates on laboratory samples of pyrite and marcasite bearing coals». *Chemical Geology*, 63:29-38.