Materias primas para pavimentos y revestimientos cerámicos en la región de Murcia

C. FERNÁNDEZ*, J. GARCÍA**, M. LOMBARDEO*, E. SÁNCHEZ**, M. REGUEIRO*

*Instituto Geológico y Minero de España. Madrid

**Instituto de Tecnología Cerámica-AICE. Castellón

La industria cerámica de la Región de Murcia no ha tenido gran importancia industrial, limitándose a una decena de fábricas de ladrillos. Hoy en día sólo operan en la región 2 fábricas de ladrillos de cierta entidad. El extraordinario desarrollo industrial que experimenta actualmente la Región suscita nuevas iniciativas empresariales, que precisan del apoyo institucional. En este marco y bajo el auspicio y con la financiación parcial de la Consejería Tecnologías, Industria y Comercio de la Comunidad Autónoma, el Instituto Tecnológico Geominero de España ha realizado en los tres últimos años una investigación general de materias primas para la industria cerámica en la región, especialmente dirigida a localizar arcillas para pavimentos y revestimientos cerámicos, cuyos resultados se exponen en este trabajo. La geología de Murcia es compleja y predominan las series carbonatadas marinas, por lo que una de las principales dificultades ha sido encontrar arcillas no margosas para composiciones de gres. Se han localizado seis zonas favorables con diferentes tipos de arcillas, cuyos recursos son de varios cientos de millones de toneladas. Las arcillas descubiertas han permitido formular pastas cerámicas, con las que se han fabricado en el laboratorio plaquetas de gres y de azulejo de calidad comercial.

Palabras clave: Arcilla, investigación minera, materias primas cerámicas, baldosas cerámicas, Murcia.

Raw materials for the ceramic industry in Murcia

The clay industry of the Murcia Region has never had a relevant industrial importance, with only around ten brick operations in the last few years. Today only two brick factories are operative having certain size. The extraordinary industrial development currently experienced by the Region has led to the development of new initiatives which need institutional backing. In this framework and under the sponsoring of the Council of Technologies, Industry and Commerce of the Autonomous Community, the Spanish Geological Survey (ITGE) has carried out a general survey for raw materials for the ceramic industry in the region, mainly aimed to find clays for ceramic gres and glazed tiles, whose results are discussed in this paper. Murcia has a very complicated geology, being carbonated marine sediments the most important lithologies. Due to it, it is difficult to find non-carbonated shales or clays to produce gres tiles. We have found six zones containing different clay types, that reach a few hundreds million tons of resources. With that clays we have produced in the laboratory gres tiles and glazed tiles of commercial quality.

Key words: Clay, mining research, ceramic raw materials, ceramic tiles, Murcia

1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

A finales de 1997 y por iniciativa de la Dirección General de Tecnologías, Industria y Comercio de la Región de Murcia, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) comenzó los trabajos del *Proyecto de Investigación de Arcillas en la Región de Murcia*, que ha sido realizado a lo largo de casi tres años, financiado conjuntamente por la Comunidad de Murcia y el IGME mediante un Convenio Específico de Colaboración.

Aunque se han tenido en cuenta otros posibles usos, el objetivo de la investigación se ha centrado principalmente en la localización de *formaciones y zonas favorables* (en la Fase de Exploración) y *zonas con posibilidades de explotación* (en la Fase de Investigación) de arcillas y arcillas margosas para la fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos, esto es gres y revestimiento poroso esmaltado (azulejo), de cocción roja o cocción blanca. También se ha estudiado una formación con arcillas especiales (palygorskita) para usos no cerámicos, que se descubrió durante la Fase de Exploración

2. METODOLOGÍA

La metodología general de la investigación se resume a continuación:

- Fase preliminar
Recopilación bibliográfica y consulta de otras fuentes de información. Estudio de la bibliografía.
- Fase de exploración:
Establecimiento de criterios de selección y selección de las formaciones geológicas favorables.
Exploración de las formaciones favorables, susceptibles de contener yacimientos de arcillas industriales.
Toma de muestras y análisis de las mismas (ensayos de caracterización)
Preselección de zonas favorables
Toma de muestras y análisis de las mismas (primera fase de ensayos cerámicos)
Selección de zonas favorables

TABLA I. CLASIFICACIÓN INDUSTRIAL DE LAS ARCILLAS. MODIFICADO DE (I).

GRUPO	DENOMINACIÓN	CARACTERÍSTICAS	APLICACIONES PRINCIPALES
Grupo 1 Arcillas de Cocción Blanca	Ball-clays	CaO+MgO<2,5% Fe ₂ O ₃ <3%	Arcillas con cierto carácter refractario. Baldosas de pasta blanca y porcelana sanitaria. Gres porcelánico.
Grupo 2 Arcillas Montmorilloníticas	2.1. No calcáreas	CaO+MgO <2,5% Esmeclitas como mineral accesorio de la fracción arcilla, siendo ésta media o alta	Utilización en la preparación de pastas para pavimento y revestimiento poroso, como componente minoritario para aumentar la plasticidad de las mismas
	2.2 Calcáreas	CaO+MgO ≥ 2,5% Esmeclitas como mineral accesorio de la fracción arcilla, siendo ésta media o alta	
Grupo 3 Arcillas Margosas	3.1 Contenido Alto de Carbonatos o Tipo Arava	CaO+MgO ≥ 17,5%	Su variable contenido en carbonatos les confiere buenas características como componentes mayoritarios en pastas de revestimiento poroso. Las tipo Chulilla pueden utilizarse en pasta para gres como componente minoritario
	3.2 Contenido Medio de Carbonatos o Tipo Mas Vell	10% ≤ CaO+MgO < 17,5%	
	3.3 Contenido Bajo de Carbonatos o Tipo Chulilla	2,5% ≤ CaO+MgO < 10%	
Grupo 4 Arcillas No Margosas	4.1. Arcillas plásticas	CaO+MgO < 2,5% Al ₂ O ₃ ≥ 19% IP ≥ 25	Forman parte de la formulación pastas para gres en porcentajes elevados (hasta el 70% en algunos casos). Se mezclan arcillas con diferente IP y materias desgrasantes hasta obtener el comportamiento óptimo de la pasta en crudo y en cocido
	4.2 Arcillas poco plásticas (incluye la Tipo Moró)	CaO+MgO < 2,5% Al ₂ O ₃ < 19% IP < 25	
Grupo 5 Arcillas Especiales	Caolín	Presencia de kanditas como minerales principales de la fracción arcilla, siendo ésta alta	Las aplicaciones industriales de estas arcillas no son la cerámica, sino como absorbentes, cargas, refractarios, etc..
	Paligorskita-attapulgita	Presencia de paligorskita como mineral principal de la fracción arcilla, siendo ésta alta	
	Bentonita	Presencia de esmeclitas como minerales principales de la fracción arcilla, siendo ésta alta	
	Sepiolita	Presencia de sepiolita como mineral principal de la fracción arcilla, siendo ésta alta	

• Fase de investigación

Cartografía geológico-minera a escala 1:5.000 de las zonas favorables

Muestreo de superficie complementario en dichas zonas.

Análisis de las muestras (ensayos de caracterización)

Perforación de sondeos con extracción de testigo continuo. Estudio del testigo y muestreo sobre el testigo en los tramos favorables.

Análisis de las muestras de testigo (2ª fase de ensayos cerámicos)

Selección de zonas con posibilidades de explotación. Levantamiento de perfiles lito-estructurales seriados en ellas. Evaluación de recursos.

Análisis de los resultados desde el punto de vista minero-económico y medioambiental.

• Elaboración de conclusiones

Síntesis de toda la información acumulada. Elaboración de conclusiones.

Propuesta de nuevas actuaciones.

• Presentación del estudio

Redacción y edición del informe.

Preparación digital y edición de planos

Preparación digital y edición de los datos de registros de sondeo

Preparación y edición de fotografías, informes complementarios y demás documentos auxiliares.

La Fase de Exploración se realizó durante 1998. Consistió principalmente en la selección de las formaciones que parecieron las más favorables, por la descripción que de ellas se hace en la cartografía geológica existente (principalmente el Mapa Geológico Nacional MAGNA (1) y Mapa Geológico de la Región de Murcia(2)) y en la bibliografía. El estudio previo

sobre los mapas geológicos y fotografías aéreas permitió seleccionar también una serie de puntos o parajes donde las condiciones de afloramiento, la forma de yacer y los accesos permiten observar y muestrear bien las formaciones seleccionadas. A continuación, se programaron una serie de itinerarios de campo, mediante los cuales se reconocieron todas y cada una de ellas en varios puntos, normalmente más de diez.

En esta fase se tomaron 175 muestras de arcilla, que se sometieron a los que denominamos *Ensayos de Caracterización*, que se llevaron a cabo en los laboratorio del IGME de Tres Cantos (Madrid). Estos ensayos, relativamente baratos, permiten hacerse una primera idea de la aptitud de los materiales arcillosos para pavimentos y revestimientos cerámicos. Son los siguientes:

- Clasificación granulométrica por tamizado por vía húmeda, con un solo corte a 0,063 mm (residuo sobre el tamiz de 63 µm).

- Análisis químico por fluorescencia de rayos X mediante fusión con tetraborato de Li (0,3:5,5) con equipo Philips PW-1404 y absorción atómica (para el Na) mediante fusión con metaborato de Li con equipo Thermo Jarrel Ash SH-8000. Se determinaron SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, TiO₂, CaO, MgO, K₂O, Na₂O, P₂O₅ y pérdida por calcinación a 950º.

- Análisis mineralógico por difracción de rayos X, por el método del polvo cristalino y en agregado orientado, con pruebas de hinchamiento con etilenglicol y colapsamiento a 550º, medida con equipo Philips PW-1700 con tubo de Cu, monocromador de grafito y rendija automática.

- Medida de la plasticidad por el método de los límites de Atterberg.

Según sus características de campo y los resultados de los ensayos de caracterización, los diferentes tipos de arcillas prospectadas se clasificaron en los grupos que se muestran en la Tabla I.

El estudio y elaboración de los datos de campo y de los resultados de los ensayos de caracterización condujo a la pre-selección de diez zonas favorables, más una de reserva. Se procedió a una nueva toma de muestras, que se sometieron a los que se han denominado *Ensayos Cerámicos*, realizados en el Instituto de Tecnología Cerámica (ITC) de Castellón. Los ensayos realizados (Primera Fase de Ensayos Cerámicos) fueron los siguientes:

- Preparación de muestras. Secado, homogeneización y molienda vía seca en molino de martillos de laboratorio, hasta alcanzar una distribución granulométrica <1 mm. El material resultante se molturó, por vía húmeda, en un molino de bolas de laboratorio durante 10 minutos, secándose la barbotina obtenida en lámparas de infrarrojos.
- Clasificación granulométrica por tamizado por vía húmeda, con un solo corte a $0,063$ mm (residuo sobre el tamiz de 63 μ m).
- Contenido en carbonatos. Determinado por volumetría mediante el calcímetro Bernard.
- Contenido en carbono orgánico. Se determinó con un analizador de carbono modelo U.I.C. COULOMETRICS CM-150. Se tomó una porción de muestra, de $0,2$ g, pesada con una precisión de $0,1$ mg. Posteriormente, se sometió a una temperatura de 500 °C en un horno con atmósfera de O_2 y se midió el desprendimiento de CO_2 por culombimetría.
- Contenido en sólidos y porcentaje de desfloculante crítico. El objetivo del ensayo consiste en determinar el contenido en sólidos de una suspensión arcilla-agua que proporciona un mínimo de viscosidad, situado en un valor próximo a los 500 cP. Se prepararon suspensiones a partir de las muestras molturada vía húmeda, determinándose la variación que experimentaba la viscosidad con el porcentaje de desfloculante (mezcla al 50 % de metasilicato sódico y el tripolifosfato sódico) añadido. La viscosidad se determinó con un viscosímetro GALLEMKAMP con hilo de torsión del nº 30 utilizando un cilindro de $1,75$ cm de diámetro. El proceso se repite hasta alcanzar el mínimo de la curva en la zona de viscosidad requerida.
- Comportamiento en el prensado y densidad aparente en seco. A partir del material pulverulento se conformaron probetas cilíndricas (de 4 cm de diámetro y aproximadamente $0,7$ cm de espesor) por prensado unidireccional, a una humedad de prensado del $5,5\%$ (base seca) y una presión de 300 kg/cm². Las probetas se secaron a 110°C en una estufa de laboratorio con recirculación de aire, hasta pesada constante. Posteriormente, se pesaron, se midió su diámetro y se determinó su densidad aparente por el método de inmersión en mercurio.
- Contracción lineal, absorción de agua y densidad aparente a dos temperaturas de cocción. Las probetas, una vez secas, se cocieron a 1100 y 1150 °C en un horno eléctrico de laboratorio con un ciclo rápido de cocción, con un tiempo de permanencia a la máxima temperatura de 6 minutos. La velocidad de calentamiento fue de $25^\circ\text{C}/\text{min}$. Una vez cocidas, las probetas se pesaron de nuevo, determinándose su densidad aparente por el método indicado anteriormente. La contracción de cocción se evaluó por diferencia entre el diámetro en seco y en cocido, definiéndose este parámetro en base seca. La absorción de agua se calculó midiendo la ganancia de peso experimentada por las probetas al introducir las en agua destilada en ebullición por un período de dos horas.
- Pérdida por calcinación. Se determinó midiendo la pérdida de peso que experimentaban las probetas tras la cocción.

Como última etapa de los ensayos, se realizaron los denominados de *Formulación de Pastas*. Partiendo de las arcillas que dieron mejores resultados en los ensayos cerámicos y teniendo en cuenta los datos geológicos de campo, se formularon tres composiciones cerámicas, dos de ellas para la obtención de baldosas de pavimento de gres y la otra para la fabricación de azulejos. Dichas pastas o mezclas de arcillas fueron sometidas a ensayo con la misma metodología de los ensayos cerámicos. Finalmente, se fabricaron en el laboratorio algunas piezas de gres y azulejo con dichas pastas.

La Fase de Investigación se realizó en 1999 y primer semestre de 2000. Se inició con la cartografía geológico-minera escala $1:5.000$ sistemática de 10 zonas seleccionadas en la fase anterior. En dos de ellas, ocurrió que una vez iniciada la cartografía, pronto las labores de campo revelaron que, por problemas geológicos, las zonas no tienen posibilidades de explotación, por lo que se desestimaron, concentrándose los esfuerzos en las ocho restantes. La base topográfica utilizada ha sido la ortofoto y el mapa topográfico escala $1:5.000$ de la Región de Murcia. La cartografía se realizó por el método de perfiles y estaciones, interpolándose las trazas de las capas entre perfiles mediante interpretación fotogeológica y procediéndose al seguimiento lateral de las capas de arcilla allí donde ha sido necesario.

El proceso de digitalización y composición de planos geológicos utilizó el programa ARC-INFO 7.2 y constó de las siguientes etapas:

- Delineación simple de los planos (sólo líneas de contacto y símbolos estructurales)
- Exploración mediante escáner de los indeformables delineados
- Digitalización sobre la imagen raster georreferenciada
- Asignación de identificadores a los elementos poligonales (unidades litológicas) y lineales (contactos y fracturas)
- Generación de la topología
- Composición final mediante superposición de base topográfica y otras entidades (símbolos de sondeo, cantera etc.), representación de leyendas y esquemas de situación.

Por tanto, la cartografía está en una base digital georreferenciada (ya que se le superpuso la base topográfica digital) que permitirá en el futuro modificarla o asociarle una base de datos, por ejemplo.

Según fue finalizándose la cartografía, comenzó la campaña de sondeos de investigación. Se utilizaron para ello sondas Longyear-34 y varillaje adecuado para perforar a 83 mm, con circulación directa de agua en circuito cerrado y recuperación de testigo continuo mediante tubo testiguero doble de 3 m. Se realizaron 14 sondeos que totalizan $903,1$ m de perforación. El estudio del testigo se realizó sobre el terreno, anotándose todos los datos relevantes en unos estadillos al efecto y muestreándose los tramos que se consideraron convenientes. El muestreo ha sido por tramos largos, en general, de más de dos metros, cortándose el testigo longitudinalmente de forma que se cumple un doble objetivo: la muestra es representativa de la media del tramo muestreado y se reserva la mitad del testigo por si fuera necesario realizar algún estudio posterior del mismo. Los registros de sondeo se trataron mediante el programa LOGPLOT'98, que permite la impresión directa.

Se procedió a un muestreo complementario (60 muestras en total, sumando las de superficie con las de testigo de sondeo) para completar los datos analíticos procedentes de la Fase de Exploración. La mayoría de estas muestras fueron también sometidas a ensayos de caracterización. Las muestras de testigo y algunas de superficie (en total 15 muestras) fueron enviadas al ITC para realizar la segunda Fase de Ensayos Cerámicos. Se desecharon dos de ellas por tener excesiva materia orgánica,

ensayándose las restantes. Con las mejores se formularon cuatro pastas cerámicas, dos para gres y otras dos para azulejo. La metodología de todos estos ensayos es la ya expuesta anteriormente. Los datos de localización de las muestras y los resultados de análisis de las mismas (de esta fase y de la Fase de Exploración) se almacenaron en una base de datos ACCESS.

Con toda la información anterior se seleccionaron definitivamente las zonas con posibilidad de explotación (Figura 1). En ellas se levantaron perfiles geológicos lito-estructurales a escala 1:5 000, seriados y separados 300 metros, que se apoyaron además en las columnas litológicas levantadas a partir de los testigos de sondeo. Ello ha permitido realizar la evaluación de recursos, midiendo el área de las capas explotables en cada uno de ellos y multiplicando por la distancia entre perfiles.

Una vez realizada la valoración de recursos, éstos se han analizado desde el punto de vista minero-económico. Es decir, se han tenido en cuenta factores tales como topografía y pendiente del terreno, facilidad de explotación, accesos y vías de comunicación, existencia de suministro eléctrico y de agua, distancia a núcleos habitados, población existente en cada zona, etc. La valoración ambiental ha tenido en cuenta, además de las observaciones realizadas sobre el terreno, las recomendaciones del reciente estudio *Guía Ambiental de la Minería en la Región de Murcia* (4).

La fase de elaboración de conclusiones sintetiza la totalidad de los datos obtenidos a lo largo del trabajo, recomendándose las mejores formaciones y zonas para la extracción de materias primas arcillosas y acciones posteriores a realizar (5).

3. GEOLOGÍA DE MURCIA Y SELECCIÓN DE FORMACIONES FAVORABLES

Murcia está ubicada en su totalidad en el ámbito geológico de las Cordilleras Béticas, que forman un gran cinturón de plegamiento alpino, con forma de enorme V abierta hacia el E (hacia el Mar de Alborán) y cuya rama norte recorre las provincias de Málaga, Granada, Murcia, Alicante y llega a las Islas Baleares, mientras que su rama Sur forma la Cordillera del Rif, en África del Norte. En la región de Murcia están representadas las tres zonas en las que tradicionalmente se dividen las cordilleras Béticas (2): Zona Bética, Zona Subbética y Zona Prebética (Figura 2). Estas dos últimas se agrupan dentro de las llamadas "Zonas Externas".

La Zona Bética está formada por el apilamiento y superposición de grandes mantos de corrimiento, que contienen rocas plegadas del Paleozoico y del Triásico, metamorfizadas las de los mantos inferiores: esquistos, gneises, cuarcitas, mármoles, etc. La estructuración y el apilamiento de los mantos ocurrió durante el Mioceno. La Zona Bética, junto con algunas unidades geológicas adyacentes que se denominan "Circumbéticas", forma el sustrato de la mitad SW de la región, parcialmente cubiertas por sedimentos recientes de cuencas sedimentarias intramontanas, como las del Guadalentín, Lorca, etc.

La Zona Subbética está formada por materiales mesozoicos y cenozoicos (Triásico-Mioceno) de origen principalmente marino (calizas, dolomías, margas y areniscas), bastante replegados y fracturados, siendo las fracturas tanto fallas normales como inversas y algunas con salto en dirección de gran magnitud.

La Zona Prebética está formada por sedimentos continentales y marinos (arenas, arcillas, limos, margas, calizas, dolo-

mías) que abarcan del Triásico al Mioceno. Su estructuración es menos intensa que en el Subbético, aunque también está plegada y fracturada.

Por último, las depresiones intramontanas generadas por hundimientos tectónicos a favor de las grandes fallas de dirección SW-NE y S-W (Cuencas de Campo de Cartagena, del Guadalentín, de Lorca, Caravaca, Mula y Fortuna), se encuentran rellenas de sedimentos recientes (Neógeno-Cuaternario) de carácter calcáreo (calizas y margas), salino (yeso) y detrítico (conglomerados, arenas, limos y arcillas), poco estructurados, excepto en los bordes de las cuencas, donde pueden haber quedado afectadas por los movimientos más recientes de las fallas que forman dichos bordes.

El punto de partida de la investigación ha sido el análisis de toda la información bibliográfica, técnico-científica y verbal recopilada durante las primeras etapas de trabajo. Las citas y descripciones de formaciones de margas y arcillas margosas son muy abundantes, pero no ocurre lo mismo con las formaciones de arcillas no margosas. Los primeros datos de campo corroboraron que en Murcia abundan las formaciones sedimentarias marinas carbonatadas, ricas en arcillas margosas y margas, por lo que pareció asegurada la existencia de materias primas para revestimiento poroso. Si embargo, la primera impresión sobre las posibilidades de la Región como suministradora de arcilla para gres no fue alentadora. En efecto, las arcillas con más bajo contenido en carbonatos (arcillas no margosas) se presentan fundamentalmente en sedimentos continentales y las series sedimentarias continentales no son frecuentes en Murcia. No obstante, basándonos en la toda la información recopilada, se preseleccionaron las formaciones geológicas que, *a priori*, presentaban las características más favorables como litotectos de arcillas industriales. Los criterios seguidos para la selección fueron los siguientes:

- Formaciones arcillosas, limo-arcillosas o arenoso-arcillosas no margosas especialmente las no yesíferas.
- Formaciones continentales en las que hubiera referencias de litologías arcillosas
- Amplitud de afloramientos.
- Preferentemente cerca de núcleos industriales

En un principio se seleccionaron 18 formaciones, en las cuales se centraron preferentemente las investigaciones. A lo largo de la Fase de Exploración han sido reconocidas en el campo todas ellas y muestreadas la mayoría. Las que no lo han sido (por ejemplo, los triásicos intensamente tectonizados de las zonas Prebética y Subbética) son formaciones que se han revelado como no favorables durante los primeros trabajos de campo. Por otra parte, ciertos indicios hicieron que el reconocimiento de campo se ampliara a formaciones que no habían sido preseleccionadas, habiéndose mostrado como favorables algunas de ellas.

4. CARACTERIZACIÓN DE LAS FORMACIONES ARCILLOSAS

La primera caracterización de las arcillas prospectadas se ha hecho tomando como punto de partida los datos de campo y los datos analíticos de los ensayos de caracterización de las muestras: composición química y mineralógica, residuo sobre el tamiz de 0,063 mm e índice plástico.

En las figuras 3, 4, 5 y 6 se han representado de forma gráfica algunos parámetros. Cada formación o grupo de formaciones geológicas ha sido representado con un símbolo diferente. En las gráficas, además, se han marcado los límites

Figura 1. Situación de las zonas seleccionadas.

composicionales de los diferentes tipos de arcillas, según la clasificación expuesta en la Tabla I. La nomenclatura de unidades sigue el Mapa Geológico de la Región de Murcia (2).

La gráfica de la figura 3 presenta la relación existente entre el contenido en sílice+alúmina y carbonatos (expresado como suma de $\text{CaO}+\text{MgO}$), que como era de esperar, es lineal, con un buen ajuste: cuanto más margosa es una litología, menor contenido en cuarzo y filosilicatos (sílice y alúmina) tiene.

En la gráfica que enfrenta $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ con $\text{CaO}+\text{MgO}$ (Figura 4), esto es, elementos que dan color a las pastas, se aprecia que solamente una muestra del Cretácico del Prebético Externo entra en el campo de las *ball-clays*. También se observa una clara tendencia del resto de las muestras de la misma formación a alinearse según una recta paralela al eje de ordenadas y muy cerca del mismo, lo cual nos indica que se trata de arcillas puras, es decir, no margosas, con un contenido variable en elementos cromóforos. Respecto de las muestras del Cretácico Inferior del Prebético Interno, también se observa una relación lineal con pendiente negativa. Estas muestras se sitúan en el límite entre las arcillas no calcáreas y las arcillas margosas tipo Chulilla. También los materiales triásicos del Subbético y los permotriásicos del Complejo Maláguide tienden a agruparse dentro de las arcillas tipo Chulilla, aunque en este caso no hay una relación lineal clara entre ellos. En general presentan contenidos en Fe y Ti más altos que los del Cretácico. El resto de las formaciones representadas en el gráfico no muestran agrupaciones claras.

En la gráfica que enfrenta $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ con $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ (Figura 5) se observa una tendencia lineal de fuerte pendiente negativa en las muestras del Cretácico Inferior del Prebético Externo y también en las del Prebético Interno, en las que sílice+alúmina tiene un estrecho rango de variación. El resto de las muestras, si se consideran en su conjunto e independientemente de la formación a la que pertenezcan, presentan también una tendencia lineal, pero de pendiente positiva, para valores de $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)<70$, que corresponden a las formaciones más margosas.

La figura 6 representa el índice de plasticidad y el porcentaje de alúmina. El contenido en alúmina (proporcional al contenido en minerales arcillosos, en general) a veces se utiliza como un indicador indirecto de la plasticidad. Como puede verse, no hay una relación clara entre ambos parámetros si se considera el conjunto de los datos, lo cual es lógico ya que se comparan arcillas y arcillas margosas de muy diversas procedencias. Consideradas separadamente, las muestras del Cretácico inferior del Prebético Externo son quizás las únicas que muestran una leve tendencia a aumentar la plasticidad al aumentar el contenido en Al_2O_3 .

Figura 3.

Figura 5.

La inspección detallada de las gráficas combinada con la información geológica permite sacar algunas conclusiones, que se resumen a continuación

Las posibilidades de que existan arcillas de cocción blanca en Murcia son muy escasas, solamente una muestra del Cretácico Inferior del Prebético Externo tiene características químicas de *ball-clay* y no es posible explotar la formación a la que pertenece por la gran tectonización y compleja estructura geológica que presenta, donde se tomó esta muestra. La misma formación se ha muestreado extensamente en muchos otros lugares, presentando siempre contenidos en elementos cromóforos mucho más altos.

Las formaciones con menor contenido en carbonatos son la ya citada, el Cretácico Inferior del Prebético Interno, parte del Paleoceno-Eoceno del Prebético Interno, parte del Oligoceno-Mioceno inferior del Circumbético, los triásicos y los permotriásicos del Bético. Todas ellas son formaciones continentales o con fuerte influencia continental (2), excepto una de las incluidas en el Circumbético, que es una formación turbidítica muy heterogénea (lo cual la hace inexplorable) en la que se encuentran mezclados sedimentos marinos de plataforma con sedimentos deltaicos de clara influencia continental. Además de la citada, son inexplorables todos los triásicos de las Zonas Externas, por la abundancia de yeso en ellas y el carácter diapírico de los afloramientos. Por ello, para fabricar gres, apenas tres formaciones del Prebético y una del Bético son favorables.

Abundan más las formaciones del Terciario de margas plásticas y de arcillas margosas tipo Chulilla que pueden suministrar material para revestimiento poroso. Las que mejores características geológicas presentan son una formación del Oligoceno-Mioceno Inferior Circumbético y parte del Cretácico Inferior del Prebético Interno.

Otra conclusión que se obtiene es que la utilización del contenido en alúmina no puede correlacionarse con la plasticidad para arcillas de varias procedencias. En este caso, el resto de los factores que influyen sobre la plasticidad (tamaño de grano, mineralogía de la arcilla, grado de ordenamiento cristalino de los filosilicatos etc.) influye mucho más que el porcentaje en alúmina. Sin embargo, en muestras de la misma formación a veces sí se observa correlación.

Desde el punto de vista mineralógico las formaciones arcillosas aplicables a pavimentos de gres están compuestas principalmente de illita y caolinita. Así, las formaciones del Cretácico Inferior son illitas, con altos contenidos en caolín y vermiculita como traza, las del Prebético Externo, mientras que las del Prebético Interno se caracterizan por la pre-

sencia de esmectitas en cantidades altas y ópalo en trazas. Ambos tipos son bastante arenosas, como revela su contenido en cuarzo.

Las formaciones margosas están enmarcadas en el Eoceno-Oligoceno del Circumbético y el Oligoceno-Mioceno del Prebético Interno. Las primeras, compuestas fundamentalmente por cuarzo y mica, contiene caolín accesorio y yeso y feldepatos como trazas. Las segundas, por el contrario, son arcillas margosas donde la paligorskita destaca como uno de los minerales fundamentales en la composición junto con el cuarzo y el caolín.

El Permo-Trías del Complejo Maláguide, que tiene arcillas desgrasantes tipo Moró, engloba arcillas illítico-cuarcíticas con cantidades variables de cloritas según muestras analizadas. Como accesorios están presentes la calcita y la dolomita.

5. SELECCIÓN E INVESTIGACIÓN DE ZONAS FAVORABLES

La preselección de zonas donde centrar las investigaciones posteriores se basó en criterios geológico-mineros, de tipología y calidad de las arcillas, teniéndose en cuenta también la infraestructura del transporte e industrial existente en la zona. A modo de resumen, se especifican los siguientes criterios:

Morfología y forma de yacer de las formaciones arcillosas. Son preferibles formaciones con capas arcillosas potentes, homogéneas y de disposición subhorizontal. Si las capas están inclinadas, son preferibles aquellos lugares en que la pendiente de las laderas y el buzamiento de las capas son parecidos (paralelos).

Dada la abundancia de formaciones de margas y arcillas calcáreas en Murcia, se concentró la investigación en las zonas con arcillas no calcáreas.

Como el producto industrial precisa mezclar varias clases de arcilla, se prefirió seleccionar zonas que contengan más de un tipo de arcilla o bien varias zonas próximas con arcillas diferentes.

La existencia de buenos accesos y de una red de carreteras adecuada es un factor a tener muy en cuenta, dado el bajo precio unitario de las arcillas cerámicas. También es importante la existencia de líneas eléctricas cercanas, ya que la primera preparación de la arcilla (cribado, homogeneización, molienda primaria) se suele hacer en una planta a pie de cantera.

Aspectos medioambientales, como el valor paisajístico y ecológico de la comarca, visibilidad desde núcleos urbanos o vías de comunicación importantes, posibilidad de afección a cauces públicos etc.

Aplicando dichos criterios a las formaciones y zonas localizadas durante la Fase de Exploración, se seleccionaron definitivamente ocho zonas, que una vez investigadas quedaron reducidas a las seis Zonas con Posibilidades de Explotación resaltados en la figura 1.

La investigación de las zonas seleccionadas según la metodología expuesta, permitió hacer un estimación general de los recursos y de los posibles usos de las materias primas arcillosas existentes en las mismas, que se resumen en la Tabla II.

TABLA II. CUADRO RESUMEN DE LAS ZONAS CON POSIBILIDADES DE EXPLOTACIÓN Y USOS DE LAS ARCILLAS.

ZONA	MUNICIPIO	RECURSOS (millones de t)	USOS POSIBLES
1. Los Rincones	Yecla	6	Gres***, azulejo**
4. La Rajica	Jumilla	25	Gres*, azulejo*
5. Otos	Moratailla	44	Gres**, azulejo**
6. La Rogativa	Moratailla	28	Azulejo***
7. La Cantina	Mula	111	Azulejo***
9. Las Aljezas	Lorca	4	Gres*, azulejo*

*** Componente mayoritario

** Componente minoritario o complementario

* Aditivo

6. FORMULACIÓN Y ENSAYOS DE PASTAS CERÁMICAS

Un aspecto fundamental del trabajo ha sido la realización de ensayos de pastas cerámicas, que se hicieron en el ITC en dos etapas, una al final de la Fase de Exploración (pastas P-1, P-2 y A-1) y otra al final de la Fase de Investigación (pastas P-3, P-4, A-2 y A-3). Las pastas se formularon exclusivamente con materias primas arcillosas procedentes del muestreo de campo y de los testigos de sondeo. La formulación de las pastas tuvo en cuenta no solo las características de las arcillas, sino otros factores de índole geológico-minero, como el volumen de recursos, la facilidad de explotación y la cercanía de los yacimientos a posibles zonas de consumo.

La Tabla III resume la procedencia de las arcillas y la formulación de las pastas. Las composiciones de gres tienen como arcilla base la de la Zona 1. Las de azulejo tienen como base la arcilla margosa de la Zona 7 y en el caso de la composición A-1, también de la Zona 5. También habría podido utilizarse la arcilla de la Zona 6.

Como aditivos o arcillas que entran minoritariamente en la pasta para mejorar sus propiedades, se ha utilizado la arcilla de la Zona 4, para bajar la temperatura de cocción y disminuir la porosidad del producto acabado (arcilla fundente) y las lutitas arenosas del Permo-Trásico Bético que aflora en las zonas 9 y 10, que es del *Tipo Moró*, para disminuir la plasticidad y mejorar el comportamiento en la desfloculación y el prensado (arcilla desgrasante).

Los resultados de los ensayos de las pastas formuladas han sido satisfactorios (Tabla IV), demostrándose la posibilidad de fabricar tanto gres como revestimiento poroso con ellas.

7. CONCLUSIONES

El presente trabajo resume una amplia investigación dirigida a valorar las posibilidades de las formaciones geológicas de la Región de Murcia como suministradoras de arcillas pavimentos de gres y revestimiento poroso de cocción blanca y roja, que antes no se conocían. No es un estudio que pueda utilizarse directamente para planificar una explotación minera ni la implantación de industrias derivadas, que exigen estudios geológico-mineros y económicos mucho más detallados.

Los métodos de investigación usados durante la Fase de Exploración han sido el estudio de la información geológico-minera recopilada y el reconocimiento en el campo y estudio sedimentológico de las formaciones. Los ensayos de caracterización, realizados en los laboratorios del ITGE, son también un potente método de investigación, siempre que el muestreo sea representativo y extenso, tomándose de 10 a 15 muestras por formación.

La escala a la que se ha realizado la cartografía geológica (1:5 000) en la Fase de Investigación se ha demostrado que es muy adecuada. Tanto los sondeos mecánicos con recuperación de testigo continuo, como los ensayos cerámicos y de formulación de pastas son métodos caros, pero indispensables para la investigación de esta sustancia.

De la consulta y análisis de la bibliografía y otras informaciones recopiladas al principio del proyecto, se obtuvo una primera impresión bastante pesimista, ya que si bien las formaciones geológicas de arcillas margosas son relativamente frecuentes, no ocurre lo mismo con las arcillas no margosas, por las razones que se citan a continuación.

TABLA III. FORMULACIONES DE PASTAS CERÁMICAS.

Pasta	Tipo	Muestra nº	Porcentaje en peso	Procedencia
P-1	Gres esmaltado de pasta roja	819-001-E	45	Zona 1
		819-003-B	45	Zona 1
		869-001-C	10	Zona 4
P-2	Gres esmaltado de pasta roja	819-001-E	42,5	Zona 1
		819-003-B	42,5	Zona 1
		869-001-C	15	Zona 4
P-3	Gres esmaltado de pasta roja	LR 2-1 *	85	Zona 1
		RA 1-1 *	15	Zona 4
P-4	Gres esmaltado de pasta roja	LR 2-1 *	75	Zona 1
		RA 1-1 *	10	Zona 4
		CC 2-1 *	7,5	Zona 10
		953-106-A	7,5	Zona 10
A-1	Azulejo de pasta roja	932-003-C	40	Zona 7
		889-002-D + 889-002-E	50	Zona 5
		869-001-C	10	Zona 4
A-2	Azulejo de pasta roja	LC 1-1 *	45	Zona 7
		LR 2-2 *	35	Zona 1
		LR 2-1 *	20	Zona 1
A-3	Azulejo de pasta roja	LC 1-1 *	45	Zona 7
		LR 2-2 *	35	Zona 1
		CC 2-1 *	10	Zona 10
		953-106-A	10	Zona 10

* Muestras de testigo de sondeo

TABLA IV. CUADRO RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS DE PASTAS CERÁMICAS.

Pasta	Residuo >0,063 mm	Contenido en sólidos %	Consumo desfloclante %	Viscosidad cP	Presión de prensado kg/cm ²	Densidad aparente g/cm ³	Resist. mecánica kg/cm ²	Contracción lineal a 1100° %	Absorción de agua a 1100° %	Contracción lineal a 1150° %	Absorción de agua a 1100° %
P-1	4.9	65*	1.3*	260*	260	2.02	39*	2.5	10.0	4.3	6.6
P-2	4.3	65	1.3	260	285	2.00	39	3.0	9.7	5.2	5.8
P-3	4.8	66	1.1	360	285	2.01	39	2.7	10.0	4.5	7.0
P-4	5.1	68	0.7	550	250	2.02	36	2.4	10.3	4.2	7.2
A-1	5.1	67	1.4	340	320	2.02	38	0.9	15.4	3.8	14.5
A-2	4.6	68	0.5	350	265	2.01	31	1.0	15.5	3.5	10.1
A-3	4.7	70	0.5	500	270	2.01	29	0.8	15.8	3.4	10.1

* Valores aproximados

La Región de Murcia tiene una geología muy compleja, enmarcada en el ámbito de la cordillera Bético-Rifeña. En el registro geológico regional, que abarca desde el Paleozoico Superior hasta los materiales del Cuaternario, son muy escasas las formaciones detríticas continentales, que son las que habitualmente contienen depósitos de arcillas no margosas. Son más frecuentes las formaciones marinas, en las que abundan margas y calizas.

En Murcia hay muy escasas posibilidades de contener yacimientos explotables de arcillas para soportes de gres y azulejo de cocción blanca. No se ha localizado ninguna formación que, de forma general, sirva para este fin, ni yacimiento favorable alguno. En la Región existen, por el contrario, formaciones de arcillas no margosas adecuadas para formular pastas y fabricar productos de gres de cocción roja. Son éstas el Permo-Triásico del Complejo Maláguide, el Cretácico inferior del Prebético y el Paleoceno-Eoceno inferior del Prebético Interno. La Región de Murcia, asimismo, existen varias formaciones de arcillas margosas aptas para fabricar azulejo de cocción roja, de las que se han seleccionado el

Eoceno-Oligoceno del Circumbético y el Oligoceno-Mioceno Inferior del Prebético Interno.

De la multitud de parajes visitados durante la Fase de Exploración, finalmente se preseleccionaron 10 zonas, más una de reserva. De estas 10 zonas preseleccionadas, una de ellas se desechó y se sustituyó por la de reserva al final de dicha fase. Durante la Fase de Investigación, se desecharon dos zonas al comienzo y otras dos al final de la misma, una vez perforados los sondeos, resultando finalmente seis zonas con posibilidades de explotación.

Los ensayos cerámicos han demostrado que es posible fabricar soportes para gres de cocción roja con mezclas de todas o algunas de las arcillas de las zonas 1, 4 y 9, y soportes para azulejo de cocción roja con mezclas de todas o algunas de las arcillas de las zonas 1, 5, 7 y 9. También las arcillas de la Zona 6 se pueden utilizar en azulejo, en sustitución o acompañando a las de la Zona 7.

Los recursos estimados en las diversas zonas son suficientes para suministrar materia prima a una industria de pavimentos y revestimientos cerámicos de tipo medio, exceptuan-

do quizás la Zona 9, donde los recursos de la arcilla *Tipo Moró* son algo escasos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a D^a. Carmen Conde Rivas su ayuda en la preparación de las figuras de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Instituto Tecnológico Geominero de España. *Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, Segunda Serie, Plan MAGNA*. ITGE, Servicio de. Publicaciones. Madrid. Hojas y Memorias: 818 (1984), Montealegre del Castillo. 819 (1981), Caudete. 844 (1984), Ontur. 845 (1984), Yecla. 868 (1984), Isso. 869 (26-34), 1981, Jumilla. 870 (1984), Pinoso. 888 (1981), Yetas de Abajo. 889 (1981), Moratalla. 890 (1974), Calasparra. 891 (1982), Cieza. 892 (1975), Fortuna. 909 (1979), Nerpio. 910 (1973), Caravaca. 911 (1974), Cehegín. 912 (1974), Mula. 913 (1982), Orihuela. 930 (1978), Puebla de Don Fabrique. 931 (1974), Zarcilla de Ramos. 932 (1974), Coy. 933 (1974), Alcantarilla. 934 (1976), Murcia. 935 (1974), Torrevieja. 952 (1977), Vélez Blanco. 953 (1974), Lorca. 954 (1974), Totana. 955 (1972), Fuente Álamo de Murcia. 956 (1977), San Javier. 974 (1979), Vélez-Rubio. 975 (1974) Puerto Lumbreras. 976 (1974), Mazarrón. 977 (1974), Cartagena. 978 (1974), Llano del Beal. 996 (1974), Huercal Overa. 997 (1974), Águilas. 997 bis (1974), Cope.
2. Gabaldón, V; Baena, J. (1994). *Región de Murcia. Mapa Geológico escala 1:200 000*. Instituto Tecnológico Geominero de España y Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Consejería de Política Territorial y Obras Públicas. NIPO 241-93-011-11.
3. Barba, A; Beltrán, V; Feliú, C; García, J; Ginés, F; Sánchez, E; Sanz, V. (1997). *Clasificación de las Arcillas en Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas*, pp. 55. Instituto de Tecnología Cerámica - AICE, Castellón, España. ISBN 84-923176-0-4.
4. Ros Amorós, M. J. (1999). *Guía Ambiental de la Minería en la Región de Murcia*. Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones, ISBN 84-8371-071-4.
5. Lombardero, M.; Urbano, R.; Fernández-Leyva, C.; Guillén, F.; Olmo, A. del; Conde, C. (2000). Proyecto de Investigación de arcillas en la Región de Murcia. Instituto Geológico y Minero de España, Servicio de Documentación. Informe inédito.

Recibido: 16.11.00

Aceptado: 06.04.01

46^o - CONGRESSO BRASILEIRO

46^o - MEETING OF THE BRAZILIAN CERAMIC SOCIETY

ABC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA

26 a 29 de Mayo – 2002

1^a Circular

Petición de Trabajos (Call for Papers)

Fecha limite para entrega de resúmenes

(Submission of Abstracts): 05.11.2001 – (Dead Line)

Fecha limite para entrega de trabajos completos.

(Submission of complete papers whose abstracts have been accepted): 04.01.2002

*El 46^o CBC y la 7^a FIEPAC
(Feria Internacional de Equipos, Productos y Arte Cerámica)
tendra lugar de 26 a 29 de Mayo, en la ciudad de Sao Paulo – Brasil.
Sede del congreso: Centro de convenciones ITM-Expo.
Dirección : Av. Ing. Zuccolo, 555, - Villa Leopoldina Sao Paulo.*

Más información

www.abceram.org.br

Teléfono +55-(11)- 3768-71-01 ó 4284.