

Materias primas nacionales alternativas para la fabricación de baldosas cerámicas



GENERALITAT VALENCIANA
CONSELLERIA D'INDÚSTRIA, COMERÇ I INNOVACIÓ



Instituto de Tecnología Cerámica



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

1	Introducción	1
2	Objetivos	5
3	Plan de trabajo	9
3.1	Tarea 1. Recopilación de información.....	11
3.1.1	Subtarea 1.1. Revisión bibliográfica sobre la geología nacional	11
3.1.2	Subtarea 1.2. Revisión bibliográfica sobre los requisitos de las materias primas y tendencias en la formulación.....	11
3.2	Tarea 2. Investigación y muestreo de las formaciones geológicas .	12
3.3	Tarea 3. Ensayos cerámicos.....	12
3.3.1	Subtarea 3.1. Caracterización cerámica y selección de muestras.....	12
3.3.2	Subtarea 3.2. Ensayos complementarios.....	12
3.4	Tarea 4. Formulación de nuevas composiciones cerámicas	13
4	Resultados	15
4.1	Subtarea 1.1. Revisión bibliográfica sobre la geología nacional.....	18
4.1.1	Arcillas caoliníferas para pasta de cocción blanca.....	18
4.1.2	Pizarras sericíticas de extremadura	44
4.1.3	Feldespatos	46
4.1.4	Conclusiones	89
4.1.5	Documentación consultada	92
4.2	Subtarea 1.2. Revisión bibliográfica sobre los requisitos de las materias primas y tendencias en la formulación	98
4.2.1	Introducción	98
4.2.2	El sector español de baldosas cerámicas	98
4.2.3	Tipos de productos	99
4.2.4	Producción	102
4.2.5	Materias primas y composiciones empleadas.....	104
4.3	Tarea 2. Investigación y muestreo de las formaciones geológicas	119
4.3.1	Arcillas caoliníferas para pasta de cocción blanca.....	119

4.3.2	Pizarras sericíticas de extremadura	159
4.3.3	Feldespatos	163
4.3.4	Conclusiones	203
4.4	Tarea 3. Ensayos cerámicos sobre arcillas.....	205
4.4.1	Antecedentes	205
4.4.2	Ensayos realizados.....	206
4.4.3	Arcillas de cocción blanca empleadas actualmente en la fabricación de soportes de baldosas cerámicas	209
4.4.4	Resultados de la caracterización de las arcillas	219
4.4.5	Aplicación cerámica de las arcillas	232
4.4.6	Conclusiones	233
4.4.7	ANEXO	235
4.5	Tarea 3. Ensayos cerámicos sobre feldespatos	253
4.5.1	Antecedentes	253
4.5.2	Ensayos realizados.....	254
4.5.3	Feldespatos empleados actualmente en la fabricación de soportes de baldosas cerámicas.....	257
4.5.4	Resultados de la caracterización de las muestras	258
4.5.5	Aplicación cerámica de los feldespatos.....	273
4.5.6	Conclusiones	275
4.5.7	ANEXO	276
4.6	Tarea 4. Formulación de nuevas composiciones cerámicas	286
4.6.1	Objetivos	286
4.6.2	Plan de trabajo.....	286
4.6.3	Materias primas seleccionadas	287
4.6.4	Formulación y caracterización de composiciones de azulejo blanco	288
4.6.5	Mezclas de arcillas para composiciones de gres porcelánico esmaltado de blancura moderada.....	298

4.6.6	Mezclas de feldspatos para composiciones de gres porcelánico esmaltado de blancura moderada y alta	306
4.6.7	Formulación y caracterización de composiciones de gres porcelánico esmaltado de blancura moderada y alta con materias primas nacionales	309
4.6.8	Conclusiones	317
4.6.9	ANEXO	319
5	Conclusiones	341
6	Recomendaciones	347

1 Introducción

En el presente documento se presentan los resultados del proyecto "Materias primas nacionales alternativas para la fabricación de baldosas cerámicas", que está enmarcado en la línea de proyectos de especial relevancia para centros de investigación en colaboración con empresas, con la referencia GVEMP06/023 y financiado por la Generalitat Valenciana por medio de la Conselleria d'Empresa, Universitat i Ciència. El proyecto surge como consecuencia del aumento en la fabricación de baldosas de cocción blanca que está experimentando el sector cerámico español en los últimos años.

Tradicionalmente, la mayor parte de la producción española de baldosas se ha fabricado con soportes de cocción roja debido a la existencia de arcillas ferruginosas de características muy adecuadas en las proximidades del área de Castellón, donde se concentra el 98% de la producción española. Sin embargo, la reducción progresiva del consumo interno junto a la mayor competencia de países emergentes, con costes apreciablemente inferiores, ha motivado que el sector español de baldosas cerámicas esté experimentando una evolución en el tipo de producto fabricado, disminuyendo la producción de baldosas con soporte de cocción roja y aumentando la de baldosas con soporte de cocción blanca, de mayor valor añadido. Así, la producción de este último tipo de baldosas en el año 2002 se situaba en únicamente el 15% de la producción, mientras que las estimaciones para el año 2005 indican que se ha duplicado la producción alcanzando un valor próximo al 30%.

Las composiciones con las que se fabrican los soportes de las baldosas de cocción blanca permiten reducir fácilmente la porosidad de las piezas hasta valores prácticamente nulos, lo que asegura su resistencia a la helada. Ello, unido a que los principales mercados en los que se comercializan este tipo de baldosas (Estados Unidos y Europa) están acostumbrados a consumir productos de cocción blanca ha motivado el aumento en la producción de este tipo de baldosas.

Uno de los inconvenientes que presenta la fabricación de estos productos es la necesidad de importar materias primas (arcillas y feldespatos) para fabricar los soportes. En efecto, actualmente los feldespatos empleados en las composiciones de cocción blanca son mayoritariamente de importación, debido en algunos casos al elevado precio de los españoles y en otros a su menor blancura o fundencia. En el caso de las arcillas se emplea una mezcla de arcillas nacionales (zona de Teruel casi exclusivamente) y de importación. Ello se debe a que las arcillas nacionales no proporcionan la blancura y plasticidad requeridas para fabricar algunos productos.

La fabricación de baldosas cerámicas de cocción blanca implica un cambio en el tipo y origen de las materias primas a utilizar en los soportes cerámicos, pasando de la utilización de arcillas locales de cocción roja de bajo coste (10 €/t) al empleo de arcillas y feldespatos de bajo contenido en impurezas, que deben ser importados en su mayoría de terceros países (Ucrania, Gran Bretaña, Turquía y Francia) con costes notablemente

superiores (40 a 70 €/t). El uso de materias primas de cocción blanca incrementa el coste del producto y, por tanto reduce la competitividad de las baldosas españolas en los mercados internacionales. De la misma forma provoca una fuerte dependencia de terceros países, algunos de los cuales carecen de las infraestructuras necesarias (ferrocarril, instalaciones portuarias, etc.) para atender la creciente demanda de estas materias primas por parte de los principales productores mundiales.

Por consiguiente con el objeto de mantener la competitividad de las baldosas cerámicas españolas en estos mercados y reducir la dependencia de terceros países, es necesaria la localización en el territorio nacional de nuevas arcillas de cocción blanca y feldespatos.

Por ello, a petición de la Asociación Nacional de Fabricante de Baldosas Cerámicas (ASCER), el Instituto de Tecnología Cerámica (ITC) en colaboración con el IGME (Instituto Geológico Minero de España) ha desarrollado el presente proyecto de investigación, que tiene claramente dos vertientes: 1) la localización de yacimientos de materias primas alternativas (arcillas y feldespatos) y 2) el análisis de las mismas y formulación de nuevas composiciones cerámicas.

2 Objetivos

Los objetivos del proyecto son los siguientes:

a) Objetivos científicos y tecnológicos:

- Definir las características técnicas que deben presentar las composiciones que se empleen para la fabricación de baldosas cerámicas.
- Definir las características que deben presentar las arcillas blancas y feldespatos que integran estas composiciones.
- Realizar una valoración geológica, a nivel nacional, con el objetivo principal de localizar feldespatos que presenten propiedades adecuadas para permitir la obtención de las citadas composiciones.
- Realizar una valoración geológica, a nivel nacional, con el objetivo principal de localizar arcillas blancas que presenten propiedades adecuadas para permitir la obtención de las citadas composiciones.
- Obtener composiciones cerámicas a partir de las materias primas nacionales seleccionadas que proporcionen baldosas de pavimento de cocción blanca resistentes a la helada y baldosas de azulejo también de cocción blanca.

b) Objetivos industriales:

- Obtener productos de cocción blanca (pavimento resistente a la helada y azulejo) en los cuales se empleen exclusivamente o al menos de forma mayoritaria materias primas nacionales.
- Localización de nuevas áreas susceptibles de poseer recursos geológicos de materias primas y de materias primas alternativas a las actuales, que fomentarán la actividad de las empresas extractivas.

3 Plan de trabajo

A continuación se describe en detalle el plan de trabajo del proyecto.

3.1 Tarea 1. Recopilación de información

Un estudio de las características del presente proyecto exige una amplia búsqueda bibliográfica que abarque, además de los fondos y bases de datos documentales de los dos organismos principales participantes (ITC e IGME), las principales bases de datos públicas y privadas accesibles mediante INTERNET o cualquier otra base de datos.

Esta tarea comprende las siguientes subtareas:

3.1.1 Subtarea 1.1. Revisión bibliográfica sobre la geología nacional

En esta subtarea se han determinado cuales son las formaciones geológicas cuya litología es favorable para contener materias primas para cerámica. Por ello, una parte fundamental del trabajo de recopilación ha consistido en el estudio y análisis de las cartografías geológicas de la zona de estudio, lo cual significa el Mapa Geológico Nacional, mapas geológicos de síntesis, mapas de tesis doctorales que comprendían total o parcialmente la zona, etc.

Además de la Base de Datos Documental del IGME, que contiene actualmente 12.200 referencias de documentos inéditos y del Archivo Nacional de Rocas y Minerales Industriales (más de 40.000 referencias de indicios y explotaciones mineras de todo el país), se han consultado las bases de datos administradas por este organismo: GEOMINER, BIBLIO Y GUIAPLUS.

3.1.2 Subtarea 1.2. Revisión bibliográfica sobre los requisitos de las materias primas y tendencias en la formulación

En esta subtarea se ha recabado la información existente acerca de las materias primas que se están empleando en la actualidad para la fabricación de baldosas cerámicas de cocción blanca. Esta información incluye tanto las características fisico-químicas de las materias primas como aquellas relacionadas con su comportamiento en el proceso cerámico. Para ello se ha consultado la información disponible tanto en los archivos del ITC como en bases de datos de ámbito nacional. También se ha recopilado y analizado toda la información disponible acerca de las materias primas publicada por el ITC.

Del mismo modo, y dada la existencia de nuevos productos cerámicos emergentes en los últimos años, es imprescindible conocer las tendencias que están experimentando las formulaciones de estas composiciones al objeto de conocer cuales deben ser las características que deben reunir las materias primas a emplear. Esta información, que no se encuentra documentada, se ha extraído a partir de conversaciones con las empresas cerámicas.

3.2 Tarea 2. Investigación y muestreo de las formaciones geológicas

Uno de los principales objetivos del proyecto es la formulación de composiciones de cocción blanca con menores (o nulos, si ello fuera posible) contenidos de materias primas importadas, que den respuesta a los cada vez más estrictos requerimientos de calidad que demanda la industria cerámica del Levante español. Ello obliga a la prospección de nuevos tipos de arcillas, diferentes a las que están ya en explotación, y a la localización de nuevos yacimientos de arcilla y feldespatos.

En esta tarea se ha realizado la campaña de toma de muestras, la cual ha comprendido las siguientes actividades:

- Localización de la zona de muestreo y situación de la misma sobre la ficha normalizada.
- Ubicación de los puntos de muestreo en el mapa mediante localizador GPS.
- Destape del o los puntos de muestreo mediante métodos manuales.
- Empaquetado, almacenaje y transporte de las muestras a los laboratorios del ITC para efectuar los ensayos correspondientes.

3.3 Tarea 3. Ensayos cerámicos

En esta tarea se han realizado ensayos cerámicos con las muestras obtenidas en la Tarea 2, con el fin de confirmar su idoneidad para la fabricación de productos cerámicos. Esta tarea se ha dividido en dos subtareas:

3.3.1 Subtarea 3.1. Caracterización cerámica y selección de muestras

A las muestras obtenidas en la tarea 2 se les ha aplicado un programa de ensayos básicos con el propósito de desestimar aquellas muestras que no reúnan los requisitos mínimos para ser utilizadas en la fabricación de baldosas cerámicas.

3.3.2 Subtarea 3.2. Ensayos complementarios

Las muestras seleccionadas en la subtarea 3.1 se han caracterizado mediante una serie de ensayos de forma que se conozcan, además de sus características, su comportamiento en las distintas etapas que componen los procesos de fabricación de baldosas cerámicas, así como las propiedades que le conferirán al producto acabado.

3.4 Tarea 4. Formulación de nuevas composiciones cerámicas

Esta tarea es la fase principal del proyecto ya que en ella se han formulado composiciones cerámicas de cocción blanca (gres porcelánico esmaltado y azulejo) a partir de las materias primas seleccionadas en la tarea anterior y sin emplear materias primas importadas.

4 Resultados

Los resultados obtenidos en el presente proyecto se muestran a continuación de forma separada para cada una de las tareas previamente descritas.

4.1 Subtarea 1.1. Revisión bibliográfica sobre la geología nacional

4.1.1 Arcillas caoliníferas para pasta de cocción blanca

La primera dificultad existente a la hora de realizar este proyecto es determinar, desde el punto de vista mineralógico y minero, qué se entiende por caolín y qué por arcillas caoliníferas. Algo que, aunque desde el punto de vista industrial parece fácil, no lo es a la hora de enfrentarse a un proyecto de exploración minera.

El Consejo Nacional de Minería estableció el criterio de considerar como caolines: "aquellas sustancias minerales que no presentasen láminas de mica ni piritas, con una blancura apropiada y que, después de sometidas a un tratamiento adecuado, tuviesen la siguiente composición porcentual":

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	PPC
45-60	33-40	< 2	< 3				11-14

De acuerdo con lo expresado en la literatura temática (Mesa López-Colmenar, 1992), se denomina caolín a "toda roca masiva, con un porcentaje variable de minerales de la arcilla, de composición igual o próxima a la del mineral caolinita y que sean fáciles de concentrar por separación de los restantes minerales, asimilando este término al inglés china-clay. Si la roca es de naturaleza arcillosa, y por tanto difícil y costosa de tratar para concentrar los silicatos aluminicos hidratados, la denominación española es de arcilla caolinífera o refractaria, correspondiente con un material de uso directo en la industria; mientras que los caolines son procesados, previamente, para así incrementar las propiedades asociadas a las partículas más finas".

Clásicamente, con criterio mineralógico y petrológico, Pettijohn (1963) pone en evidencia la "estrecha relación existente entre el tamaño del grano de un sedimento clástico y su composición química y mineralógica", refiriendo que Grout (1925) indica que de la "Composición mineral calculada de fracciones de tamaño de la arcilla se observa que en la caolinita y minerales arcillosos la fracción del tamaño de la arcilla se corresponde en un 7,5% con el tamaño limo, 17,0% con el de la arcilla gruesa y 23,2% con el de la arcilla fina".

Todo ello, unido a las variaciones sedimentológicas que pueden presentarse en un yacimiento, así como la consiguiente variación en los avances de los procesos tecnológicos y de aprovechamiento existentes (IGME, 1977; ENADIMSA, 1982; DGM-MINER, 1983), origina una gran dificultad en plasmar una neta diferenciación entre los yacimientos de "caolín s. str." de los de "arcillas caoliníferas". Tan es así, que en la realización del muestreo efectuado en este proyecto, dos de las muestras recogidas (Arcillas B y B, S.L. y Caolines de La Espina, S.L.) corresponderían, técnicamente, al grupo de los caolines s. str. y sin embargo, al estar aplicándose el producto en el

sector de la cocción blanca se han considerado, a petición del ITC, como “arcillas caoliníferas”.

Como consecuencia de lo expresado, y dada la dificultad que implica el encontrar unos límites netos que permitan separar ambos productos, se ha decidido, a efectos del proyecto, considerar como caolines s. str. únicamente a los productos derivados de las arenas feldespáticas de las facies Weald y/o Utrillas de la Cadena Ibérica. Así y todo hay yacimientos donde esta diferenciación, y su consiguiente aprovechamiento, no queda nada clara, como puede ejemplificarse, entre otros, en los citados yacimientos asturianos o en los turolenses, en los que junto a los clásicos productos aprovechados en la industria cerámica, se obtienen “arenas de cocción blanca” y, en términos contrapuestos, algunas intercalaciones estratigráficas se aprovechan en la industria de las chamotas asturianas.

Desde el punto de vista de la aplicación de los materiales, se separan tres grandes grupos de arcillas industriales:

- Arcillas rojas o comunes
- Arcillas de cocción blanca, caolines, halloysitas y arcillas refractarias
- Arcillas especiales:
 - Bentonitas y tierras de Fuller
 - Sepiolitas y palygorskitas

Cada grupo tiene diversas aplicaciones industriales, utilizándose las arcillas rojas fundamentalmente en la cerámica industrial (pavimentos, revestimientos y cerámica estructural) y alfarería, las arcillas de cocción blanca se emplean en cerámica de revestimiento, loza y sanitarios, los caolines en las industrias del papel y la cerámica, las halloysitas en cerámica artística (porcelanas), las arcillas refractarias en chamotas para pavimentos de gres natural, las bentonitas en la industria de los absorbentes y el petróleo, las tierras de Fuller como absorbentes industriales y las sepiolitas y palygorskitas como absorbentes domésticos.

En este capítulo se han agrupado las arcillas de cocción blanca y algunos caolines, debido a que su composición es fundamentalmente caolinífera con variable presencia de montmorillonita y sus aplicaciones industriales son similares.

Se agrupan bajo la denominación de arcillas de cocción blanca aquellas arcillas con una baja proporción de hierro (< 3%) y un alto contenido en caolinita, si bien, por lo general, presentan también elevadas cantidades de otras arcillas (illitas y montmorillonitas, normalmente), así como impurezas como cuarzo, micas, piritas, yeso y marcasita.

Su importancia reside en la amplia utilización en cerámica decorativa (loza), cerámica técnica (aislantes de porcelana, ladrillos de chamota, crisoles de

fundición, refractarios), cerámica sanitaria y también en baldosas cerámicas (pavimentos y revestimientos).

La clasificación tradicional de este tipo de arcillas procede del Reino Unido y atiende a sus características físico-químicas, mineralógicas y genéticas.

- Arcillas plásticas o “Ball-clays”. Se trata de arcillas de colores grises (debido al elevado contenido en materia orgánica), muy plásticas y compuestas fundamentalmente por caolinita, montmorillonita e illita y cuarzo. La caolinita suele tener un tamaño de grano extremadamente fino y una estructura poco cristalina.

Las arcillas plásticas de cocción blanca se emplean en la fabricación del soporte o del engobe de los pavimentos cerámicos, así como en los sectores de las lozas y porcelanas. Las utilizadas en la industria cerámica en España se localizan fundamentalmente en la provincia de Teruel

- Arcillas refractarias o “Fire-Clays”: Son aquéllas que contienen bajos contenidos en óxidos e hidróxidos de hierro, magnesio y álcalis, y que pueden soportar temperaturas superiores a 1.500° C. Su empleo en la fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos no está muy extendido.

Los principales yacimientos españoles se localizan en Losa del Obispo (Valencia). Se trata de arcillas caoliníticas en las que la caolinita tiene una estructura cristalina bien desarrollada, lo que disminuye sensiblemente su plasticidad. Se emplean fundamentalmente en la fabricación de cementos.

- Caolines pétreos o “Flint-clays”: Son materiales duros y compactos de fractura concoidea. En su composición mineralógica domina fundamentalmente la caolinita de elevada cristalinidad, con bajos contenidos en hierro y otros materiales fundentes. Se trata de arcillas muy abrasivas y cuya aplicación fundamental en cerámica es la fabricación de refractarios y chamotas.

Los yacimientos españoles se localizan en Asturias, en la zona de la Sierra del Pedroso. Se trata de niveles de caolines, de escaso espesor, intercalados entre cuarcitas que han sufrido un incipiente metamorfismo. Su riqueza en caolinita es del orden del 90%.

4.1.1.1 Revisión histórica reciente (1970-1999)

4.1.1.1.1 Distribución geográfica de la industria

El caolín y las arcillas caoliníferas son una materia prima barata, con una importante incidencia relativa de los costes de transporte. En España, las zonas donde ha existido una tradición extractiva importante (IGME, 1980c; IGME, 1984c) han sido:

Asturias

El producto más conocido se corresponde con un caolín de tipo “flint-clay”, asociado a formaciones ordovícicas, que puede calcinarse para la obtención de chamota y que se comercializa en esta forma o bien se vende en crudo para la fabricación de cemento blanco. Sin embargo, también existen arcillas más o menos caoliníferas, de yacimientos terciario-cuaternarios, no suficientemente investigados en cuanto a su aprovechamiento minero-industrial, pudiendo incluso tener que evaluarse la posible alteración “in situ” de los primeros.

Galicia

Los caolines gallegos, aun teniendo una precisa composición mineralógica, no presentan una tipología única, pudiendo ser clasificados en dos grandes grupos: caolines de origen granítico, formados mediante procesos de hidrotermalismo, solifluxión, meteorización, etc. y cuya principal aplicación ha sido en la industria del papel, y caolines de origen felsítico, con buenas cualidades, en general, para la industria cerámica.

Las arcillas caoliníferas gallegas se presentan en diferentes cuencas terciarias (tipo “pull apart”) asociadas a grandes desgarres estructurales de dirección NO-SE y a depósitos lignitíferos, generalmente, presentando una composición bastante variable (Castells López et al., 1978-1979; Rebollo Rodríguez et al., 1980; Rebollo Rodríguez et al., 1981; Rebollo Rodríguez et al., 1982).

Cordillera Ibérica

Los depósitos sedimentarios cretácicos se presentan con diferentes fases genéticas intermedias, difíciles de precisar. Se trata de depósitos siliciclásticos, preferentemente arcillosos (facies Escucha, Teruel) o arenosos con caolín (facies Weald o Utrillas, Guadalajara, Cuenca y Valencia).

Resto de España

En este grupo se consideran todas aquellas provincias no incluidas en los grupos anteriores y que, en algún momento, han tenido alguna explotación en activo pero sin excesiva relevancia, como es el caso de Segovia, Soria, Toledo y Zaragoza, con concesiones de explotación para “caolín”, aunque

con variable composición, y Albacete, Badajoz, Córdoba, Navarra, Salamanca y Cantabria.

4.1.1.1.2 Situación de la oferta

ASTURIAS

Caolines

Se trata de un "flint-clay", con aspecto físico pétreo, formando una capa de unos 0,7 m intercalada en formaciones ordovícicas, cuya explotación era por minería subterránea y explosivos.

El "todo-uno" tiene alto contenido en Al_2O_3 , medio-bajo en Fe_2O_3 , y algo alto el K_2O , con un tamaño de partícula bastante fino, baja blancura, elevado grado de amarillamiento y alta abrasividad. Sus principales usos son como caolín crudo, para la fabricación de cemento blanco, y como caolín calcinado que se comercializa como chamota para fabricación de refractarios y que supone el 60% del caolín producido en la región.

Las principales explotaciones se ubicaban en Bodenaya (Salas), Las Colladas (Tineo), "Concesión Teresa" (Salas), "Concesión Loly" (Salas), "Concesión Ulises" y "Concesión Arquera" (IGME, 1973; IGME, 1988b), siendo los principales productores: Caolines de La Espina, S.L., Extracción de Carbón y Caolín, S.A. (EXCALINSA), A. de la Serna y Cía., Caolines Armoricanos, S.L., Caolines de Merillés, S.L. y Caolines del Narcea, S.L..

Arcillas caoliníferas

Pueden presentar cierto interés, a expensas de los resultados de los ensayos tecnológicos adecuados, las arcillas terciarias, aflorantes o bajo sedimentos cuaternarios, de las siguientes cuencas (IGME, 1984a; IGME, 1984b; IGME, 1987):

Ría de Pravia

El sector septentrional costero, formado por terciarios en la zona de Pravia y en la prolongación oriental de la ría de Pravia, consta de: arenas silíceas explotadas hace años en el Monte Granda, arenas silíceas blanquecinas y ocres en las proximidades del aeropuerto de Asturias, arenas blancas y limos arcillosos con materia orgánica en La Tejera, arcillas limosas blancas y anaranjadas con muy poca potencia en La Braña, conglomerados, arenas y escasos niveles arcillosos en Prado del Marqués.

Cuenca de La Espina-Rañadoiro

Cuenca de origen tectónico, rellena de depósitos aluviales pelíticos (abanicos aluviales) y un ambiente de sedimentación oxidante a techo (tonos rojizos de los depósitos). En las arcillas de los sondeos efectuados (Rebollo Rodríguez et al., 1986) se han obtenido contenidos de 9-40% de cuarzo, 0-8% de calcita, 5-60% de caolinita, 0-70% de illita, 0-5% de clorita, 0-23% de

esmectita (montmorillonita). La unidad detrítica inferior es caolinítica (60%) y la superior (aluvial) es illítica (60-70%).

Depósitos terciarios y cuaternarios de Grado

Se trata de unos depósitos siliciclásticos del Paleógeno, afectados por una importante tectonización, situados bajo materiales aluviales.

La composición de las arcillas estudiadas mediante sondeos (Rebollo Rodríguez et al., 1986), ha dado los siguientes valores: 10-32% de cuarzo, 4-5% de calcita, 17-35% de caolinita, 26-68% de illita. El miembro inferior tiene contenido illítico (55-70%), con caolinita como mineral secundario, con un contenido algo más elevado que en el resto de la formación. Los miembros intermedio y superior también son illíticos (70%), con caolinita como secundario.

GALICIA

Arcillas caoliníferas

En la región gallega presentan posibilidad de aprovechamiento para azulejos, revestimientos de pasta blanca y pavimentos gresificados de pasta blanca las arcillas de las cuencas de As Pontes, Valle del río Louro y O Grove, mientras que se obtiene pasta de cocción roja con las arcillas de Lendo y Meirama, presentando alto contenido en hierro las arcillas de Maceda.

As Pontes de García Rodríguez (A Coruña)

En esta cuenca, de gran extensión y potencia, se explotan lignitos desde 1971. El aprovechamiento minero de estas arcillas es dudoso, al estar mezcladas formando un "todo-uno" heterogéneo en la escombrera con las capas de carbón o bien en capas individualizadas de la propia explotación; siendo su aprovechamiento difícilmente viable mediante una explotación simultánea de lignitos y arcillas.

Con estas arcillas se han efectuado diferentes composiciones, favorables para la obtención de:

Azulejos de revestimiento: composición para fabricación, por prensado, de azulejos de revestimiento en bicocción tradicional (ciclos de 24-48 horas en primera cocción).

Loza feldespática: Composición preparada para la fabricación, por colado, de piezas de loza, para su decoración por esmaltado en segunda cocción.

Pavimento gresificado: Composición preparada para la fabricación, por prensado, de pavimento cerámico esmaltado de baja absorción de agua mediante un proceso de monococción en ciclos rápidos de 45-60 minutos.

Pavimento gresificado: Composición preparada para la fabricación por extrusión de un pavimento cerámico esmaltado de baja absorción de agua, mediante un proceso de monococción en un ciclo de cocción lenta (unas 24 horas).

Valle del río Louro (Pontevedra)

Tiene grandes reservas, pero coincide en gran parte con una zona urbana e industrial.

Se alternan niveles de arenas, limos y arcillas blanquecinas con diferentes potencias, granulometrías y colorido. Se trata de una arcilla tipo "ball-clay", donde el mineral principal de la fracción arcilla es la caolinita y los minerales de su grupo. Los altos porcentajes de óxidos de hierro que contienen ciertos niveles, frecuentemente superiores al 51 %, disminuyen la calidad de las mismas.

Tecnológicamente, las arcillas analizadas en esta cuenca se clasifican en dos grupos:

- Arcillas caoliníticas (casi hasta 100% de caolinita), plásticas, con un contenido pobre en la fracción $< 2 \mu$ (10%), alto contenido en alúmina (30%) y también alto en Fe_2O_3 (casi 3,1 %). Presentan una resistencia en seco baja (10 kg/cm^2) y un índice de blancura medio, con color rosado después de cocción a 1.180° C . Gozan de excelente concentración de colaje, con 67% de sólidos a 5 poises y elevada velocidad de formación de espesor ($4 \text{ mm}^2/\text{min}$), por lo que tienen características óptimas para su uso en la fabricación de gres sanitario. Además, por su alto porcentaje en alúmina, pueden ser aprovechadas en la industria de refractarios.
- Arcillas caolinítico-illíticas, plásticas, con alto contenido en alúmina ($> 30\%$) y una granulometría del orden del 50% en la fracción $< 2\mu$. Poseen una resistencia en seco media y un color, después de cocción a 1.180° C , amarillo claro, con un índice de blancura entre 50 y 70. Pueden utilizarse en cerámica blanca en los casos de índice de blancura elevado. La concentración de colaje también es alta (67-68% de sólidos a 5 poises), pero en estas arcillas la velocidad de formación de espesor es muy pequeña. Cuando el índice de blancura es inferior al valor mínimo exigible para su utilización en cerámica blanca, su principal aplicación está en la industria de refractarios (ladrillos, masas, morteros).

O Grove (Pontevedra)

Arcillas arenoso-margosas y caoliníticas. En esta cuenca (zona de Dena), existe un gran número de explotaciones arcilleras, de grandes dimensiones muchas de ellas, con frentes de hasta 20 m de altura y 100 m de longitud.

Las arcillas son en general plásticas, con un contenido en arcilla muy alto (> 80% de la fracción < 12 μ), y algunos tramos arenosos. El mineral principal de la fracción arcilla es la caolinita, con illita como mineral accesorio y trazas, donde destaca el alto contenido en alúmina (> 20%). Se trata de unas arcillas en general de buena calidad, aunque el contenido en hierro sea normalmente alto, > 5% en algunas muestras.

Se presentan los siguientes grupos de arcillas:

- Arcillas caolinítico-illíticas, plásticas, con porcentajes > 50% en la fracción < 2 μ , alto contenido en alúmina (30%) y color rosáceo después de la cocción a 1.180° C debido al contenido en Fe_2O_3 (4%), con índice de blancura relativamente bajo (30-40). Por su alto contenido en alúmina, son válidas como arcillas refractarias, chamotas y también como clinker de cemento aluminoso, dado su alto contenido en Fe_2O_3 .
- Arcillas caolinítico-illíticas, plásticas, con elevado contenido en alúmina (> 30%) y en Fe_2O_3 (> 5%), lo que le confiere un color rojizo después de la cocción a 1.180° C, siendo el índice de blancura bajo (un 20). Sus aplicaciones están en la industria de refractarios aluminosos y sílico-aluminosos y en la fabricación de clinker de cemento aluminoso.
- Arcillas caoliníticas y caolinítico-illíticas, plásticas, con alto contenido en alúmina (> 30 %) y algo bajo en Fe_2O_3 (2 %), granulometría fina (> 50% < 2 μ), color blanco y/o crema en cocción a 1.180° C y un índice de blancura medio (> 50). Válidas en la fabricación de chamotas y en la industria de refractarios en general.

Con estas arcillas se han efectuado diferentes composiciones, favorables para la obtención de:

Refractarios: fabricación de refractarios por tres métodos distintos: colado, prensado y extrusionado.

Azulejos de revestimiento: composición por prensado para la fabricación de azulejos porosos de revestimiento en pasta blanca, en ciclos tradicionales de bicocción (24-48 horas en primera cocción).

Loza: composición por extrusión para la fabricación de productos de loza resistentes al choque térmico (cazuelas, etc.).

Gres artístico: composición preparada para la fabricación, mediante colado, de un gres artístico (pasta roja).

Valle de Lendo (Pontevedra)

Se trata de arcillas de tonos grises y verdosos, fundamentalmente caoliníticas, aunque en algunos tramos también está presente la montmorillonita como mineral principal de la fracción arcilla, y presentan una

buena plasticidad, lo que pueden hacerlas interesantes para la industria de refractarios en general, así como en la industria del gres y para la fabricación de chamotas. Su potencia no supera los 15 m.

En la zona de Laracha (Lendo) presentan un 65-70% de caolinita y 10-25% de montmorillonita e illita, en pequeñas proporciones, en los tramos inferiores; 70% de illita en los intermedios y 85-90% de illita y 10-15% de caolinita en los superiores.

De acuerdo con los resultados de los ensayos generales y tecnológicos pueden distinguirse:

- Arcillas caoliníticas con 15% de micas y 10% de cuarzo, de buena plasticidad (índice de plasticidad entre 15 y 25), fina granulometría (más del 65% es $< 2 \mu$) y buena resistencia en seco (30 kg/cm^2), pudiendo ser consideradas como arcillas tipo "ball-clay". En cocción a 1.180° C presentan color amarillo claro y blanco amarillento, con un índice de blancura de 45-60, con aplicaciones industriales en la cerámica sanitaria y en la fabricación de gres sanitario. Por su alto contenido en alúmina pueden utilizarse en la industria de refractarios en general.
- Arcillas halloysíticas (95% de halloysita y 5% de esmectitas) de bajo índice de plasticidad (5), un 55% en peso en la fracción $< 2 \mu$ y buena resistencia en seco (30 kg/cm^2), aunque relativamente bajo después de cocida a 1.180° C . El color después de cocción a 1.180° C es amarillo claro, con un índice de blancura de 34. Pueden utilizarse como arcillas refractarias y en la fabricación de chamotas refractarias.

Con estas arcillas se han efectuado una composición favorable para clinker.

Meirama (A Coruña)

Mediante ensayos tecnológicos, se investigaron las arcillas asociadas al yacimiento de lignitos, actualmente en explotación. Se trata de arcillas de tonos verdosos, grises pardos e incluso negruzcos, de elevada plasticidad, especialmente las llamadas "achocolatadas", con abundante materia orgánica y fuertemente caoliníticas (el mineral principal de la fracción arcilla es la caolinita y los minerales de su grupo, apareciendo la montmorillonita e illita como minerales secundarios y trazas), con un elevado contenido en Al_2O_3 y escaso contenido en fundentes.

El gran volumen de arcillas que se ha movido como estéril en la explotación del lignito y su buena calidad, al menos en algunos tramos, conduce a la selección positiva de esta cuenca, aunque sus arcillas se encuentran mezcladas en las escombreras con otros estériles, lo que dificulta su aprovechamiento.

De forma muy general, pueden establecerse tres grandes agrupaciones de arcillas.

- Arcillas caoliníticas, plásticas, con alto contenido en la fracción $< 2 \mu$ (65 %) y color de cocción blanco, por lo que se pueden encuadrar en las arcillas de tipo "ball-clay". Por su alto índice de blancura, algo superior a 75, y su elevada concentración de colaje (65% de sólidos a 5 poises), se trata de arcillas aptas para la fabricación de loza y sanitarios, aunque quizás sea un poco baja la velocidad de formación de espesor ($1,2 \text{ mm}^2/\text{min}$).
- Arcillas caolinítico-illíticas (68% caolinita, 25% micas), de plasticidad media, bajo contenido en la fracción $< 2 \mu$ y alto porcentaje de fundentes. En cocción presentan color blanco, con un índice de blancura superior a 70, por lo que pueden emplearse en cerámica blanca y más concretamente en la fabricación de loza.
- Arcillas caolinítico-illíticas de baja o media plasticidad, pobre contenido en la fracción $< 2 \mu$ y porcentaje en alúmina de 20 a 30%. Después de cocción a 1.180° C presentan un color crema o rosáceo, con un índice de blancura entre 40 y 60, bajo para emplearlas en cerámica blanca. Pueden ser utilizadas como arcillas refractarias, en chamota o como aglomerante de ésta, en la industria de refractarios en general y en la de refractarios sílico-aluminosos.

Con estas arcillas se ha efectuado una composición favorable para clinker.

Xanceda (A Coruña)

Pequeña cuenca con arcillas plásticas, de tonos ocre y verdes, con montmorillonita y caolinita y presencia de diferentes niveles de lignito. En la composición de las arcillas suele dominar la caolinita (36-40%), con illita como accesorio y presencia, en algunos niveles, de 43-60% de esmectita.

Sur y SE de Maceda (Ourense)

Arcillas arenosas, miocenas, de tonos grises y ocre. Son litologías con un contenido medio-alto en la fracción arcillosa ($> 50\%$ en la fracción $< 12 \mu$), con caolinita y minerales de su grupo como mineral principal, si bien en algunos casos también están presentes la illita y la vermiculita, y como secundario la montmorillonita. Destaca en algunas muestras el alto contenido en Fe_2O_3 ($> 5 \%$).

En el miembro superior (Pías) domina la illita (60-70%) sobre la caolinita, mientras que en el intermedio (Corno) e inferior (Vega) domina la caolinita (55-60%) sobre la illita.

Las arcillas analizadas presentan gran variedad en contenidos de minerales arcillosos (kanditas, micas y esmectitas) con 30-40% correspondiente a la fracción $< 2\mu$, un índice de plasticidad alto (del orden de 20) y una resistencia en seco muy elevada, con $150-190 \text{ kg/cm}^2$ de módulo de ruptura.

Debido al alto contenido en Fe_2O_3 y fundentes el color de cocción, a 1.180°C , se presenta rojizo, con un índice de blancura muy bajo (10-20), por lo que sus aplicaciones se encuentran dentro del campo de la cerámica roja.

Laguna de Antela-Xinzo de Limia (Ourense)

Presenta arcillas aflorantes de tonos ocres y grises. La cuenca tiene un nivel inferior con 50-100 m de arenas arcósicas y 10-20 % de arcillas caoliníticas; un nivel intermedio de 30-70 m de arcillas caoliníticas, a veces limosas, con niveles de lignito; y un nivel superior, con 60-80 m de arenas medias y gruesas, silíceas o arcósicas, con matriz arcillosa caolinítica y presencia de abundantes feldespatos. En la actualidad existen explotaciones de arcillas y arenas feldespáticas (Rebollo Rodríguez y Baltuille, 1982).

No se efectuaron ensayos tecnológicos.

TERUEL

En esta provincia se explotan depósitos de arcillas de cocción blanca en la Facies Escucha, mientras que en las restantes provincias de la Cordillera Ibérica (Valencia, Cuenca, Guadalajara) se extraen arenas caoliníferas (IGME, 1982b). Geológicamente, se enmarcan en el Cretácico inferior y, dentro de él, en las facies continentales Weald y Utrillas (o Escucha).

Formación Escucha

El IGME (1980a) realiza un estudio previo sobre las arcillas de la región levantina española, que profundiza y completa posteriormente (IGME, 1983b).

Cita en Molinos Teruel) la presencia de arcillas con una proporción muy baja en CaO (< 1%), TiO_2 generalmente < 1% (no sobrepasando el 2%) y Fe_2O_3 que varía de 0,5 a 8%. El Na_2O es siempre < 0,5% y el K_2O varía del 1 al 3%, siendo a menudo inferior al 0,5%. No se aprecian sulfatos ni cloruros en ninguna de las muestras analizadas.

En Fuentespalda (Teruel), el comportamiento de los ensayos tecnológicos de las arcillas así como las de sus características granulométricas, mineralógicas y químicas es el indicado para que sean utilizadas como arcillas refractarias. El color de cocción es blanco en una muestra y beige en otra. En la difracción de rayos X y en el A. T. D. se observa la clara presencia de caolinita, con un exotérmico a 900°C en el diagrama A. T. D.

Las arcillas de Cañada de Verich, Berge, Estercuel y Soraya son adecuadas para pastas blancas de pavimento y revestimiento. También pueden utilizarse en la fabricación de gres de tipo rústico.

En Cañada de Verich se citan, activas, dos minas de interior:

Mina "Balmes" (Súñer, S.A.), situada al NE de Cebollera.

Aparecía el caolín como sustancia explotada, sin embargo se explotaban arcillas grises y negras para refractarios y arcillas grises para pastas blancas.

Mina "Santa Bárbara" (Arcillas Extra-Aluminosas, S.A.).

Explotaban un nivel de arcillas grises y negras, ricas en restos de materia orgánica y lignito.

Además de estas dos minas, existían cinco canteras activas y dos inactivas.

- Al NO del pueblo (explotación de Súñer, S.A.) se extraían arcillas rojas y versicolores y grises o negras. El material era clasificado, vendiéndose las arcillas grises a la industria cerámica de la provincia de Castellón.
- En el valle situado al N de Valdeluna hay una cantera de esta misma empresa que se halla sobre la citada Mina "Balmes".
- En el collado situado en la carretera local Torrevellilla-Cañada de Verich (explotación de J. Mollet, Alcañiz), se extraían arcillas rojas y versicolores y otras grises y pardas. A esta misma empresa pertenecía la explotación ubicada al sur de Punta del Sideral (paraje de La Vall) en la que se extraían arcillas versicolores, negras y pardas.
- Hacia el SE, en la explotación "Predio Llombard", INTRASA beneficiaba arcillas que eran utilizadas para la fabricación de refractarios.

Las muestras de Crivillén (Minera Sabater, S.L.), Fuentespalda y Los Molinos, presentan características similares, siendo su principal diferencia, con las citadas anteriormente, la presencia variable de Fe_2O_3 (0,5-8%), haciéndolas más adecuadas para la fabricación de gres rojo.

RESTO DE ESPAÑA

En IGME (1984c) se hace un completo estudio, a nivel nacional, de los indicios de caolín y arcillas caoliníferas para pasta blanca.

BURGOS

- Cía. CAOLINES DEL NORTE explotaba unas concesiones al SE de Burgos y otras en Soria, con el lavadero en Hontoria del Pinar (IGME, 1980b).

- La única empresa extractiva en activo era CASTAÑO y Cía., con una producción de 500 t/año de caolín lavado, en sus concesiones de Mambrilla de Lara. El caolín lo consumía una fábrica de refractarios que poseía la propia empresa.

CANTABRIA

La facies Utrillas, incluso las formaciones Quintanilla de An y La Canal, contiene niveles arcillosos de buena calidad, con una utilización cerámica selectiva y dirigida al campo de la loza y la porcelana y al sector de azulejos-revestimientos. Algunos niveles arenosos también pueden ser utilizados en el sector de la loza y la porcelana.

En la facies Utrillas (Cretácico inferior) el Al_2O_3 tiene, en la fracción analizada (< 12 μm), un valor promedio máximo del 29,92 %.

Las arcillas cretácicas cántabras poseen variadas aplicaciones industriales (IGME, 1988c; ITGE, 1990a), diferenciadas en:

- Grupo Cabuérniga: ladrillos y tejas - azulejos y revestimientos (pasta roja).
- Fm. Bárcena Mayor: ladrillos y tejas - azulejos y revestimientos (pasta roja) - loza y porcelana.
- Fm. Vega de Pas: ladrillos y tejas - azulejos y revestimientos (pasta roja).
- Fm. Las Rozas: azulejos y revestimientos (pasta blanca) - loza y porcelana.
- Fm. Cuchía: ladrillos y tejas - azulejos y revestimientos (pasta roja).
- Fm. Las Peñosas: ladrillos y tejas - azulejos y revestimientos (pasta roja) - loza y porcelana
- Fm. Suances: azulejos y revestimientos (pasta roja) - loza y porcelana
- Unidad CP1-2B16B y Fm Quintanilla de An: ladrillos y tejas - azulejos y revestimientos (pasta roja).
- Fm. La Canal y Fm Utrillas: azulejos y revestimientos (pasta blanca) - loza y porcelana.
- Fm. Meruelo y Fm Valmaseda: ladrillos y tejas.
- Fm. Bielba: ladrillos y tejas - azulejos y revestimientos (pasta roja).

SEGOVIA

- La única empresa que ha tenido actividad extractiva reciente en la provincia ha sido la Sociedad Minera de San Albín, la cual tenía, en la década de los 80, todas sus concesiones paradas.

SORIA

- Existieron unas concesiones de caolín explotadas por la Cía. CAOLINES DEL NORTE, pero debido al cierre de la empresa estaban ya abandonadas (IGME, 1984c).

ZARAGOZA

- Rafael Blanc Esteve explotaba la concesión “Emperador” en Bijuesca, con una pequeña producción de caolín bruto y arenas silíceas.
- Eliseo Blanc Martín tenía en actividad la concesión “El Rosario”, con caolín bruto que destinaba a su lavadero de Calatayud.
- La Cía. Ibérica de Caolines producía arenas silíceas con muy poco caolín y disponía de un lavadero en Cetina.
- LAS ERAS, S.A. explotaba caolín bruto, en la cantera “San Pedro” en Alhama de Aragón, destinado en su totalidad a la fabricación de refractarios.

Tabla 1. Distribución de la producción de caolín (1983).

ZONA	PROVINCIA	Empresa Explotadora	PRODUCCIÓN (t)		
			Caolín lavado	Caolín bruto	
GALICIA	LUGO	ECESA "Caolines de Burela"	60.000	-	
		ARNOR	3.000	-	
		Otros		8.00	
	A CORUÑA	Caolines de Vimianzo	100.000		
CORDILLERA IBÉRICA	VALENCIA	Hnos. Salvador la Piedra	600	-	
		SICAMAR	2.300	-	
		SILCA	20.000	-	
		Otros	4.000	-	
	CUENCA	CAOLINA	600	-	
		CASOCIPA	7.000	-	
		GUSBA	2.500	-	
		SICA	800	-	
		V. NALDA	1.800	-	
		CEMISA	400	-	
		CARRIÓN	-	15.000	
	TERUEL	R. BLANC	2.000	-	
		SYCA, S.L.	8.000	-	
		SILCA	5.000	-	
	GUADALAJARA	CAOBAR	20.000	-	
		CAOSIL	25.000	-	
		J. MUÑOZ	-	14.000	
		Ref. Hispano-Belgas	-	600	
	RESTO DE ESPAÑA	ZARAGOZA	R. BLANC	-	13.700
			E. BLANC	-	3.000
Cía. Ibérica de Caolines			-	8.000	
LAS ERAS			-	6.000	

	SEGOVIA	S.M. SAN ALBÍN	-	-
	SORIA	CAOLINES DEL NORTE	-	-
	BURGOS	Castaño y Cía.	500	-
	ASTURIAS	EXCALINSA	25.000	
		A. de la Serna y Cía.	30.000	
		Caolines Armoricanos y Otros	60.000	

Existen otras provincias que han tenido concesiones de explotación de caolín en activo y que en 1984 habían desaparecido del conjunto nacional, como es el caso de Albacete, Badajoz, Córdoba (IGME, 1982c), Navarra, Salamanca y Cantabria. Todas ellas, en conjunto, eran poco representativas ya que sus producciones eran de caolín bruto y no en grandes cantidades.

En la Tabla 1 figura el conjunto de la producción nacional por zonas, provincias y por empresas explotadoras, dividida en caolín lavado y caolín en bruto.

4.1.1.2 Panorama nacional actual (2000-2006)

España es un importante productor de este tipo de arcillas, fundamentalmente debido a la pujanza internacional de su sector cerámico, principal consumidor de estos materiales.

4.1.1.2.1 Yacimientos nacionales y empresas extractivas

Como se ha dicho anteriormente, las arcillas de cocción blanca españolas que se emplean habitualmente en la industria de los pavimentos cerámicos en España son de la provincia de Teruel.

Las arcillas refractarias de cocción blanca o "ball-clays" se utilizan en diversos sectores cerámicos, de los cuales los más importantes son los soportes de baldosas de pasta blanca, si bien también se utilizan arcillas refractarias especiales en esmaltes, engobes y pastas para loza, porcelana y sanitarios.

Las arcillas de cocción blanca que se emplean en España son principalmente nacionales aunque alrededor de un tercio es importado de Reino Unido, Alemania, Francia y Ucrania.

El consumo total de este tipo de arcillas en España alcanza 1.200.000 t/año, con un valor de 36 M€. La inmensa mayoría de las explotaciones están en la unidad geológica denominada Facies Utrillas, del Cretácico Inferior, cuyos afloramientos se extienden desde Asturias hasta el Prebético de Murcia, con especial incidencia en la Cordillera Ibérica, que es donde se localizan la mayoría de las actuales explotaciones.

EUROARCE (distribuidora y perteneciente al Grupo SAMCA) se nutre de Aragón Minera, S.A. (productora de arcillas en el Grupo SAMCA), quien es el mayor productor español de arcillas de cocción blanca. Beneficia arcillas caolinítico-illíticas del Albiense, del tipo "ball-clay", con plasticidad media y cocción clara con bajos contenidos en hierro y titanio.

La empresa opera varias canteras en Teruel, en las localidades de Ariño, Oliete, Estercuel, Castellote y Gargallo, de las que extrae 500.000 t/año de arcillas refractarias utilizando una técnica de extracción muy selectiva, y otra en Basconcillos del Tozo (Burgos), en donde se explota una cantera de arcillas con abundante materia orgánica y contenidos en caolinita del orden de 35-40 %, produciendo unas 60.000 t/año (Toro Quirós, 2007b).

En Ariño se encuentran la planta lavado y purificación de arcillas, con capacidad para 115.000 t/año de arcillas de cocción blanca para su consumo en sanitarios, esmaltes y engobes, y una planta de homogeneización de arcillas para 350.000 t/año, donde se producen arcillas illítico-caoliníticas para la industria cerámica. En Gargallo tienen otra similar para 300.000 t/año. Además, en Ariño se ha instalado recientemente una planta de calcinación, con 45.000 t/año de capacidad.

Posee su propia planta de atomización, 4 atomizadores en Onda (Castellón), con una capacidad de producción de 800.000 t/año de pastas cerámicas para pavimentos y revestimientos cerámicos. Tales desarrollos han sido posibles gracias a un complejo laboratorio y una planta semi-industrial para prototipos.

Minera Sabater, S.L. es el segundo productor de este tipo de arcillas, con una producción de unas 500.000 t/año, que extrae de sus tres canteras situadas en Teruel.

Posee plantas de homogeneización y laboratorio en Crivillén (Teruel), constituyendo uno de los principales referentes de las denominadas "arcillas de Teruel".

Portomé, S.A., empresa del Grupo PORCELANOSA, produce 200.000 t/año de arcillas refractarias que se consumen exclusivamente en las fábricas del grupo.

Otros productores más pequeños son MIRESA, ARCIMU, S.A. y Arcillas Capilla, S.L., todos ellos con explotaciones en Teruel y una producción conjunta de unas 100.000 t/año.

MIRESA dispone de arcillas de cocción roja y blanca en Cañada de Verich y, fundamentalmente, arcillas de cocción roja en Beceite. ARCIMU, S.A. tiene explotaciones de arcilla en Cañada de Verich, con calidades muy similares a las del anterior productor. Finalmente, Arcillas Capilla, S.L. tiene yacimientos de arcillas en Aguaviva.

También se debe citar a Arcillas de Oliete, S.L., con arcillas de cocción blanca y roja en Oliete y a Todarcilla, S.L., con domicilio social en Alcorisa, que beneficia arcillas de cocción blanca en Castellote-Mas de las Matas.

La incorporación al sistema productivo de plantas de homogeneización y atomizadores en la industria española de baldosas cerámicas ha sido una de las causas del importante avance experimentado por esta industria en relación con la preparación de las materias primas en los últimos años. Además de los ocho atomizadores de arcillas rojas más antiguos (Atomix, S.A., Azuliber, S.A., Tierra Atomizada, S.A., Atomizadora, S.A., ARCILLAS ATOMIZADAS, S.A., Atomicer, S.A., Atomisa y Atomizadora de Alcora, S.A.), están ya operativas dos plantas de atomización nuevas, si bien muchas fábricas de baldosas tienen su propio atomizador. En el caso de las baldosas de pasta blanca sólo hay un productor independiente de arcillas refractarias atomizadas (EUROARCE) que suministra al mercado libre. Actualmente están en funcionamiento cuatro nuevas plantas de atomización de pasta blanca, que son: Euroatomizado, S.A., Arcilla Banca, S.A., Azuliber, S.A. y Nuevos Productos Cerámicos, S.A..

El caolín es una materia prima formada por filosilicatos del grupo de las kanditas que se presenta en España principalmente en yacimientos sedimentarios de arenas silíceas caoliníferas de la Facies Utrillas, aunque hay algunos yacimientos de caolín de alteración antigua de rocas ígneas del Paleozoico (Galicia y Asturias) o de alteración actual de granitoides (Zamora). El tratamiento mineralúrgico del caolín de cada tipo de yacimiento es completamente diferente.

Casi un 57% (250.000 t/año) de la producción nacional de caolín se consume en la industria cerámica nacional (88%) e internacional (12%). Los principales sub-sectores consumidores son el de la porcelana sanitaria, las vajillas, los esmaltes y engobes, las pastas blancas para pavimentos y revestimientos y las chamotas para gres natural.

Los principales yacimientos se encuentran situados en Guadalajara, Lugo, La Coruña, Valencia y Teruel. Las reservas del caolín estimadas sobrepasan los 100 Mt, lo que da lugar a un panorama prometedor para su expansión, más aún gracias a la mejoría de los mercados consumidores. La producción de caolines cerámicos alcanza un valor a pie de mina de 21 M€.

El Grupo Explotaciones Cerámicas Españolas, S.A. (ECESA) es el mayor productor español de caolines cerámicos y segundo productor de caolines en general de Europa. El grupo produce 140.000 t/año de las cuales 45.000 t/año son caolines cerámicos de sus explotaciones en Burela, Grupo Minero Ecesa y Regovello (Foz, Lugo) y Poveda de la Sierra (Guadalajara). Dispone de una planta de tratamiento en Burela (250 t/día) y dos plantas en Guadalajara, una en Poveda de la Sierra que produce unas 25000 t/año de caolín para estucado y otra en Villanueva de Alcorón que produce caolines para papel, cerámico y fibra de vidrio.

Caobar, S.A. actualmente produce unas 90.000 t en su planta de Taracena (Guadalajara) proveniente de su Grupo Minero en Poveda de la Sierra, para cerámica, papel, vidrio y pinturas. La empresa suministra 30.000 t/año de caolín cerámico al mercado de Castellón.

WBB ESPAÑA, S.A. suministra actualmente 50.000 t/año de caolín cerámico (35.000 t/año), para cargas y para cemento en su planta de Higuieruelas, con una cantera en Villar del Arzobispo y otra en Yesa (Valencia).

Aparte de los yacimientos de arcilla localizados en la Cordillera Ibérica, hay que citar a los materiales provenientes de la Zona Astur-Occidental Leonesa (ZAOL), concretamente de Asturias que, a pesar de la citada dificultad de diferenciación entre "arcillas caoliníferas s.str." y "caolines" con un cierto transporte, están empezando a llegar a los mercados levantinos para su aplicación en la industria cerámica. No se descarta, que la posible "arcilla caolinífera" del yacimiento de Bodenaya (Caolines de La Espina, S.L.) pueda responder a un proceso de alteración del caolín primario, siendo preciso efectuar un estudio específico para establecer una mayor concreción.

La explotación de Caolines de La Espina, S.L., parece situarse sobre un nivel de pizarras micáceas a techo de la Formación Barrios del Ordovícico, cuarcitas masivas de color blanco y unos 600 m de espesor, eluvionado, con un proceso de alteración favorecida al situarse el yacimiento bajo depósitos terciarios y cuaternarios, con 0,60 m de turba y 1,50 m de arena silícea suelta que contrastan con los materiales del yacimiento (arcilla y cuarcita de los hastiales) que presentan direcciones NNE-SSO y buzamientos superiores a 50°, propios de la formación paleozoica. En la margen izquierdo de la Cª. Bodenaya-Casandresín se puede observar la alteración que presenta dicho nivel pelítico de la Formación Barrios.

Actualmente, el material extraído se vende a la empresa Cerámica de La Espina, S.L. para la fabricación de ladrillo blanco y se pretende cumplir con otros clientes, incluso de la industria cerámica levantina, a partir de su planta instalada en el Polígono Industrial "El Zarrín" de La Espina.

La arcilla blanca extraída por Arcillas B y B, S.L. (Cueva) se encuentra en un yacimiento estratiforme, con una compleja disposición estructural hercínica, formado por una capa de caolín pétreo (interestratificado en la Cuarcita de Barrios, de edad Ordovícico inferior) procedente de la alteración diagenética "in situ" de una toba de cenizas volcánicas (Aramburu, 1989). Constituye una roca compacta, de fractura concoide, no disgregable a mano, tacto ligeramente jabonoso y tonalidades grisáceas claras. En la planta transformadora, ubicada en el Polígono Industrial El Zarrín (La Espina) a unos 4 km de la explotación, se efectúa la molienda, mezcla y almacenamiento y se aprovecha para la elaboración de cemento blanco y cerámica fina en Castellón.

En la Zona Centro-Ibérica (ZCI) se encuentra la explotación de Arcillas y Feldespatos de Río Pirón (Grupo SAMCA), ha pasado a denominarse Arcillas y Feldespatos de Río Pirón, S.A. Cuenta con varias explotaciones en

Zamora y una planta de tratamiento, con 100.000 t/ año de capacidad en Tamame de Sayago (Zamora), produciendo arcillas caolinítico-esmectíticas, caolín cerámico, cuarzo y mica clasificada y micronizada. Sus yacimientos son residuales, sobre un suelo de alteración de roca granítica subyacente. La producción, en 2005, fue unas 6.000 t de caolín lavado, alrededor de 45.000 t de arcillas, entre lavadas y clasificadas, además de mica y arenas silíceas.

4.1.1.2.2 Producción minera

La producción nacional de caolín y arcillas de cocción blanca, en 2004, ascendió a alrededor de 1,5 Mt, 438.000 t de caolín y 1 Mt de arcillas de cocción blanca. En 2005, los datos provisionales acercan la producción a las 460.000 t de caolín lavado.

Tabla 2.- Producción nacional de arcillas caoliníferas

Provincia	2000	2001	2002	2003	2004
Guadalajara	101.588	116.695	145.657	124.422	110.558
Valencia	75.331	79.412	90.736	106.682	114.826
Lugo	53.599	40.759	44.769	49.600	44.501
Asturias	40.513	42.667	37.539	35.933	31.855
La Coruña	34.173	45.103	51.482	55.861	50.106
Zamora *	20.217	19.247	23.579	26.188	33.934
Cuenca	16.934	17.281	13.721	13.507	18.240
Teruel	11.000	9.942	12.000	15.000	33.970
Total	353.355	37.106	419.483	427.193	437.990

Fuente: DGM-MICYT (2005) (*): Incluye arcillas montmorilloníticas

La Tabla 2 recoge la evolución reciente de la producción vendible de caolín por provincias según la Estadística Minera de España (DGM-MICYT, 2005), que separa la producción de caolín en “caolín lavado” y “caolín bruto”. Dado que el caolín comercializable es el resultado de un proceso de lavado, el “caolín bruto” se entiende como el material que se extrae de las explotaciones antes de ser sometido al proceso de lavado, por lo que no se considerará a efectos estadísticos. En el caso de Asturias no existe proceso de lavado, al tratarse de “caolín pétreo” o “flint-clay”, que se emplea, tras un proceso de molienda, en chamotas cerámicas.

4.1.1.2.3 Reservas y recursos nacionales

Los recursos nacionales de caolín no han sido evaluados en su conjunto, si bien existen estimaciones parciales. De los datos aportados por los principales productores se puede deducir que dichos recursos rondan los 230 Mt.

EL ITGE (1990a) evaluó las reservas del caolín pétreo en Asturias, estimándolas en 3,3 Mt.

4.1.1.2.4 Comercio exterior

Las transacciones internacionales de caolín quedan recogidas en el Arancel de Aduanas, desde 1995, en los epígrafes 25.07.00.20 (caolín) y 25.07.00.80 (las demás arcillas caolínicas), sustitutivas de las anteriores 25.07.00.10 (caolín bruto) y 25.07.00.90 (los demás caolines). La inclusión de la segunda, dentro del comercio exterior de caolín, es imprescindible para mantener la coherencia de la serie estadística histórica; si bien las importaciones deberán ser depuradas, pues junto a materiales con precio medio de 31 \$/t, correspondientes posiblemente a arcillas caolínicas propiamente dichas o a caolín sin lavar, incluye otros con precio entre 100 y más de 1.000 €/t. En cuanto a las exportaciones, su valor medio con frecuencia supera al del caolín, o es muy similar al de éste (107,68 €/t en 2003, 98,12 €/t en 2004, 92,75 €/t en 2005, frente a los 94,33 €/t, 107,93 €/t y 107,34 €/t, respectivamente, del caolín).

Las importaciones de caolín cayeron un 4,4% en peso respecto al año anterior, pero su valor aumentó un 1,5%, gracias al incremento del precio medio, que pasó de 104,01 €/t en 2004 a 110,50 en 2005, representando el 9,7% del peso y 30,2% del valor totales de las compras externas de productos caolínicos (Tabla 3). En cambio, las de las demás arcillas caolínicas subieron un 16,1% en tonelaje y 30,8% en valor, procediendo de Ucrania (54,9%), Reino Unido (35,3%), Francia (4,6%), Portugal (3,1%) y otros 20 países (2,1%). El caolín se adquirió en Reino Unido (23,5%), EEUU (20,6%), Francia (17,4%), Brasil (15,1%), Turquía (9%), Bélgica (4,1%) y 14 países más (10,3%).

Tabla 3.- Comercio exterior de caolín (t y 103 €)

	IMPORTACIONES					
	2003		2004		2005	
	Cantidad	Valor	Cantidad	Valor	Cantidad	Valor
Minerales						
Caolín	248.624,8	25.504,0	242.944,2	25.269,3	232.208,9	25.658,7
Arcillas caolínicas	769.883,5	37.509,1	976.395,8	45.367,1	1.134.017,2	59.335,2
TOTAL	1.018.508,3	63.012,1	1.219.340,0	70.636,4	1.366.226,1	84.993,9

	EXPORTACIONES					
	2003		2004		2005	
	Cantidad	Valor	Cantidad	Valor	Cantidad	Valor
Minerales						
Caolín	117.485,2	11.082,5	104.340,6	11.261,2	111.992,5	12.021,1
Arcillas caolínicas	55.847,2	6.013,6	47.125,9	4.624,0	80.742,3	7.489,0
TOTAL	173.332,4	17.096,1	151.466,5	15.885,2	192.734,8	19.510,1

Fuente: Estadística del Comercio Exterior de España, Agencia Tributaria, Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales

El 58,1% del peso y 61,6% del valor totales de las exportaciones correspondió al caolín propiamente dicho, cuyas ventas externas crecieron un 7,3% en tonelaje y 6,7% en valor en relación a 2004, habiéndose dirigido a Italia (19,2%), Francia (17,4%), Reino Unido (15,2%), Portugal (8,5%), Marruecos (5,6%), Noruega (5,4%) y otros 51 países (28,7%). Las exportaciones de las "demás arcillas caolínicas", con el 41,9 y 38,4% restantes del peso y valor totales, aumentaron un 71,3% en peso y 62% en valor y se distribuyeron en Italia (35,8%), Argelia (18,6%), Francia (9,8%), Túnez (8,2%), Portugal (6,2%), Países Bajos (4,2%) y 44 países más (17,2%).

La Nomenclatura Combinada del Consejo de Cooperación Aduanera de la UE no contempla ninguna posición específica para la arcilla común, y su bajo precio unitario, junto a su amplia distribución en todos los países, justifican seguramente dicha decisión al no existir un comercio exterior significativo de esta sustancia. No obstante, la posición 25.30.90.98, "los demás minerales", incluye unas compras a Andorra de 401.459 t (875.765 t en 2004, 1.007.274,5 t en 2003) al precio medio de 0,714 €/t, que, por eliminación, bien pudieran consistir en arcilla común. En cambio, sí existe un intercambio internacional relativamente importante de otro tipo de arcillas que, en ningún caso, pueden considerarse comunes, ya que su precio medio por países de origen o destino rebasa los 35 €/t, siendo con frecuencia de 90-180 €/t, y que se van a considerar seguidamente aquí, pues no caben en otro capítulo de este Panorama.

Son las arcillas refractarias de la posición 25.08.30.00, las demás arcillas (¿ball clays?) de la 25.08.40.00, las chamotas (25.08.70.10) y las arcillas dilatadas (68.06.20.10).

Durante el año 2005 subieron fuertemente las importaciones de arcillas refractarias (40,2% en peso y 46,3% en valor), chamotas (42,2 y 49,4%, respectivamente) y arcillas dilatadas (32,6 y 42,7%), y más moderadamente las de las demás arcillas (14,2 y 30%), aumentando el valor conjunto un 51,8% respecto a 2004. Las exportaciones, poco importantes, sumaron 33.100 kt (+19,2%) por valor de 4,245 M€ (+27,3%), con fuerte subida de las de refractaria (243%) y descensos en chamotas (-53,6%) y las demás (-4,3%), siendo insignificantes las de dilatada (23,6 t). Como era de esperar de este desigual comportamiento, el saldo negativo de la balanza comercial de estos materiales se acentuó en un 61,2%, subiendo a 13,870 M€.

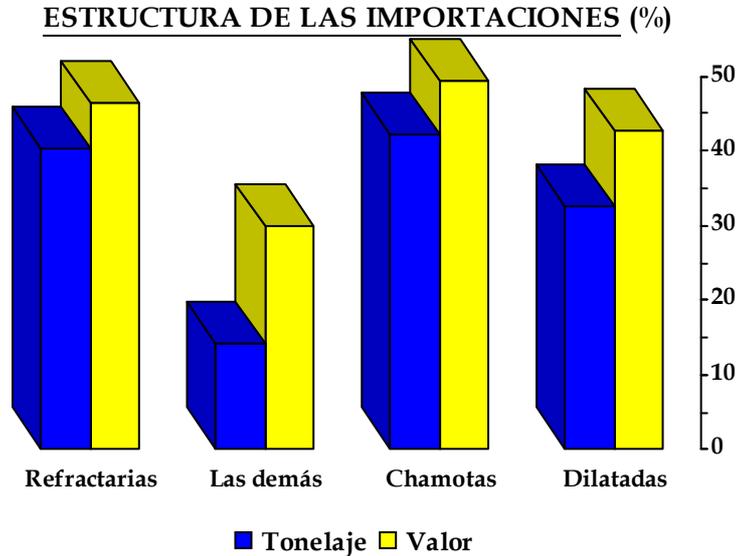


Figura 1.- Estructura de las importaciones de arcillas de cocción blanca.

En la Figura 1 puede verse la estructura porcentual de las importaciones de las cuatro rúbricas consideradas, tanto en peso como en valor. Las arcillas refractarias se adquirieron en Ucrania (88,6%), Turquía (4,3%), Tailandia (2,2%) y otros 12 países (4,9%); las demás arcillas, en Reino Unido (27,3%), Portugal (19,5%), Alemania (17%), Francia (10,3%), Ucrania (9,2%), EEUU (6,9%) y 31 países más (9,8%); las chamotas, en EEUU (31%), Ucrania (28,6%), Francia (28%), Alemania (11,2%) y otros (6 países, 1,2%) y las arcillas dilatadas, sobre todo en Reino Unido (81,7%) y Alemania (13,4%).

El 67,6% del tonelaje y 76,3% del valor totales de las exportaciones correspondió a las demás arcillas, distribuidas en Francia (32,4%), Reino Unido (17,5%), Portugal (11,4%), Argelia (7,1%), Italia (5,9%), EEUU (5,1%),

Alemania (4,1%) y 44 países más (16,5%). Las arcillas refractarias se destinaron a Italia (55,6%), Francia (18,9%), Portugal (11,2%), Alemania (5,2%) y otros 11 países (9,1%), y las chamotas, principalmente a Francia (499,1 t), Andorra (58,6 t), Argelia (39,5 t) y Portugal (39,4 t).

Tabla 4.- Comercio exterior de arcillas (t y 103 €)

	IMPORTACIONES					
	2003		2004		2005	
	Cantidad	Valor	Cantidad	Valor	Cantidad	Valor
Minerales						
Refractarias	70.453,3	3.105,034	98.551	4.491	138.206,8	6.570,9
Las demás	135.554,6	3.563,444	35.357	2.753	40.377,8	3.539,4
Chamotas	38.653,9	4.429,527	33.568	4.196	47.751,5	6.268,4
Dilatadas	219,3	78,763	469	495	1.982,1	1.696,2
TOTAL	244.881,1	11.176.768	167.945	11.935	228.318,2	18.114,9

	EXPORTACIONES					
	2003		2004		2005	
	Cantidad	Valor	Cantidad	Valor	Cantidad	Valor
Minerales						
Refractarias	2.275,7	249,209	2.928	379	10.043,1	875,4
Las demás	31.141,2	2.584,791	23.399	2.847	22.379,4	3.237,4
Chamotas	1.462,7	2989,046	1.423	102	660,6	122,6
Dilatadas	76,0	11,487	21	6	23,6	9,6
TOTAL	34.955,6	3.143,533	27.771	3.334	33.106,7	4.245,0

Fuente: Estadística del Comercio Exterior de España, Agencia Tributaria, Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales

4.1.1.2.5 Abastecimiento de la industria nacional

La demanda aparente de caolín lavado en 2004 fue de 1.505.864 t (ver Tablas 5 y 6), manteniendo la línea ascendente de los últimos años. La dependencia técnica respecto a los suministros externos es elevada, en torno al 71%, subiendo al 73,6% la dependencia económica necesaria para mantener el esfuerzo exportador.

Según la Estadística Minera de España, el destino sectorial de la producción nacional (excluida la exportación) fue: cerámica, 68,2%; refractarios, 11,9%; vidrio, 6,9%; cargas, 6%; varios, 7%.

4. Resultados

Tabla 5.- Balance de materias primas minerales: Caolín (t de mineral)

Año*	PRODUCCION (t) Minera (PI)*	COMERCIO EXTERIOR (t)		CONSUMO APARENTE (t) (C = PI+I-E)
		Importación (I)	Exportación (E)	
2000	353.355	813.075	131.316	1.035.114
2001	371.106	842.533	160.027	1.053.612
2002	419.483	799.703	166.391	1.052.795
2003	427.193	1.018.508	173.332	1.272.369
2004	437.990	1.219.340	151.466	1.505.864
2005	456.025	1.366.226	192.735	sd

*Fuente: Estadística Minera de España

Tabla 6.- Valor del saldo del balance de materias primas minerales: Caolín (t de mineral)

Año	VALOR DEL SALDO ** (103 €)	Autosuficiencia- primaria PI/C	Dependencia técnica (I-E)/C	Dependencia económica I/(C+E)
2000	- 51.589,4	34,1 %	65,9 %	69,7 %
2001	- 49.072,0	35,2 %	64,8 %	69,4 %
2002	- 43.192,4	39,8 %	60,2 %	65,6 %
2003	- 45.916,0	33,6 %	66,4 %	70,4 %
2004	- 54.751,2	29,1 %	70,9 %	73,6 %
2005	- 65.483,8	sd	sd	sd

4.1.1.2.6 Precios

En 2007 los precios del caolín, registrados por Industrial Minerals, se mantuvieron todo el año dentro de las bandas de fluctuación fijadas en octubre de 2002, por lo que los valores medios anuales fueron prácticamente idénticos a los calculados para el año anterior.

Tabla 7.- Evolución de los precios del caolín

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Refinado, fot ex-Cornualles, RU, £/t *:							
para carga	47-58	47-58	-	-	-	-	-
para estucado	115-130	115-130	-	-	-	-	-
para cerámica	125,1	125	-	-	-	-	-
para porcelana	40-52	40-52	-	-	-	-	-
Ex-planta Georgia, EEUU, \$/t corta:							
para carga, a granel	80-100	80-100	80-100	80-100	80-100	80-100	80-100
para estucado, a granel	85-185	85-185	85-185	85-185	85-185	85-185	85-185
para loza sanitaria, empaquetado	61,5- 71,5	64,2- 74,2	65-75	65-75	65-75	65-75	65-75
para loza de mesa, empaquetado	125,1	125	125	125	125	125	125
calcinado, a granel	335-395	331-390	320-375	320-375	320-375	320-375	320-375
Cerámico, refinado, granel, £/t **:							
ex-works Francia	-	40-100	40-100	40-100	40-100	40-100	40-100
fob Rotterdam	-	60-100	60-100	60-100	60-100	60-100	60-100

Fuente: Industrial Minerals

(*): Dejó de cotizar en IM en octubre 2002

(**): Empezó a cotizar en octubre 2002

A continuación se recoge la evolución reciente de los precios medios de la arcilla común, refractaria y "ball-clay" en el mercado norteamericano, según Mineral Commodity Summaries, única fuente disponible sobre este particular.

Tabla 8.- Evolución de los precios de las arcillas

	2001	2002	2003	2004	2005
- USA, arcilla común, \$/t	6	6	6	7	7
- USA, arcilla refractaria, \$/t	20	24	28	28	29
- USA, "ball-clay", \$/t	42	42	43	44	40

Fuente: Min.eral Commodity. Summaries 2006, USGS

Como puede observarse, en 2005 el precio interior de la arcilla común se mantuvo estable, ganando 1 \$/t la refractaria, pero perdiendo 4 \$/t la "ball-clay".

4.1.2 Pizarras sericíticas de extremadura

A finales de la década de los 80, el IGME (1988a) realizó un estudio completo sobre las posibilidades de aprovechamiento de arcillas sericíticas en la región extremeña.

Mineralógicamente, las arcillas investigadas estaban formadas por illita (sericita) y caolinita. Ocasionalmente aparece pirofilita, con un porcentaje importante, en tres indicios de Zalamea y Monterrubio de la Serena; asimismo, se detecta presencia de esmectitas en dos indicios de Oliva de Mérida y Cristina.

La illita o sericita suele ser predominante sobre la caolinita, aunque en algunos indicios es al revés. A veces sólo aparece uno de estos minerales, pero es poco frecuente. Estos minerales arcillosos representan normalmente más del 50% de la muestra.

Los acompañantes de los minerales arcillosos son el cuarzo (20-40%) y los feldespatos, que no suelen sobrepasar el 5%, e incluso suelen faltar.

La sílice (SiO₂) es el principal componente, con valores que oscilan entre el 55-65%. Está directamente relacionada con el contenido en cuarzo.

La alúmina (Al₂O₃) es el componente secundario, con valores entre el 23-30%. Es inversamente proporcional al contenido en cuarzo y directamente proporcional al contenido en arcilla. También depende de que exista preponderancia de caolinita sobre illita (sericita).

El hierro (Fe₂O₃) es el componente más errático, existiendo muestras en que no llega al 1% y otras en que sobrepasa el 10%. Los valores normales son entre el 3-4%. Está escasamente relacionado con los demás componentes, ya que en su mayor parte se trata de hierro secundario, no incorporado a la red de los silicatos.

El titanio (TiO₂) se encuentra en contenidos relativamente altos para este elemento. Con frecuencia sobrepasa el 1%, pero casi nunca el 2%. Suele estar ligado al hierro y su procedencia debe ser en gran parte de los niveles detríticos próximos.

El potasio (K_2O) es algo elevado, con valores que normalmente sobrepasan el 3%. Es mayor cuanto más fracción arcillosa hay y, especialmente, si es illítica (sericítica).

En las arcillas sericíticas estudiadas existen muestras en que coinciden alúmina alta (28 al 33%) y hierro < 1-2%. Estas arcillas, con una composición mineralógica distinta a la existente en arcillas convencionales (no de alteración), cuyos contenidos de alúmina y hierro son, respectivamente, de 22-28% y hasta 3%, pueden ser dignas de investigación para su aplicación en cerámica blanca a nivel de muestra y tendría que investigarse, tanto a nivel de yacimiento como de composición química. Los contenidos en alúmina e hierro más frecuentes inducen a pensar que los indicados no son los más frecuentes en el todo-uno, especialmente en lo que hace referencia al hierro.

La mayoría de las arcillas sericíticas inventariadas (IGME, 1988a) tienen, sin embargo, una composición illítico-caolínica muy adecuada y un contenido en alúmina suficiente, como para poder intuirse una buena utilización en cerámica roja de calidad, especialmente en azulejos y en gres esmaltado.

Se inventariaron 56 indicios y yacimientos. La casi totalidad de los indicios de pizarras sericíticas estudiados pertenecen al Paleozoico (Ordovícico-Devónico) de la Zona Centro-Ibérica, y la mayoría se encuentran en la mitad norte de la provincia de Badajoz.

Dentro de esta provincia se delimitaron cinco áreas y dos subáreas menores, como más favorables para la investigación y aprovechamiento de pizarras sericíticas.

- Área de Zarza de Alange-Alange-Cristina.- Es la zona con mayor cantidad de indicios y yacimientos. La calidad de las muestras se puede considerar de tipo medio y puntualmente alta.
- Área de La Codosera.- Presenta abundantes reservas con buena explotabilidad. La calidad de los materiales se puede considerar solamente mediana, debido al contenido en cuarzo.
- Área de Garlitos.- Es la zona que ha resultado con mayor calidad de las arcillas sobre muestras bastante representativas.
- Área de Valdecaballeros-Herrera del Duque-Garbayuela.- Constituida por todos los indicios y yacimientos ordovícicos del sinclinal de Herrera del Duque. Zona con gran potencialidad y con buenos resultados analíticos (puntuales).

Hay dos subáreas de características geológicas y de calidad similares, pero de extensión, y por tanto de potencialidad general, más limitadas. Son las zonas de Navalvillar de Pela y Cabeza del Buey.

- Área de Monterrubio-Zalamea de la Serena.- Es una zona bastante explotada e incluso algo investigada. La calidad de sus materiales resulta muy errática, apareciendo pirofilita en algunos indicios. Hay

muestras puntuales de gran calidad en indicios de escasa entidad, mientras que otros de mayor importancia tienen calidades medias o bajas.

En Extremadura existían 6 explotaciones activas y una en preparación que se localizaban en los siguientes municipios: Cristina (3), Manchita (1), Alange (1), Zarza de Alange (1) y La Codosera (1).

Las explotaciones de Cristina alimentan a una pequeña cerámica artesanal próxima, y una pequeña parte se destinaba a insecticidas. El material de Manchita se emplea en insecticidas y como tierra de enjalbegar. Las pizarras de Alange y Zarza de Alange se emplean como arcillas mejorantes en cerámicas de Mérida y Calamonte. La explotación de La Codosera se encuentra en preparación.

La actividad más continuada la presenta, actualmente, Josefa Sánchez Sánchez en su concesión "Los Hermanos", ubicada en Zalamea de la Serena (Badajoz).

4.1.3 Feldespatos

4.1.3.1 Introducción y síntesis

Los componentes del grupo de los feldespatos son los mayores constituyentes de las rocas ígneas y aparecen, frecuentemente, en rocas metamórficas regionales y de contacto. Su ubicuidad, junto con su amplio rango de composición, les hace imprescindibles como herramienta primaria en la clasificación de los diferentes tipos de rocas ígneas. En la gran mayoría de estas rocas, bien sean ácidas, alcalinas, intermedias o básicas, los feldespatos son los principales constituyentes y, únicamente, están ausentes de algunos tipos de rocas ultrabásicas o de algunas raras rocas alcalinas.

Aunque son susceptibles de alterarse y meteorizarse son los segundos componentes, detrás del cuarzo, en los depósitos arenosos, donde aparecen como granos detríticos o en forma de cristales autigénicos. Únicamente es en las rocas arcillosas y, en mayor grado, en las carbonatadas, donde los feldespatos presentan una menor importancia.

La mayoría de los feldespatos pueden clasificarse químicamente según el sistema ternario $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (albita, Ab) - KAlSi_3O_8 (ortoclasa, Or) - $\text{CaKAl}_2\text{Si}_3\text{O}_8$ (anortita, An). Aquellos cuya composición se encuentra entre Ab y Or se les denominan feldespatos alcalinos y a los comprendidos entre Ab y An se les denomina plagioclasas.

Desde el punto de vista del interés de este Proyecto, el aspecto minero, nos centraremos preferentemente en los feldespatos alcalinos (sódico-potásicos) por ser los más adecuados para su aplicación en los procesos cerámicos. Los feldespatos alcalinos son los constituyentes esenciales de rocas ígneas ácidas y básicas, y son particularmente abundantes, en sienitas, granitos, granodioritas, y sus equivalentes volcánicos; también son los principales

constituyentes de las pegmatitas y de muchos neises ácidos e intermedios. En las rocas plutónicas, los feldespatos alcalinos son: ortoclasa, ortoclasa micropertítica, microclina, microclina micropertítica o microclina pertítica; y, en las rocas volcánicas, los feldespatos son: sanidina, sanidina criptopertítica, anortoclasa criptopertítica, o anortoclasa; mientras que la albita será tratada, generalmente, dentro del grupo de las plagioclasas.

Los feldespatos alcalinos son menos comunes en las rocas básicas y, donde aparecen, lo hacen en bajos contenidos. Están presentes en algunos lamprófidos y, en menor medida, en teschenitas, teralitas, shonkinitas y monchiquitas.

En las rocas metamórficas, los feldespatos-K aparecen en un amplio espectro de condiciones de P-T, incluyendo las facies de las granulitas. Los feldespatos-K, junto con la moscovita y la biotita, son las claves para desencadenar las reacciones de mezcla y deshidratación que llevan a la formación de las migmatitas, y son componentes característicos de los leucosomas.

Los feldespatos alcalinos aparecen formando parte de los constituyentes detríticos de las rocas sedimentarias, particularmente de las arenas, como productos de procesos diagenéticos y como productos de cristalización, de baja temperatura, de fluidos hidrotermales. Juegan, igualmente, un importante papel en la clasificación mineral de las rocas plutónicas, particularmente en relación a la nomenclatura de granitos, granodioritas, monzonitas, tonalitas, sienitas, monzodioritas cuarcíticas y monzogabros cuarcíticos.

4.1.3.1.1 Tipologías de feldespatos nacionales

En España se benefician diferentes tipos de feldespatos, siendo el volumen de sus recursos y sus aplicaciones industriales diferentes. Los tipos producidos son fundamentalmente: potásicos, sódicos y mixtos, según refleja la Tabla 9.

Tabla 9.- Tipología de feldespatos españoles

Tipos de feldespato explotados en España y aplicación industrial

POTÁSICOS $\left(\frac{K}{Na} > 3\right)$	SÓDICOS $\left(\frac{K}{Na} < \frac{1}{3}\right)$		MIXTOS $\left(3 > \frac{K}{Na} > \frac{1}{3}\right)$	OTROS
K Feld.	Na Feld.	Q+Na Feld.	K+Na Feld	Li Feld.
$K_2O \geq 9\%$	$SiO_2 \cong 68\%$ $Na_2O > 7\%$	$SiO_2 > 71\%$ $Na_2O \cong 7\%$	$K_2O = 4-6.5$ $K_2O/Na_2O = 1-2$	
Vidrio y Cerámica (Fritas y esmaltes)	Pastas cerámicas blancas		Cerámica Pasta blanca y porcelana fina	Cerámica Aditivos
	Pavimentos y revestimientos	Porcelana sanitaria		

Los feldespatos potásicos (K Feld) actualmente se obtienen a partir del tratamiento de arenas eólicas feldespáticas, en detrimento de los yacimientos pegmatíticos que han experimentado una fuerte recesión. Su temperatura de fusión está entre los 1.250°C y 1.280°C

Los potásicos (K Feld) con contenidos en $K_2O > 9\%$, representan el 55% de la producción nacional y su destino es la industria del vidrio, los esmaltes y las fritas cerámicas. En los feldespatos sódicos se diferencian los albiticos (Na Feld) y los cuarzo-albiticos (Q+Na Feld) y su aplicación principal es la industria cerámica de pastas blancas. Por último, los feldespatos mixtos (K+Na Feld) representan el 9,6% de la producción total y su utilización se enfoca en la industria cerámica. Las arenas feldespáticas se están consumiendo, preferentemente, en pastas cerámicas.

Los feldespatos albiticos (Na Feld) se obtienen a partir de depósitos de origen probablemente subvolcánico y los cuarzo-albiticos (Q+Na Feld), de masas aplíticas y diques cuarzo-feldespáticos. La albíta funde a 1.130 °C.

Los feldespatos mixtos (K+Na Feld) se obtienen a partir de diques pegmatíticos, aplíticos o cuarzo-feldespáticos. Existe un feldespato mixto que, además de potasio y sodio en proporciones similares, contiene óxido de litio y que ha sido denominado (Li Feld).

La producción nacional abastece parcialmente a la industria, exportándose pequeñas cantidades de feldespato cuarzo-albitico (Q+Na Feld) y feldespato potásico (K Feld) de calidad. Sin embargo la producción nacional no puede abastecer la demanda de la industria de pavimentos y revestimientos cerámicos de pasta blanca (Figura 2), siendo por ello necesario, pese al esfuerzo productor, importar mayoritariamente feldespato sódico (Na Feld).

**TIPOS DE FELDESPATOS CONSUMIDOS EN
ESPAÑA
(Año 2000. Estimación IGME)**

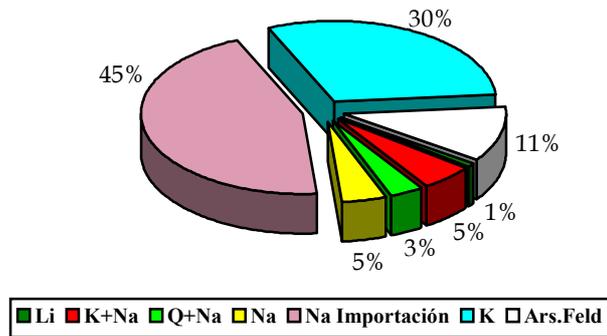


Figura 2.- Distribución del consumo de feldespatos en España.

4.1.3.2 Revisión histórica reciente (1970-1999)

El IGME (1983a), a causa de las necesidades que el sector industrial cerámico demandaba para potenciar el desarrollo del mismo, llevó a cabo un proyecto modélico en su género: “El Inventario Nacional de Recursos Feldespáticos”.

En él se señalaba la existencia de feldespato en más de veinte provincias, a través de más de 140 indicios en todo el país, se determinaba que la actividad minera se desarrollaba en diez de esas provincias y, se demostraba, que antes la había habido en otras dos provincias más. Las zonas que se reconocieron se distribuyeron para su estudio en 12 distritos, y considerando otro más para el resto de España.

4.1.3.2.1 Descripción de distritos

Distrito de Lugo

Dominan los yacimientos formados por diques o masas de pegmatitas y diques aplíticos asociados a granitoides. El feldespato predominante es del tipo potásico o sódico-potásico, y el componente de la microsienita es la plagioclasa (albita).

- Tipo pegmatita, asociado a granitoides: Grupo Minero Silán”, “Fronceira”, “Besteburiz”, “Santiago”, “San Nicolás”, “Monseibán”, “Ceranzos”, “Nainy”, “Landrove”, “Leborin”, “El Carmen”, “Peña Luisa”, “Elena”, “Sanguñido”, “Rufinito”, “San Pedro”, “Coto Cal”, “Montes Picañeira” y “Piniche”.

4. Resultados

- Tipo aplita, asociado a granitoides: Grupo Minero “Silán”, “Peña Luisa” y “Sanguñido”.
- Tipo pegmatita, asociado a rocas metamórficas: “Santixtu”, “Cernada”, “Paloma”, “Zoñán”.
- Tipo aplita, asociado a rocas metamórficas: “Paloma”.
- Tipo sienita (microsienita) o aplita, asociado a rocas metamórficas (pizarras o filitas): Mina “Quinta” - G. M. “Pozomouro” (en explotación) y “Sexta”.

Grupo Minero “Silán” (Muras)

Explotado por José Pernas Cedeira.

Se han identificado 13 diques, siendo los más destacables, a partir del Pico Escoiras y en dirección O-E: Pernas, Luís, Evelio, Kaspar I, Kaspar II, Forster y Eduardo.

Los trabajos de explotación se centraban en el dique “Luis”, con un espesor medio de 2,5 m. En el extremo norte existía una zanja, en la dirección del filón, de 50 m de longitud y 4 m de ancho que coincidía, aproximadamente, con la potencia del filón.

La extracción se realizaba, con carácter intermitente, y el todo-uno se transportaba a una planta de tratamiento en Vivero. Su capacidad de producción de todo-uno se cifró en 5.000-6.000 t/año, con un contenido en feldespato (potásico) de alrededor del 70%.

En Vivero el explotador tenía una planta de tratamiento. El feldespato se vendía ensacado o a granel con granulometría de 0,8 mm ó a 75 μ .

Su composición química era:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
64-78	13-21	0,10-1,40	0,30-0,50	2-5	3-12	0,02-0,14	< 0,02	0,18-2

Minerales principales: feldespato potásico y plagioclasas; mineral secundario el cuarzo y la mica como mineral accesorio.

En los conos de las muestras de todo-uno se observaba un color algo sucio, por efecto del contenido en hierro, que se rebajaba mediante el separador magnético; siendo buena la fusión y aceptable el brillo.

Material apto para la fabricación de porcelana de todo tipo y vidrio.

Grupo Minero "Pozomouro" (Mina "Quinta", Foz y Barreiros)

La empresa explotadora es Basazuri, S.L. El dominio minero está denunciado para feldespatos y caolín. La explotación de feldespatos, de tipo sódico, se realiza en la concesión "Quinta" (ITGE, 1992).

El material que se explota encaja en las pizarras cámbricas de la Serie de los Cabos. Es un dique o dique-capa pseudo-concordante con las rocas de caja.

El frente de explotación, hasta 2003, constaba de un solo banco, con 20-25 m de alto y 30-40 m de largo. En el actual hueco la capa aparece cortada por algunas fracturas y fallas, jalonadas por zonas brechificadas y concentraciones de sulfuros metálicos (pirita sobre todo), con una estructura general E-O y buzamientos de 25-28° y, por similitud con la capa explotada en el hueco anterior a 2003, parece corresponder al tramo inferior de la unidad Pizarras de Tránsito.

El material se trata en una planta en Foz. Efectuaban una explotación intermitente, pudiendo llegar a extraer si hubiera sido continua más de 75.000 t/año de todo-uno. Obtienen un material de 4 cm que iba a destino directamente y un producto de 1 mm, que pasaba por ciclones, dando productos finales de 0,8 mm y 0,12 mm.

Mineral principal las plagioclasas, mineral secundario la clorita y accesorios el cuarzo y la mica.

En los conos se observa un bajo punto de fusión, debido a su alto contenido sódico; su color es marrón oscuro, a causa del alto contenido de hierro, y tienen buen brillo.

El mineral vendible tiene la siguiente composición:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
67-70	17-19	0,10-0,30	0,30	9-11	0,2-2	0,60	0,10	

Se trata de un material útil para su uso en la fabricación de algunos tipos de pavimentos y revestimientos cerámicos, cuando no tenga importancia el color del material. También presenta excelentes calidades para la fabricación de material de gres y semigres.

Otros indicios

Son muy numerosos los indicios conocidos en el distrito, con escaso valor minero.

a) "Fronceira" o "Frouxeira" (Alfoz y Valle del Oro)

Propiedad de Silicatos Minerales, S.L. Se trataba de unos diques pegmatíticos o masas irregulares de granito pegmatóide encajando en

4. Resultados

granodioritas. El quimismo de una muestra era: 11% de K_2O y 0,8% de Fe_2O_3 .

b) "La Zarza" o "Besteburiz" (Alto de Loberías, C^a. de Ferreira-Villacampa)

Una pista conducía a la explotación, perteneciente a Silicatos Minerales, S.L. Se trataba de masas pegmatíticas, de forma tabular, que encajaban en granito de dos micas.

La composición química media de dos muestras era:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	TiO_2	PPC
70-75	13-17	0,4-1	0,15	1-4	6,9	0,26	0,2	

c) "Santitxu" (Villalba, en dirección al pico de Monseibán)

Su explotador era Silicatos Minerales, S .L. Constaba de seis o siete afloramientos de pegmatita (inactiva en 1983).

Su composición química, donde se obtuvo un contenido en álcalis del 10%, era:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	TiO_2	PPC
	16,4	0,30		3,50	6,50			

d) "Santiago" (Vivero)

Su explotador era José Pernas Cerdeira y constaba de pequeñas masas de pegmatita, con algo de aplita, encajando en un granito de dos micas. Como minerales accesorios presentaba granate y turmalina.

El material tenía un contenido como sigue:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	TiO_2	PPC
	15	0,20		3,50	6			

e) "San Nicolás" (A 1,5 km al E de Vivero)

Masas pegmatíticas con 60% de feldespato, encajando en granitos de dos micas.

Composición química:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	TiO_2	PPC
69-76	14-17	0,1-0,3	0,25	1-4	4-10	0,2	0,15	

f) "Leborin"

Cuatro diques pegmatíticos, que encajaban en granito de dos micas, siendo la pegmatita de color rosáceo, grano medio y con bastante turmalina. El dique de mayor tenía una potencia de unos 10 m, con cerca de 400 m de corrida. No existían labores.

Distrito de La Guardia-Villagarcía de Arosa (Pontevedra)

- Tipo pegmatita, asociado a granitoides, es el tipo dominante: Mina "Santa Marina", Mina "Benedicto", "Linar de Raiña", Mina "San Antonio", Mina "Margarita", Mina "Lanzada", "Rosita", "Barcia" y "Rosada".
- Tipo pegmatita, asociado a rocas metamórficas: G. M. "San Antonio".

El distrito se situaba al SO de la provincia de Pontevedra (La Guardia, Salvatierra de Miño, Caldas de Reyes y Villagarcía de Arosa), ocupando una franja paralela al mar.

De las cinco explotaciones que en 1983 presentaron plan de labores, solamente dos tienen algún interés, "Santa Marina" y "Benedicta".

Mina "Santa Marina" (Gondomar, muy cerca al pico Galiñeiro y a una explotación de granito)

Su concesionario y explotador era Sabino Cardoso Castiñeira.

Estaba constituida por un dique de pegmatita compleja. La zonación del dique, de muro a techo, era: pegmatita - cuarzo - feldespatos - berilo - pegmatita, y presentaba una potencia media de 4 m.

La explotación, activa en 1983, tenía un solo banco de 40 m de frente y 3-4 m de altura. La extracción era seguida por un estrío a mano y un cuarteo para separar el feldespatos del cuarzo y el berilo.

En las distintas muestras recogidas se daban los siguientes contenidos medios:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
65	19,50	0,14	0,05	2,30	12,30	0,40		0,50

Presentaba un alto contenido en álcalis y bajo en hierro. En el cono realizado se observa una buena fusión y color, por lo que se podía considerar un material apto para su utilización en pastas cerámicas de todo tipo.

Mina "Benedicta" (Porriño)

El titular de la concesión y de la explotación era Feliciano Lorenzo Casales.

Se trataba de un dique de una pegmatita compleja, de dirección N15-20°O y un ligero buzamiento hacia el O, que encajaba en un granito de dos micas.

Presentaba un frente de unos 80 m, con 5 m de altura. En los años de actividad (inactiva en 1983), su producción era de 1.000 t/año de cuarzo y feldespatos, suponiendo este último el 40% de la producción. Como mineral principal estaba el feldespatos potásico, las plagioclasas como secundario y el cuarzo como accesorio.

4. Resultados

El feldespato rosa tenía 10-11% de K_2O y 3,3% de Na_2O , mientras que la pegmatita rosa tenía 7-9% de álcalis, con un predominio del potasio del 5 al 6%.

El material de las bolsadas, por su contenido en álcalis, tendría utilización en porcelana de mesa y porcelana sanitaria; mientras que en la pegmatita, donde bajaba el contenido en potasio y subía el hierro, podría usarse en pastas cerámicas con posterior esmaltado opaco.

Otros indicios

“Linar de Raiña” (Mos, Monte Castelo)

Antigua Mina “Mercedes”, ya parada en 1983, cuando era investigada por Grayco para granitos ornamentales. Corta abandonada.

Se trataba de un dique de pegmatita compleja del que se obtuvo una producción de unas 400 t/año. Se estriaba a mano para separar y vender el cuarzo y el feldespato.

Mina “Margarita” y “Lanzada” (Mos)

El titular era Epifanio Campo Núñez. Presentaba plan de labores en 1981, pero no se explotaba.

Eran unas masas o bolsadas de pegmatitas que encajaban en un granito de dos micas.

Área de Covelo (Alrededores de Piñeiro, km 95 y 100 de la C^a. Covelo-Puente Caldelas)

Se trataba de varias denuncias a nombre de José González Sequeiro. Estaban constituidas por diques de pegmatita, con potencia de 1-2 m, que encajaban en granitos de dos micas.

El feldespato era de tipo potásico (microlina), de color blanco, con algo de albita, sericita y cuarzo.

Composición química:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	TiO_2	PPC
63-69	17-21	0,8-1		3,3-4,3	8,5			0,7-1,3

Distrito de Llansá (Girona)

- Tipo pegmatita, asociado a rocas esquistos y micacitas, en la única labor existente: Mina “Carmina” y “Cabo Creus”.

El distrito presenta numerosos diques de pegmatitas con cierta actividad minera en los alrededores de Cadaqués y del Cabo de Creus, aunque en

1983 todos ellos estaban caducados y no presentaban interés. Solamente estaba activa la Mina "Carmina" de Llansá, S.A., constituyendo la principal explotación de feldespato de Cataluña y una de las más importantes del país.

Mina "Carmina" (Llansá)

El explotador es Llansá, S.A.

El entorno geológico está constituido por esquistos biotíticos, que incluyen formaciones cuarzo-feldespáticas sometidas a las directrices tectónicas y que han sido objeto de explotación industrial en varias canteras: "La Balletera", "Madres", "Montcal", "La Galería", etc., estando las dos primeras activas en 1983.

La cantera "La Balletera" (la de mayores recursos) se situaba sobre lentejones cuarzo-feldespáticos, en el seno de las micacitas.

En "Madres" el material estaba intensamente tectonizado, siendo más deleznable y frágil y mecánicamente menos resistente.

La cantera "Montcal" estaba en una zona muy tectonizada, destacando tres niveles pegmatíticos.

En "La Galería" el banco explotado tenía 5 m de espesor y encajaba concordantemente en esquistos arenosos y micáceos. Se obtenía un feldespato más caolinítico que en las otras.

De la explotación Mina "Carmina" se extraen dos tipos de material feldespático. Uno está bastante diaclasado, es de color blanco o beige claro y se extrae de una granodiorita cataclástica tectonizada, compuesta por cuarzo y feldespato, casi exclusivamente sódico-cálcico. El otro tipo de material explotado, es una adamellita (material sódico-potásico), de color más oscuro y cuyos dos componentes principales son cuarzo y feldespato.

El material tiene un contenido en feldespato del 90% y un 10% de cuarzo. Un 25-30% del feldespato es sódico (7% de Na₂O y 4% K₂O) y el resto es sódico-potásico.

La composición varía si analizamos muestras tomadas en los frentes de arranque ("todo-uno") o si comparamos con muestras de material vendible.

Material sódico ("todo uno"):

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
74-78	14,40	0,25	0,80	6,00	2,80	0,20		0,77

4. Resultados

Material sódico-potásico (“todo-uno”):

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
75,17	14,02	0,45	0,90	4,30	4,40	0,28		0,48

Material sódico (75μ) – vendible:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
74,10	15,60	0,15	0,75	7,80	1,20	0,10		0,25

Material sódico (75μ, 250 μ, 700 μ)– vendible:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
74,60	15,70	0,20	0,80	6,80	1,30	0,10		0,45

Material sódico-potásico (75μ, 200 μ, 700 μ)– vendible:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
73,25	15,50	0,35	0,90	4,80	4,30	0,10		0,75

Los conos del material vendible funden muy bien, debido a su contenido sódico. El color del material sódico es bueno y mejor que el del material sódico-potásico, que es algo más oscuro debido al porcentaje de Fe₂O₃, aunque presentan motitas negras debido a un mínimo porcentaje en minerales pesados. Respecto al brillo, ambos presentan un brillo bueno, gracias a su alto contenido en álcalis.

Es un material muy bueno para todo tipo de pastas para porcelana y gres, y en mezcla con otros feldespatos puede ser usado para vidrio y esmaltes.

Otros indicios

En el distrito también existen, en los alrededores de Cadaqués y Colera, una serie de indicios de feldespato de escaso interés.

Distrito de Vitigudino-Fermoselle (Salamanca-Zamora)

Dominan los feldespatos alcalinos.

- Tipo granito: Mina “Sonsoles”.
- Tipo pegmatita, asociado a granitoides: Mina “Sonsoles”, Mina “Pachico”, “Andrea”, “Marisa 8ª”, “Ribera de la Cabeza”, “Grupo Beatriz y Ribero”, “La Vidola”, “San-Va”, “Lobito”, “Josefa”, “Arcillo”, “Mari”, “Santa Bárbara”, “Satur” y “Elena”.
- Tipo pegmatita, asociado a rocas metamórficas (neises, esquistos y migmatitas): “Andrea”, “Grupo Beatriz y Ribero”, “La Vidola”, “Cely”, “G. Carcasán”, “Puentellinas”, “Lobito”, “Barceino” y “Josefina”.

Se extiende el distrito por el NO de la provincia de Salamanca y SO de Zamora, en los términos municipales de Vitigudino, Barruecopardo, Aldeadávila de la Ribera, Fermoselle y Monteras.

Únicamente, en 1983, la Mina "Sonsoles" realizaba trabajos de extracción y sólo dos explotaciones presentaban planes de labores.

Los fenómenos de migmatización y metamorfismo han generado numerosos diques de pegmatita, de espesor muy variable, que concuerdan con la pizarrosidad (Masueco-Aldeadávila) y que están emplazados en migmatitas y en granitos de megacristales.

Ha habido numerosas explotaciones, principalmente a favor de Moltumi, S.A. y Saturnino Izquierdo.

Mina "Sonsoles" (Valderrodrigo)

Explotado por Marmocal (antes Moltumi, S.A.), extraía feldespatos de una manera continua, siendo la mayor productora de la provincia de Salamanca.

El material se extraía de unas masas pegmatíticas, de dirección N-S, asociadas a un granito pegmatítico fracturado, con un contenido del 70% de feldespatos potásicos.

En 1983, activa la explotación, existían dos frentes, uno a cada lado de la pista de acceso, teniendo unas dimensiones similares: 30 m de longitud, 6 m de altura y 10 m de anchura.

La producción de todo-uno, era de 3.000 t/mes de material disgregado que contenía bastantes partículas de estéril.

El producto se presentaba con un tamaño de 5-30 mm, con gran cantidad de feldespatos, poco cuarzo y algunas impurezas de micas y turmalina. Se vendía directamente o se enviaba a la planta de Moltumi, S.A. en Valdemoro (Madrid), para su posterior tratamiento.

Tanto el feldespato rosa como el blanco presentaban menos del 5% de cuarzo y las micas aparecían en muy pequeña cantidad. Destaca en ambos el alto contenido en K_2O , importante característica a la hora de su aplicación cerámica.

Composición química del producto lavado:

- Blanco:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
65	18,30	0,27	0,50	2,66	12	0,10		0,63

- Rosa:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
65	18,50	0,26	0,38	2,66	12	0,11		0,63

Los conos sobre muestras indicaban que se trataba de un material que fundía a baja temperatura (800° C), con color de cocción oscuro, por la gran cantidad de estéril que lo acompañaba. El cono del material lavado

4. Resultados

presentaba otro aspecto, con un color mucho más claro y fundía a más alta temperatura.

Mina "Pachico" (Valderodrigo)

Su explotador era Saturnino Izquierdo, quien había presentado el último plan de labores en 1982.

El yacimiento constaba de dos diques subverticales de pegmatitas, de dirección N80°E, armando en granito, que también presenta filones de cuarzo de dirección N30-40°E.

La explotación se hacía mediante una trinchera, sobre una masa de feldespatos y cuarzo en forma de bolsadas y vetas. La potencia del dique se estimó en unos 4 m, con 30% de feldespatos y 70% de cuarzo.

Se obtenía un mineral de baja calidad, con alto contenido en hierro, lo que suponía un muy bajo valor comercial que dificultaba su explotación y venta.

Análisis químico:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
65,3	17,20	0,6		4,4	6			

Este material podía ser válido para porcelana sanitaria y gres cerámico, aunque el alto contenido en hierro condicionaba extraordinariamente sus aplicaciones.

Otros indicios

Depósitos de La Peña-Pereña (Desde La Vidola hasta Villarino)

La compañía Moltumi, S.A. realizó labores en algunas de estas manifestaciones pegmatíticas para explotar el feldespatos. En 1983 las concesiones estaban todas ya caducadas, por agotamiento de las bolsadas de buen material (sin cuarzo, micas y turmalinas) y por el alto contenido en hierro.

Depósitos de Masueco - Aldeávila

Constituidos por pegmatitas, relacionadas con granitos de megacrístales, encajadas en el conjunto metamórfico y en migmatitas. Las pegmatitas más destacables tienen espesores que en ocasiones sobrepasan los 100 m y 1 km de longitud. El tamaño de grano es centimétrico, con abundante turmalina, alternando en importantes bandas con el granito de grano grueso, lo que dificulta su separación. El elevado porcentaje de óxido de hierro limita aún más el valor práctico de los diques.

Al norte de los pueblos de Masueco y Corporario, se explotaron las concesiones "Carcasán 2º", "Carcasán 3º" y "Carcasán 4º".

Depósitos de Sanchón de la Ribera - Encinasola

Se trata de grandes masas de pórfidos graníticos en neises porfídicos y filitas, con variables alteraciones que pudieron originar arenas feldespáticas con gran contenido en cuarzo (40% de feldespato, 50% de cuarzo y el resto de mica y turmalina), cuyo interés minero es muy dudoso, al ser necesario para su beneficio un costoso tratamiento de molturación y flotación para separar los minerales que componen la roca.

Otros indicios y manifestaciones, por la zona, son:

- En los términos de Sanchón de la Ribera y Valsalabroso, la empresa Llansá, S.A. solicitó un permiso de investigación en una zona surcada de diques de pegmatita, sin haberse realizado ninguna labor hasta 1983.
- Al suroeste de Valsalabroso, en el corredor metamórfico que se extiende desde Guadramiro hacia el Milano, hay diques de pegmatita incluidos en el granito de megacristales de Valderodrigo y Villasbuenas.
- Algunas pegmatitas han sido explotadas en Encinasola de los Comendadores, aunque generalmente se efectuaban labores para obtener volframio. Solamente en Josefina hubo extracción de feldespato en los años 70, estando inactiva en 1983.

Depósitos de Fermoselle (Zamora)

Continuando las formaciones pegmatíticas de Villarino, con escasa potencia, existen otras, asociadas a granitos, con corridas de varios centenares de metros y mayor potencia. Algunas fueron explotadas por Saturnino Izquierdo.

- “Arcillo”

Una serie de filoncillos de cuarzo y feldespato, de escasa potencia, que encajan en granitos y poseen una dirección N20-30°O.

- “Mari”

Labores de explotación con frentes de 30 m de longitud y 7 m de altura, donde aparece feldespato rosado junto con filones de cuarzo y bastante biotita. Feldespato de buena calidad pero con escasas reservas.

- “Santa Bárbara”

Filón pegmatítico de dirección E-O, con bastante cuarzo y mica y cuya composición química era: 6% en K₂O y 1,22% de Na₂O. El material era molido en la planta de tratamiento del explotador y se utilizaba en la obtención de loza y porcelana.

- “Satur” y “Elena” (Los Liagones y cerca del embalse)

Son labores de poca entidad,

Depósitos de La Fregeneda-Hinojosa

No se obtiene feldespatos, siendo que el campo pegmatítico de La Fregeneda-Hinojosa fue explotado inicialmente para Sn, a veces con Li (lepidolita).

Distrito de Garcirrey-Ledesma (Salamanca)

Presenta feldespatos alcalinos y, ocasionalmente, plagioclasas.

- Tipo pegmatita, asociado a granitoides: Mina "Julita", "Marquesa" y "Ledesma".
- Tipo pegmatita, asociado a rocas metamórficas: "Marquesa", "Lolita" y "Ledesma".
- Tipo aplita, asociado a rocas metamórficas: "Golpejas".

Se reconocieron pequeñas labores sobre diques de pegmatitas en el área comprendida entre Ledesma, Juzbado y Ciperez, aunque en 1983 sólo estaba activa la explotación de la Mina "Julita", situada sobre el yacimiento de Aldehuela de la Bóveda en el término de Garcirrey.

Mina "Julita"

Explotada por Saturnino Izquierdo, igual que los yacimientos de feldespatos de Aldehuela de la Bóveda. En 1983 llevaba más de 30 años de actividad.

En Aldehuela de Bóveda hay dos tipos de pegmatitas. Un tipo son pegmatitas blancas, sodalíticas, sin apenas cuarzo, con abundantes plagioclasas del tipo albita-oligoclasa y moscovita. El otro tipo corresponde a diques pegmatíticos subparalelos, a veces de gran potencia, con grandes cristales de cuarzo y microclina, texturas gráficas y accidentalmente, plagioclasas, turmalina, micas (biotita y moscovita) y niobio-tantalita. Este mineral se presenta en haces de cristales radiados, de hasta 10 cm de longitud y fue, ocasionalmente, beneficiado como subproducto.

La explotación se realizaba a cielo abierto. La corta se situaba sobre el Filón nº 4, con un "todo-uno" formado por 70% de feldespato potásico y 30% de cuarzo. El "todo-uno" reflejaba la presencia de plagioclasas, feldespato potásico, cuarzo y mica.

En 1982 se obtuvo la siguiente producción:

- 663 t a la # 80, grado cerámico procedente de la explotación Mina "Julita".
- 1.325 t a la # 80, grado vidrio, procedente de Mina "Luanco".
- 100 t a la # 300, para electrodos.

Análisis químico del material en bruto, exportado:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
62,50	19,60	0,06		4,42	13,20			0,22

La composición demuestra que se trataba de un feldespato de alta calidad para la industria cerámica.

Análisis químico de una muestra tomada del “todo-uno” obtenido:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
62,50	19,60	0,3		4,5	9			4,1

apreciándose, respecto al anterior, una disminución de contenido en álcalis y un aumento en el hierro, tratándose de un producto de peor calidad.

El cono realizado presentó un color algo oscuro (presencia de Fe₂O₃), con motas negras (presencia de minerales pesados), buen brillo y fusión; por lo que el contenido en álcalis hace que este material sea válido para la fabricación de pastas cerámicas.

Otros indicios

Manifestaciones en Ledesma, Juzbado y Ciperez. Su explotación ha sido escasa, limitándose a labores de investigación y ocasionales extracciones superficiales.

Distrito de Diego Álvaro-Villatoro (Ávila)

Predominantemente son feldespatos alcalinos.

- Tipo granito (adamelítico) descompuesto: “Conchita”.
- Tipo pegmatitas, asociado a esquistos y pizarras: Mina “Luanco”, “San Francisco”, “Teresa 2ª” y “Carmen”.

El distrito se extiende al O de la provincia de Ávila, desde el Puerto de Villatoro hasta el límite con la provincia de Salamanca, en los términos municipales de Villatoro, Martínez, San Miguel de la Serrezuela, Diego Álvaro y Carpió de Medianero.

Mina “Luanco” (Se extendía hasta los términos de Horcajo Medianero (Salamanca) y Zapardiel de la Cañada (Ávila))

Su propietario y explotador fue Saturnino Izquierdo.

En el yacimiento se habían reconocido cinco filones subverticales, paralelos, de dirección NO-SE, que armaban en pizarras y con destacables potencias de hasta 4 m (IGME, 1983a).

El “todo-uno” estaba compuesto de feldespato (70%), con vetillas de cuarzo que lo atravesaban (30%). El mineral se estriaba a mano y se transportaba a la planta de la Mina “Julita”, en Aldehuela de la Bóveda, también de Saturnino Izquierdo; donde el feldespato, con alto contenido en álcalis

(principalmente K_2O), era molido y se llevaba a cabo una separación magnética para eliminar los ferromagnesianos.

Un cono realizado sobre mineral vendible aportó un color bastante blanco, con brillo y fusión bastante buenos (bajo contenido en hierro), y con la suficiente cantidad de álcalis como para poder emplearle en la industria cerámica.

Otros indicios

Hay numerosos indicios de feldespatos, algunos explotados a pequeña escala y vendido el mineral a la industria cerámica después de ser sometido a un simple estrío a mano. Generalmente se beneficiaron pegmatitas, con feldespatos potásicos, en las inmediaciones de Martínez, Diego Álvaro, San Miguel de Serrezuela y Puerto de Villatoro entre otros.

En Casas del Puerto de Villatoro hubo extracción de feldespatos sobre un granito alterado.

Distrito de Piedralaves (Ávila)

- Tipo pegmatitas, asociado a granitoides (feldespatos potásicos): Mina "Concepción", Mina "María del Camino" y Mina "Almanzor".
- Tipo aplitas, asociado a granitoides, con feldespatos potásicos: "San Francisco".

El distrito se sitúa al SE de la provincia de Ávila, delimitado por las poblaciones de Piedralaves, Casavieja, Sotillo de la Adrada y el límite provincial con Madrid y Toledo.

Hasta 1981 hubo actividad extractiva en varios puntos del distrito, incluso mediante labores subterráneas (Mina "María del Camino"), aunque ya en 1983 no existía actividad minera. Los principales depósitos se localizaban en Piedralaves, La Adrada e Higueras de la Dueñas, y fueron explotados por las minas "Concepción", "María del Camino" y "Almanzor", respectivamente (IGME, 1982^a).

Mina "Concepción" (Piedralaves)

Era un yacimiento pegmatítico, asociado a granitoides (granito adamellítico, granito néisico, con feldespatos ortosa, y granito porfiroide con gran tamaño de los cristales de ortosa), con cuarzo blanco amarillento y moscovita.

Las labores aprovechaban un dique de feldespatos y cuarzo, con algo de mica, encajado en granito de grano grueso y bastante descompuesto. El dique tenía una potencia de 1 m.

El material feldespático era de buena calidad pero muy mezclado con cuarzo. El material se trataba en una planta de Sotillo de la Adrada (desmantelada en 1983).

Sobre muestras recogidas en las labores se obtuvo la siguiente analítica:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
74,15	14,78	0,96	0,62	1,48	7,23	0,43		0,35

El cono realizado presentaba un color muy oscuro, debido a su contenido en Fe₂O₃, su fusión era deficiente, pues su contenido en álcalis era bajo, y tenía un brillo apagado.

Se trataba de un material que sólo podía ser utilizado mezclado con otros feldespatos.

En el paraje del Labrado Angulo, cerca de un antiguo ferrocarril militar, existían labores medio tapadas sobre un dique pegmatítico de las mismas características.

Mina "María del Camino" (La Adrada)

Su concesionario y explotador fue Lorenzo Vallejo García.

Se explotó un filón de cuarzo y feldespato, tipo pegmatítico, de dirección N35°O y potencia de 1-1,5 m, encajando en granitos adamellíticos de tipo porfiroide.

El "todo-uno" arrojaba un contenido del orden del 75% en feldespato y el resto era cuarzo y algo de mica. Sus reservas eran escasas y estaba parada desde 1981.

Se inició la explotación con una trinchera sobre el dique, para pasar después a minería de interior por un plano inclinado desde la trinchera y un pozo vertical de 40 m.

Se separaba el cuarzo y el feldespato, y este se vendía en bruto o se llevaba a la abandonada planta de tratamiento en Sotillo de La Adrada.

La composición de las muestras del material de mina dieron el siguiente resultado:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
65,98	19,55		0,49	3,01	10,70	0,05		0,49

Un cono efectuado con este material presentó un color y brillo muy buenos, mientras que su fusión sólo era buena. La presencia de elementos pesados era prácticamente nula.

Era un gran material y sus sectores de consumo podían ser aquellos en los que se precisen rígidas especificaciones, como son porcelana de mesa, electrónica, vidrio.

Mina "Almanzor"(cercañas de Casavieja)

Constaba de una gran masa pegmatítica con filones de feldespato y cuarzo, de dirección N60°E, encajada en granito biotítico con turmalinas y una riqueza en feldespato del 70%.

Sobre varias muestras se obtuvo la siguiente composición media:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
74,10	15,01	1,62		2,20	5,04	0,20	1,62	1,77

Se trataba de un material bastante malo, con bajo contenido en álcalis, alto contenido en hierro y presencia de minerales pesados, por lo que sus usos eran prácticamente nulos.

Otros indicios

Hay numerosos indicios, entre los que destacan los emplazados en los alrededores de Sotillo de la Adrada.

En los alrededores de Higuera de la Dueña, la Mina "San Francisco" explotó un yacimiento aplítico, de un material malo y de muy poca aplicación.

Distrito de Fuentenebro (Burgos)

- Tipo pegmatitas, asociado a rocas metamórficas, neises: Mina "Aguacay", "Emilio", "Ampliación a Emilio", "San Pedro", "San José" y "San Fernando".
- Tipo arenas feldespáticas (un depósito, como el de Frupesa, S.L., con bajo contenido en feldespato potásico)

El distrito se extiende al S de la provincia de Burgos y N de la de Segovia, entre los términos municipales de Fuentenebro (Burgos) y Honrubia de la Cuesta, Pradales y Carabias (Segovia).

Existen pocos indicios. En 1983 solamente la explotación "Aguacay" presentaba plan de labores, estando ya caducadas todas las demás.

Mina "Aguacay" (Fuentenebro)

El concesionario y explotador fue Aislamic-Silicatos Ibéricos.

Mineralización formada por intrusiones pegmatíticas con masas irregulares entre cuarcitas y pizarras micáceas del Paleozoico inferior, con dirección N20°E y una potencia de 10-15 m.

El material está fracturado y emborrascado, con nódulos y niveles pizarrosos. El feldespato es de tipo potásico, presentando bastante cuarzo y poca mica y tiene colores grises, amarillentos y blancos.

Se explotaban las tres masas aflorantes mediante banco único, de 10 a 20 m de altura y 100-120 m de longitud total.

Se trataba de un producto muy variable, con la siguiente composición tipo:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
67-79	11-19	0,50-1,60		0,8-1,8	2,3-2,9			

No siendo aceptable en la industria cerámica.

Otros indicios

“Emilio” y “Ampliación a Emilio”

Estas antiguas explotaciones de feldespato existieron al sur de la Mina “Aguacay”. El material obtenido para el estrío era similar al de “Aguacay”, con abundante cuarzo que pudo ser el principal producto obtenido.

Rodeando la concesión de “Aguacay”, Aislamic solicitó el P.I. “San Pedro”, en el que se realizaron pocillos y calicatas sin obtenerse resultados positivos.

“San José” y “San Fernando”(Honrubia de la Cuesta y Pradales)

Antiguas explotaciones, ya paradas en 1983, que explotaron filones cuarzo-feldespáticos, con rumbo NE-SO y buzamiento SE, con un 30-35% en feldespato.

Cerca del pueblo de Carabias, existía una gran cantera de arenas silíceas con feldespato, donde Frupesa, S.L. tenía la intención de adecuar unas instalaciones para la obtención de feldespato, aunque su actividad principal fuera la obtención de cuarzo.

Análisis realizado por el IGME sobre el material:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
66,25	20,29	1,72		0,24	5,76	0,02	0,02	5,70

Distrito de Navas de Oro-Carrascal del Río (Segovia)

- Tipo pegmatitas, asociado a neises: Mina “Isabel”, “La Hijuela”.
- Tipo arenas cuarzo-feldespáticas (el principal depósito, con feldespatos alcalinos): Mina “Carrascal”, “Navas de Oro” y “San Miguel del Arroyo”, que representan no sólo la mayor fuente productiva de feldespato, sino las mayores reservas de este mineral en España.

Los terrenos pertenecientes al Cuaternario alcanzan una representación superficial considerable, estando constituidos por terrazas fluviales y dunas (“arenas voladoras”). Su depósito más septentrional se localiza cerca de San Miguel del Arroyo, en la margen derecha del arroyo del Henar. A unos 10 km hacia el S, aparece la masa fundamental de los materiales arenosos, situándose su borde septentrional a todo lo largo de la cuesta de Cuéllar, extendiéndose hacia el S hasta entrar prácticamente en contacto con el

bloque metamórfico de Santa María la Real de Nieva. Su borde oriental coincide con el cauce del río Duratón y por los sedimentos cretácicos y miocenos de su margen derecha. En las zonas occidentales su potencia disminuye rápidamente, llegando casi a desaparecer al O de Coca e Íscar.

En este distrito se encuentra la mayor explotación de feldespato del país, procedente de beneficio conjunto de cuarzo y feldespato de un gran yacimiento constituido por arenas cuarzo-feldespáticas, de origen paleodunar, reconocidas en una superficie superior a 150.000 ha por Industrias del Cuarzo, S.A. (INCUSA), Altos Hornos de Vizcaya y Promotora de Recursos Naturales, S.A. Actualmente, Arcillas y Feldespatos de Río Pirón (Grupo SAMCA), también explota el yacimiento.

Se cubicaron grandes reservas tanto de cuarzo como de feldespato, iniciándose su explotación por INCUSA en 1973, aunque sólo para la producción de cuarzo. Posteriormente se obtuvieron feldespatos, utilizándose por primera vez en España estas arenas como fuentes de feldespatos.

Mina "Carrascal" (Carrascal del Río, al pie de la presa de Burgomillodo)

Constituida por las concesiones "Carrascal", "Navalilla" y "Ampliación a Navalilla". El titular era Valentín Iglesias Incas, aunque el explotador es Industrias del Cuarzo, S.A. (INCUSA).

El yacimiento está constituido por una masa de arenas, de hasta 5 mm, sueltas, formando un auténtico arenal de superficie plana. La potencia de dichas arenas varía entre 0,50 m y más de 30 m.

El mineral está compuesto por cuarzo y, en menor proporción, por feldespato potásico; como accesorios aparecen: mica, turmalina, granate, ilmenita, andalucita, circón, epidota y rutilo.

La composición media del "todo-uno" es la siguiente:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
86,51	7,09	0,28	0,19	1,03	4,39	0,07		0,44

La explotación se realiza a cielo abierto, en un frente de 60 m y una altura de banco de 30 m. La producción de "todo-uno" era del orden de las 300.000 t (1983), alcanzándose en la actualidad cifras similares, 275.000-290.000 t (IGME, 2002).

Tratamiento

Las arenas feldespáticas, con granulometría < 0,730 mm, son aptas para vidrio hueco. Todo el producto < 0,730 mm pasa a la estación de lavado y atricionado, para ir posteriormente a la flotación de dos líneas, con una capacidad de 60 t/h cada una. Una vez separados los minerales densos, el producto se lava y se acondiciona para la flotación del feldespato en medio ácido. Inicialmente se separa el feldespato, e incluso una pequeña parte de

arena, a fin de obtener una arena de alta calidad y, en una segunda etapa, se separa un feldespato puro y los mixtos vuelven a la etapa anterior.

El feldespato flotado, después de pasar por un espesador y un filtro es almacenado, o bien pasa a un secadero y se vuelve a almacenar en unos silos para feldespato seco. Las arenas silíceas resultantes de la flotación se someten a una nueva clasificación, obteniendo una arena para vidrio plano y una arena tipo fundición.

Análisis químico del “todo-uno”:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	BaO	PPC
88,77	5,20	0,31	0,13	0,81	3,91	0,08	0,13	0,66

Tabla 10. Feldespato molido (2ª clase de tipo cerámico) < 80 µm

ANÁLISIS QUÍMICO		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
		Tamiz (mm)	Retenido acumulado
SiO ₂	66,93	0,10	trazas
Al ₂ O ₃	18,00	0,08	1,2
Fe ₂ O ₃	0,12	0,063	6,0
CaO	0,45	0,040	12,0
MgO	0,09	pasa	88,0
Na ₂ O	2,75		
K ₂ O	11,00		
BaO	0,18		
P.F.	0,48		

Tabla 11. Feldespato molido (2ª clase de tipo cerámico) < 40 µm

ANÁLISIS QUÍMICO		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
		Tamiz (mm)	Retenido acumulado
SiO ₂	66,93	40	1,2
Al ₂ O ₃	18,00	30	7,5
Fe ₂ O ₃	0,12	20	27,0
CaO	0,45	10	52,0
MgO	0,09	5	83,0
Na ₂ O	2,75	2	93,0
K ₂ O	11,00	2	7,0
BaO	0,18		
P.F.	0,48		

Para usos especiales se obtiene un feldespato reflatado que elimina todo el hierro posible, obteniéndose un producto cuyo resultado analítico es el siguiente:

Tabla 12. Feldespato reflatado

ANÁLISIS QUÍMICO		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
		Tamiz (mm)	Retenido acumulado
SiO ₂	66,93	0,10	trazas
Al ₂ O ₃	18,00	0,08	1,2
Fe ₂ O ₃	0,08	0,063	6,0
CaO	0,45	0,040	12,0
MgO	0,09	pasa	88,0
Na ₂ O	2,75		
K ₂ O	11,00		
P.F.	0,48		

Llama la atención que los porcentajes dados para las dos fracciones de feldespato y la del reflatado sean prácticamente iguales.

Distrito de Colmenar Viejo-El Vellón (Madrid)

Yacimientos muy frecuentes en diques o masas pegmatíticas asociadas a granitoides o rocas metamórficas. Feldespatos mayormente alcalinos.

- Tipo pegmatitas, asociado a granitoides: "San Joaquín", "Ninas", y "Milagros".
- Tipo pegmatitas, asociado a rocas metamórficas (neises y migmatitas): Mina "María del Carmen", Mina "Caobar-Caobar II", Mina "Pepe" y Mina "María de las Nieves" (todas ellas en explotación en 1983) y "San Joaquín", "Gucho", "Alex", "Esperanza y Ana Mari", "Ninas" y "Milagros".

Se extiende, este distrito, entre los términos de Colmenar Viejo, Miraflores de la Sierra, La Cabrera y El Vellón en la provincia de Madrid. En esta provincia hay otras manifestaciones de menor importancia, al este de las poblaciones de Valdemorillo y San Lorenzo del Escorial.

En 1983 presentaban plan de labores cinco explotaciones ubicadas en El Vellón y Colmenar Viejo, trabajando intermitentemente, cuatro de ellas: "María del Mar", "Caobar-Caobar II", "Pepe" y "María de las Nieves".

Mina "María del Mar" (Colmenar Viejo)

Era la única con entidad en la provincia. Se trataba de una masa de pegmatita de grano fino a medio, desarrollada irregularmente en el borde del

granito y en contacto con migmatitas y neises. Contenía bastante mica y algo de turmalina.

Presentaban un frente de cantera de 15 m de altura y 20-25 m de longitud, llegando el avance hasta el límite con la carretera. El mineral extraído se llevaba a la planta de molienda ubicada en Colmenar Viejo.

Produjeron unas 3.000 t/año de mineral molido (1982). El "todo-uno" presentaba una fusión buena, brillo semibueno y color menos bueno. La muestra del estriado a mano daba una fusión y brillo bueno, con un color semibueno.

Este material, sin un tratamiento posterior, sólo podía ser usado en pastas cerámicas.

Mina "Caobar -Caobar II" (presentaba las labores en el Paraje Covanchón, El Vellón)

Su titular y explotador era José Sanchís Colomer.

Se trataba de una masa irregular de granito pegmatítico de grano grueso, encajando en neises y con una potencia media de 20 m. El granito presenta un contenido en feldespatos potásicos del 60%, siendo el resto cuarzo y biotita.

La explotación presentaba un solo banco de 4-5 m de altura, sobre un frente de unos 15 m, a cielo abierto. La corrida tenía una longitud de 30 m, sin recubrimiento.

Los trabajos de extracción eran esporádicos. El material se transportaba a la planta que el explotador poseía en Manises (Valencia). La producción era de unas 1.000 t/año.

En muestras del frente de explotación, el cono indicaba que se trataba de un material cuya fusión y brillo eran semibuenos, con un color algo sucio.

El material en bruto podía servir para pastas cerámicas. No obstante, tras ser sometido a una separación magnética, como en realidad ocurría, también podía ser empleado para esmaltes, pues se eliminaba casi todo el hierro, mejorando así todas sus propiedades.

Mina "Pepe" (El Vellón y Pedrezuela)

El titular y explotador es José Sanchís Colomer.

Consta de un dique arrosariado de pegmatita, con gran abundancia en biotita y moscovita y que corta a los neises. En otro punto se trata de un dique de dirección N30°O, buzamiento subvertical y potencia de 20-25 m, que encaja en neis graníticos.

En el dique pegmatítico se explotó el feldespato con un frente de 60 m y una altura de banco de 1-2 m (estando ya abandonado en 1983). El segundo frente tenía una longitud de unos 20 m y una altura de banco de 3-5 m.

El material, de grano muy fino, aparte del feldespato potásico presenta bastante cuarzo y algo de moscovita. Se transporta a la planta de molturación que el explotador tiene en Manises (Valencia). En 1983 tenía una producción cercana a las 2.000 t/año y en la actualidad se aproxima a las 10.000 t (IGME, 2002).

En el cono realizado con muestras del frente inactivo se observó un color oscuro debido al contenido en micas, mientras que la fusión muestra que se trata de un feldespato potásico con bajo contenido en álcalis, teniendo un brillo aceptable. En el cono realizado con las muestras del frente que está en explotación se obtuvo un color bastante blanco, con poco contenido en hierro, fundía bastante bien, por su contenido en alúmina y potasio y con un brillo bueno.

El material del frente inactivo solamente es útil si se le rebaja el contenido en hierro y si se mezcla con otro que tenga mayor contenido en potasio. El material del frente en explotación es utilizado para pastas cerámicas y esmaltes.

Mina "María de las Nieves" (El Vellón y El Molar)

Su titular y explotador era José Sanchís Colomer.

Se trata de un dique arrosariado que puede ser continuación del de la Mina "Pepe". El material tiene una riqueza en feldespato potásico del 50% con bastante cuarzo y mica.

Presentaba pequeñas labores (inicio de cantera y varios socavones y calicatas). Sin producción.

Mina "Santa Mónica"

Estaba declarada para feldespato y parada en 1983. Aunque cuando se beneficiaba, su objetivo no era el feldespato sino varios minerales metálicos.

Otros indicios

Otros indicios de este distrito se encuentran en los términos de Guadalix de la Sierra ("San Joaquín", para estaño y feldespato), Venturada, Colmenar Viejo (diques feldespáticos) y Miraflores de la Sierra, siendo pequeñas labores.

Se trata, pues, de manifestaciones de poca entidad, con escasos recursos o mala calidad del material feldespático.

Distrito de Toledo-Villarejo de Montalbán (Toledo)

El feldespato principal es de tipo sódico y potásico-sódico.

- Tipo pegmatitas, asociado a rocas metamórficas (neises y migmatitas): Mina "Las Arenas", "Marta", "Acea", "Palmira 1ª", "Palmira 2ª", "Palmira 3ª", "Begoña I", "Begoña II" y "Araba II".

El distrito ocupa los términos municipales de Toledo, Sonseca, Navalucillos y San Martín de Pusa.

Se investigaron una serie de permisos de investigación en la zona de las migmatitas, en los pueblos de Gálvez, Polán, Casasbuenas y Guadamur.

Mina "Las Arenas" (Villarejo de Montalbán)

La empresa explotadora era Marnasa (Mármoles Los Navalmorales, S.A.), propiedad de Honorio de la Iglesia, quien lo tenía denunciado como cantera de granito (activa en 1983).

Se trataba de un yacimiento masivo, cuarzo-feldespático (feldespato rosa), que encajaba en los granitos típicos del batolito de Sonseca.

El yacimiento se explotaba a cielo abierto, con un frente de 18 m y 9 m de altura media y en un solo banco. Se estriaba el producto a mano y se transportaba a los centros de consumo.

Su producción en los años 80, que fue su periodo de vida, era de 2.000 t/año

En el cono efectuado fundía muy bien, con un color bastante blanco. Era un material con alto contenido en álcalis, principalmente sodio, con casi total ausencia de Fe_2O_3 y minerales pesados. Era apto para toda la industria cerámica, principalmente para las diferentes porcelanas y esmaltes.

Otros indicios

- Pegmatita compleja, muy cerca del frente de explotación de la Mina "Las Arenas".
- Poco interés minero ofrecen los P.I. "Marta" (Cobisa) y "Acea" (cerca de Toledo capital), propiedad de Diprife, que se presentaban en bolsadas y como pequeños filones de feldespato acompañados de cuarzo.
- En la corrida migmatítica de Toledo a Polán y Gálvez, se pidieron permisos de investigación para varios materiales, entre ellos feldespato, aunque parece que el material investigado por el peticionario, Jesús Martínez de Osaba, era principalmente la sillimanita.

Distrito de Fuenteovejuna-Cazalla de la Sierra (Córdoba-Sevilla)

- Tipo albita (predomina la plagioclasa sódica), asociado a sienitas: Mina "Barcelona" (en explotación en 1983).
- Tipo pegmatitas, asociado a rocas metamórficas (neises), con feldespato potásico, potásico-sódico y sódico: "Sierra Albarrana" y Mina "Cerro de la Sal".
- Tipo aplitas, asociado a rocas metamórficas (tipología menos frecuente).

La zona de interés se extiende por los términos municipales de Fuenteovejuna, Pozoblanco, Villanueva de Córdoba, Villaviciosa, Cazalla de la Sierra y Guadalcanal pertenecientes a Córdoba y Sevilla.

La mayoría de los indicios se encuentran en los alrededores de Fuenteovejuna, Villaviciosa de Córdoba, Cazalla de la Sierra y en la Sierra Albarrana.

En 1983 presentaron plan de labores "San Fernando III" en Bélmez, "Cerro de la Sal" en Hornachuelos y "Barcelona" en Cazalla de la Sierra, aunque en actividad sólo se encontraba la última. El conocido yacimiento de "Sierra Albarrana" dejó de explotarse en 1981.

"Cerro de la Sal"

A partir de 1968 en la Sierra Albarrana, área de "Coto Carbonell", la compañía Aislamic (Silicatos Ibéricos, S.L.) subarrendó a la Junta de Energía Nuclear sus concesiones de El Cabril, e inició la explotación de varias masas de pegmatitas denominadas: "Beta", "Diéresis", "Umbría", "Cerro de la Sal", "Peña Grajera", etc. (ENADIMSA, 1985).

En la Sierra Albarrana existían más de 50 masas de pegmatitas, objeto de explotación e investigación para obtener moscovita, minerales de uranio y berilo y, más tarde, feldespatos y cuarzo.

Las pegmatitas cuarzo-feldespáticas suponen más del 99% del total. Presentan 25-55% de cuarzo; feldespato potásico perfitico, con hasta 10% de componente sódico, plagioclasa (albita) más escasa que el feldespato potásico, 2-14% de moscovita, turmalina (chorlo-elbaita), granate, rico en Fe y Mn; mica negra, rica en Fe; berilo como mineral accesorio, sólo presente en algunas pegmatitas en las que puede llegar a ser frecuente; minerales de uranio (uraninita, becquerelita, autunita, brannerita, torbernita, gummitas y monacita), menos escasas (calcopirita, pirita, magnetita e ilmenita) y otros minerales muy raros (circón, flúor-apatito e ilmeno-rutilo).

Los principales puntos de laboreo han sido: "Diéresis", "Beta", "Umbría", "Peña Grajera", "Cerro de la Sal", Mina "Albarrana", etc.

Las últimas labores, hasta 1981, fueron las de la cantera "Cerro de la Sal", realizadas sobre un dique pegmatítico de forma tabular que encajaba, de

forma irregular, en neises. Su potencia era de unos 20 m (10-30 m), apreciándose una corrida de 200 m.

Las labores comenzaron mediante una gran trinchera, de 80 m de longitud y 30 m de altura, con tres bancos de unos 4 ó 5 m.

Muy cerca de esta cantera, y a una cota más baja en el mismo cerro, se encuentran las antiguas labores de "Peña Grajera", donde se explotó otra masa pegmatítica menor. El feldespato estaba mezclado con cuarzo y micas negras y presentaba granate y turmalina.

En las explotaciones de Sierra Albarrana se obtenían los siguientes productos:

- Feldespato potásico perfitico de buena calidad ("Feldespato A")
- Feldespato potásico impuro ("Feldespato B"), con cuarzo, mica y feldespato sódico
- Feldespato sódico, en cantera Diéresis
- Cuarzo

De "Feldespato A" se alcanzaron en 1976 y 1977 unas producciones de 25.000 t/año, extraídas en su mayoría de la cantera "Cerro de la Sal". En 1980 y 1981, la producción no superó las 5.000 t/año, y en 1983 la explotación estaba inactiva.

El material extraído se trataba en la planta que tenía Aislamic en Fuenteovejuna. El material vendible tenía una granulometría de #200.

La composición química de los materiales vendibles es:

- Potásico rosa:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
64-66	18.20	0,15-0,25		1-2	10-12			0,4-0,6

- Potásico blanco:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
67-69	17-18	0,15-0,25	0,1-0,3	2-3	9-10			0,4-0,6

- Sódico blanco:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
67-69	19-21	0,15-0,25		8-10	1-2			0,2-0,3

Un cono realizado sobre el producto vendible fundía bien y tenía un color bueno.

El material era utilizable para todos los usos de la industria cerámica e incluso en la de vidrio.

“Barcelona” (Cazalla de la Sierra)

Explotadores Ostalé, S.L.y Veis.

En el material explotable domina la plagioclasa sódica con cuarzo y cantidades menores de mica, opacos y óxidos. El cuarzo y la albita se distribuyen de forma homogénea y no es previsible la existencia de concentrados ricos en albita.

Se han reconocido afloramientos en una corrida cercana a los 5 km.

En 1983 existía una cantera con un frente de 75-80 m de longitud y 20-25 m de altura. La potencia visible era de 20 m y la producción era de unas 5.000 t/año. En la actualidad sigue en explotación, siendo propiedad, únicamente, de Ostalé, S.L.

El material presentaba un color blanco-crema claro, con algunas zonas rosáceas.

En muestras del frente y de afloramientos, se obtenía una composición media de:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	PPC
71,5- 76,3	15- 16,8	0,17- 0,45	0,1	7,2- 8,3	0,11- 0,18	0,2		0,6

Los conos efectuados dan un color bueno, funden denotando su contenido sódico y dan buen brillo.

Material apto para pastas cerámicas, fabricación de gres y pavimentos cerámicos

Otros indicios

Existen una serie de indicios, con poco interés puntual, en los alrededores de Fuenteovejuna (tres concesiones de explotación en aplitas y pegmatitas), Bélmez (“San Fernando III”) de Aislamic, y Villaviciosa de Córdoba (pegmatitas cuarzo-feldespáticas).

4.1.3.3 Otras manifestaciones

Se trata de un gran número de indicios, en general no explotados, con pocos datos.

- Tipo granito: “Negrita” (Barcelona), “Ceclavín” (Cáceres), “Lavandeira” (Ourense), “Viladrau” (Girona) y “María del Carmen” (Tarragona):
- Tipo pegmatitas, asociado a granitoides: “La Cañada” (Ávila), “Altamira” (Ávila), “Dolores Leonor” (Badajoz), “Mercedes” (Barcelona), “María 2ª” (Barcelona), Cabrera de Mataró (Barcelona), Oliva de Plasencia (Cáceres), Puerto de Tornavacas (Cáceres), Los

Pedroches (Córdoba) y Aldea del Obispo (Salamanca).

- Tipo aplita, asociado a granitoides: “Beatriz” (Ávila), “Fresnedilla” (Ávila), “Mercedes” (Barcelona), Cabrera de Mataró (Barcelona) y Paredes (Toledo).
- Tipo pegmatita, asociado a rocas metamórficas: Monesterio (Badajoz).
- Tipo aplita, asociado a rocas metamórficas: Azuaga (Badajoz), Monesterio (Badajoz) y El Payo (Salamanca).
- Tipo arenas caoliníferas: Alpuente (Valencia), Río Deva (Valencia), Sarreaus (Ourense) y Xinzo de Limia (Ourense).

ÁVILA

La Cañada

Diques o masas de pegmatitas. Pueden pertenecer a la antigua concesión “San Pedro y San Pablo” cuyo titular era Aislamic.

El material, además de feldespato potásico tenía bastante cuarzo, micas y alguna turmalina. Sus contenidos eran de 6-7% de K_2O , 3-4% de Na_2O y 70-73% de SiO_2 .

En los conos el material fundía bien y tenía un color algo sucio, seguramente por su contenido en hierro.

El material podía ser utilizado en pastas cerámicas y esmaltes.

“Altamira” y “Benito”

Denuncias mineras, con ciertas extracciones de feldespato en pegmatitas. El feldespato era de buena calidad, pero los recursos visibles eran escasos.

Blascosancho

Arenas cuarzo-feldespáticas, con niveles arcillosos. El contenido en feldespato del conjunto era de 15-20%, siendo el resto cuarzo y algo de micas.

La formación, sin labores de extracción, llega a tener en algunos puntos de 10-15 m de espesor, con características parecidas a las de algunas áreas existentes en Segovia.

“Beatriz”(La Alamedilla del Berrocal)

Se extraía y aprovechaba granito aplítico, en la industria del vidrio, por su bajo contenido en hierro y un contenido en álcalis del 7-8%.

BADAJOS

Azuaga

Afloramientos de tipo aplítico, de escaso interés como fuente de feldespato. Existe también un cuerpo aplítico, con cuarzo, microclina, albita y moscovita, con menor cantidad de granate y biotita, con una potencia máxima de 100 m.

Monesterio

Afloramientos aplíticos cuarzo-feldespáticos y pegmatíticos, encajados en el núcleo metamórfico de Monesterio. Las aplitas y pegmatitas incluyen cuarzo, microclina, albita y moscovita, con algo de granates y biotita.

Cerca de la Venta de Culebrín hay unas antiguas labores de poca entidad, en las que se explotaron unas pequeñas bolsadas de feldespato.

BARCELONA

En 1966 estaban activas las explotaciones "Mercedes" (Cucumy posiblemente aprovechara algún producto en su fábrica de materiales cerámicos) y "La Roca" y "María 2", pequeños diques de cuarzo y feldespato en San Pol de Mar. Las manifestaciones citadas presentaban poco interés.

En 1970 la Estadística Minera daba una producción provincial de 117 t de feldespato.

CÁCERES

Oliva de Plasencia

Labores para cuarzo y feldespato, en un filón con dirección E-O, que tienen una longitud de 30 m, 5-6 m de altura y 10 m de anchura.

En los años 70 Saturnino Izquierdo extrajo mineral que trataba en una planta propia en Aldehuela de la Bóveda. El feldespato tenía buen aspecto y en el cono realizado fundía bien, ya que presentaba un contenido en álcalis superior al 10-11% y tenía un color bastante claro.

Ceclavín

Extenso afloramiento de granodiorita de dos micas, con textura porfídica, con pertitas, plagioclasas y bastante mica y turmalina que lo manchaban. No parecía tener interés a no ser que se tratase adecuadamente. Se trataba de una zona similar a la existente en las cercanías de Casas del Puerto de Villatoro.

Ha habido denuncias de feldespato en los términos de Jerte, Tornavacas, Castañar de Ibor y Bohonal. Llegando al Puerto de Tornavacas, en los taludes de la carretera hay abundantes filoncillos de feldespato y pegmatita, de poca entidad, encajando en granito adamellítico.

CÓRDOBA

Pedroches

Masas de pegmatitas moscovíticas, irregulares, con una potencia máxima de 1-2 m, que encajan en granitoides. Existen pequeños cuerpos pegmatíticos en Pedroches, Cardeña, Venta de Azuel, Conquista y Villanueva de Córdoba, con labores superficiales para obtención de moscovita. Los diques de pegmatitas, dada su escasa potencia, no presentaban reservas de interés.

A CORUÑA

La concesión "La Rubia", situada en el paraje de Ponte Nova del término de Santiso, y denunciada para feldespato, sólo extraía bloques de granito ornamental.

Existieron indicios de feldespato en los términos de Carballo, Tordoya, Puerto del Son, Padrón, Puebla del Caramiñal y Vimianzo, asociados a granitoides con cuerpos pegmatíticos y aplíticos, con pocas posibilidades de ser explotados y tener recursos de interés.

GIRONA

Los indicios conocidos, a través de información documental, tienen escaso interés. Estos son los casos de las concesiones caducadas "Carmina 48" (Calonge), "Mercedes" (La Sella del Ter) y "San Fernando II", "San Fernando III", "San Fernando IV" y "San Fernando V" (Palau de Sabardera) denunciadas para feldespato y donde se extraía cuarzo.

LUGO

Se conocen antiguas denuncias para feldespato en las parroquias de Torible, Carballido y Aguiar, cerca de Outeiro, Bahamonde y Otero de Rey, aunque no se tiene seguridad de que se realizasen labores.

MADRID

Existieron denuncias en los términos de Villa del Prado, Colmenarejo, Galapagar y Santa María de la Alameda, cuyo objeto debió ser la posibilidad de explotar pequeños diques pegmatíticos que encajaban en el complejo granitoide existente en esas zonas.

OURENSE

Arenas, gravas y arcillas cuaternarias, con amplia extensión geográfica en las proximidades de Xinzo de Limia y Sarreaus. En esta última localidad, Feldespatos de Sarreaus, S.L. explota, actualmente, feldespatos potásicos tratados mediante celdas de flotación y separación magnética, así como arenas silíceas.

En la Laguna de Antela (Xinzo de Limia) Minera Sabater, S.L. está investigando las arenas feldespáticas mediante campaña de sondeos mecánicos, muestreo y análisis.

SALAMANCA

La Maya

En la carretera de Salamanca a Béjar, pasando Fresno-Alhándiga, se corta un depósito de arenas cuarzo-feldespáticas, originadas por descomposición de granito de dos micas. La composición media de las mismas es: 15% de K_2O , 0,70% de Na_2O y 0,10% de Fe_2O_3 .

Con ensayos de flotación se obtuvo un contenido en concentrado de feldespato del 11%, con la siguiente composición:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	TiO_2	PPC
67,46	17,98	0,05	0,15	0,65	12,50	0,06		1,15

Estas arenas tienen limitado su aprovechamiento para feldespato por su alto contenido en caolín, que precisaría ser separado del feldespato.

El Payo

Pequeño dique de feldespato bastante descompuesto de color blanco, con 2 m de potencia. Se reconocen 8-10 m de corrida, puesta al descubierto por una antigua roza. El cono realizado denota buen color y bajo punto de fusión, como consecuencia de su contenido en Na_2O . Las reservas aparentes son muy pequeñas.

TARRAGONA

“María del Carmen”

Denunciada para sales alcalino-térreas y sin presentar plan de labores desde 1979.

Existe un dique de riodacitas encajando en pizarras y calcoesquistos carboníferos. Tiene feldespato potásico, feldespato sodicocálcico, en proporción comprendida de 1/3 a 2/3 del feldespato total, y bastante cuarzo. Presencia de pirolusita. Pocas reservas.

Composición química:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	TiO_2	PPC
73,60	16,45	0,36	1,14	2,20	3,33	0,16	0,01	1,94

El cono ensayado presentaba un buen color y fundía bastante bien. Este material era utilizado por el explotador para la fabricación propia de mosaicos de gres.

TOLEDO

En la zona del granito ademellítico al norte de la provincia, limitando con Ávila y Madrid, en los términos de Navamorcuende, Pepino, Pelahustan, Real de San Vicente y Paredes de Escalona, se conoce la existencia de pequeños cuerpos pegmatíticos, en algunos de los cuales se realizaron calicatas y pocillos.

VALENCIA

En Alpuente y Riodeva existían en 1983 explotaciones de arenas caoliníferas, tratadas en los lavaderos de Sicamar en Higuieruelas y de Silca en Riodeva, obteniendo un producto denominado mineral feldespático o arenas feldespáticas, que tenía 7% de caolín y 70% de arenas, con un contenido en álcalis del 5-6% y 20% en Al_2O_3 , y que son utilizadas en la industria del vidrio.

4.1.3.4 Panorama nacional actual (2000-2006)

4.1.3.4.1 Yacimientos nacionales y empresas extractivas

En la Tabla 13 se caracterizan las diferentes explotaciones españolas, indicándose su génesis, tamaño y el tipo de feldespato extraído.

Tabla 13.- Explotaciones de feldespato en España

PROV.	EMPRESA	MINA	YACIMIENTO	TAMAÑO	TIPO DE FELDESPATO
SG	INCUSA	Carrascal del Río	Arenas eólicas	Grande	K Feld.
	Arcillas y Feldespatos Río Pirón, S.A.*	Navas de Oro	Arenas eólicas	Grande	K Feld.
LU	Basazuri, S.L – Albita, S.L.	Quinta	Depósito volcánico	Mediano	Na Feld.
	José Pernas	Silán	Diques pegmatíticos	Grande	K+Na Feld.
GI	Llansá, S.A.	Carmina	Diques cuarzofeldespáticos	Mediano	K+Na Feld. (70-75%) Q+Na Feld. (25-30%)
SE	Ostalé, S.L.	Barcelona	Masa aplítica	Mediano	Q+Na Feld.
SA	MIDUESA*	Feli	Diques pegmatíticos	Pequeño	Li Feld.
M	José Sanchís	G.M.Pepe	Diques pegmatíticos	Pequeño	K Feld.
CC	MINALCA		Lhem granítico	Mediano	K Feld.
OR	Sarreaus, S.L.		Lhem granítico	Mediano.	K Feld

(*).- Grupo SAMCA

Las empresas productoras son:

- Industrias del Cuarzo, S.A. (INCUSA), filial de Cristalería Española, S.A., que, a su vez pertenece al grupo francés Saint Gobain, inicia su actividad en 1973.

Explota las arenas feldespáticas de las concesiones “Carrascal”, “Navalita” y “Eficacia” en Burgomillado, Carrascal del Río (Segovia). La explotación se desarrolla a cielo abierto mediante de dos frentes de unos 150 m de longitud y 40 m de altura. Según datos de la Junta de Castilla y León, correspondientes al 2004, comercializó 180.000 t de feldespato potásico, 500.000 t de arenas silíceas y 180.000 t de arenas feldespáticas (Toro

Quirós, 2007a). Alrededor del 20% de su producción es destinado a la exportación.

El moderno lavadero anejo incluye planta de flotación, con capacidad para 250.000 t/año de feldespato potásico, 60.000 t/año de arenas feldespáticas y 220.000 t/año de arenas síliceas, aparte de recuperar también cuarzo.

El material, arrancado mediante pala-cargadora, es sometido a un proceso industrial, que se inicia con el lavado y clasificado del “todo-uno”. Se obtienen dos granulometrías: entre 2-0,63 mm, constituida por una mezcla de cuarzo y algo de feldespato que se destina al mercado de la construcción y a la fabricación de pastas cerámicas; y entre 100-630 μ , donde, tras un proceso de atrición para eliminar las posibles partículas arcillosas que rodean los granos y una posterior flotación, para separar el feldespato del cuarzo, los feldespatos de mayor calidad (obtenidos tras eliminar los minerales pesados mediante separadores magnéticos de alta intensidad) se emplean en la industria cerámica para pastas y fritas.

- Arcillas y Feldespatos de Río Pirón, S.A., perteneciente al Grupo de la Sociedad Minera Catalano-Aragonesa, S.A. (SAMCA). En el año 2005 produjo, en su Mina “Navas de Oro” (Pinar de Arriba, Navas de Oro, Segovia), 147.600 t de feldespato potásico y como subproducto se generaron 55.300 t de cuarzo, para la fabricación de vidrio y arenas de moldeo y 210.000 t de arenas feldespáticas que se destinan al mercado de la construcción y de la industria cerámica fina.

La actividad extractiva se realiza a cielo abierto, en un frente de explotación de unos 250 m de longitud y 13 m de altura, mediante pala-cargadora. En el año 2005 han producido 147.600 t de feldespato potásico, además de 256.500 t de arenas feldespáticas y arenas síliceas.

En planta, ubicada en cantera, el “todo-uno” se criba y la fracción superior a 700 μ , constituida por una mezcla de cuarzo y un poco de feldespato, se destina a la construcción y a la industria cerámica, mientras que la fracción entre 100-700 μ se somete a tres procesos de flotación. Una vez seco, el producto se comercializa, bien en tamaños comprendidos entre 100-700 μ se muele a tamaños menores (micronizado). Las fracciones más finas se comercializan para su empleo en cerámica fina (porcelanas) y el resto para esmaltes y fritas. La empresa ha ampliado su planta de flotación y de micronizado, lo que supone la posibilidad de aumentar la producción hasta 250.000 t/año de feldespato y 200.000 t/año de arenas síliceas, de diversas granulometrías y alto contenido en sílice (> 98,5%).

- Llansá, S.A., beneficia la Mina “Carmina” en Llansá (Girona), muy cerca de la frontera con Francia. La capacidad conjunta de sus dos plantas de molienda es de 150.000 t/año. La explotación viene

produciendo en torno a las 86.000 t/año de feldespatosódico-potásico (4,3% K_2O y 4,8% Na_2O) y sódico (6,8% Na_2O y 2% K_2O).

- Basazuri, S.L. es el principal productor de Lugo y explota el Grupo Minero "Pozomouro", en Barreiros. La empresa extrae 60.000 t/año de albita de un yacimiento de rocas albíticas interestratificadas en la Formación Cándana (Cámbrico inferior). El producto molido, en su planta de Maneute-Foz (Lugo), se embarca en Ribadeo con destino a la industria cerámica nacional. Basazuri, S.L. produce también 1.500 t/año de feldespatos (6-7% K_2O y 4-3% Na_2O) de un depósito de pegmatita situado en San Simón-Villalba (Lugo).

Recientemente la empresa ha cambiado de nombre, pasando a denominarse Albita, S.L., al incorporarse a la propiedad la empresa Porcelanosa.

- José Pernás Cerdeira es el segundo productor lucense, extrayendo feldespatos en el Grupo Minero "Silán", en Mures, a razón de unas 5.000 t/año.
- José Sanchís Penella explota, en el Grupo Minero "Pepe", en El Vellón (Madrid), varios diques y filones aplíticos y pegmatíticos, con altos contenidos en feldespatos alcalinos. La producción ha venido aumentando en los últimos años, situándose en torno a las 24.000 t/año que se vende en Manises (Valencia) y Onda (Castellón), para esmaltes, porcelanas y otros productos cerámicos.
- Minera del Duero, S.A. (MIDUESA), Grupo SAMCA, en la antigua Mina "Feli", en La Fregeneda (Salamanca), produce unas 6.000 t/año de lepidolita y feldespatosódico-potásico, con un 0,5% de LiO_2 . Esta mina fue explotada, en los años 60 y 70, para estaño y tántalo, obteniendo más del 50% de la producción nacional de estos metales.

En la actualidad las labores se centran en el beneficio de un dique pegmatítico, rico en lepidolita (31 %), de unos 150 m de longitud y 10 m de potencia. El arranque se hace mediante explosivo, transportándose el material a la planta, donde se le somete a un proceso de molturación, para obtener tamaños en torno a los 10 mm. Transportado a Onda, EUROARCE se encarga de su micronización y de su distribución en el sector cerámico (esmaltes y fritas). La presencia de litio en la pegmatita, contribuye a la disminución del punto de fusión durante el proceso de fabricación de los materiales cerámicos.

- IMERYS Tyles España, S.A., en las proximidades de Mina "Feli", explota una serie de diques pegmatíticos ricos en espodumena (silicato de aluminio y litio). La potencia de estos diques pueden llegar a alcanzar los 20 m y alguno de ellos tiene corridas de hasta 200 m. En el año 2005 se transportaron a Castellón del orden de las 4.200 t de dicho mineral para ser utilizadas en la fabricación de

esmaltes y pastas cerámicas (Toro Quirós, 2007a).

La producción que se espera para este año es de unas 15.000 t.

La explotación la inició Monte Parnaso, filial de IMETAL, en un derecho minero de MIDUESA, para continuarla Damrec Española, S.A., también del Grupo IMETAL. El procesado lo realizaba MOLTURACIONES CASTELLON, S.A. (MOLCASA) (filial de Damrec Española, S.A. y, posteriormente, absorbida por el Grupo IMERYS) en su planta de micronizado de Castellón, siendo el destino la industria nacional de cerámica, esmaltes y pastas.

- La empresa OSTALÉ, S.A. extrae alrededor de 10.000 t/año de feldespato sódico en Cazalla de la Sierra (Sevilla), destinado a la producción de loza sanitaria por la compañía ROCA.
- Minas de Alcántara S.L. (Minalca, S.L.), antigua filial de Lignitos de Meirama y perteneciente en la actualidad al Grupo IMERYS, explota un yacimiento de feldespato potásico en los términos municipales de Acebuche y Ceclavín (Cáceres). Se trata de un suelo de entre 1-5 m de espesor, resultado de la alteración de un granito de dos micas de grano muy grueso y con fenocristales de feldespato potásico que, en ocasiones, alcanzan más del 70% de la roca. Un 20% de cuarzo y entre un 5 y un 10 % de micas son los minerales acompañantes. El yacimiento se extiende por la península comprendida entre Rivera Fresnedesa y Río Tajo (Embalse de Alcántara). Las reservas evaluadas alcanzan los 3 Mt.

La mina se deriva de un P.I. denominado "ALFA", que fue investigado durante los años 1995-1996 y se inició la explotación en 1999.

La planta de tratamiento de Acebuche (Cáceres) produce alrededor de 15.000 t/año, aunque su capacidad es de 70.000 t/año. El tratamiento es fácil, no necesita flotación y sólo utiliza concentración granulométrica, molienda y separación magnética. El concentrado final que se obtiene presenta alrededor del 10% K₂O, 4% de Na₂O y < 0,1% de Fe₂O₃. La producción se destina al mercado cerámico en Portugal.

Este yacimiento ha estado un par de años prácticamente cerrado y sin producción (1998-2000), pero desde entonces se ha reactivado su producción hasta alcanzar, en 2006, las 70.000 t. El destino de esta producción ha sido de 45.550 t para cerámica fina, con un valor de 682.500 €, y 24.450 t para vidrio, con un valor de 362.500 €.

- La empresa Sarreaus, S.L., ubicada en la localidad del mismo nombre, en Orense, en el entorno de la Laguna de Antela, explota un yacimiento de arenas feldespáticas, "Cantera Beatriz" que, realmente, corresponden a un lhem granítico ligeramente coluvionado. La capacidad de producción de la planta es de 95.000

t/año, aunque su producción ronda los 60.000 t/año.

4.1.3.4.2 Producción minera

La producción de materias primas feldespáticas se viene manteniendo en torno a las 550.00 t/año, según los datos oficiales. Hay también una producción importante de arenas feldespáticas, de alrededor de las 200.000 t/año (Tabla 14).

Tabla 14.- Distribución de la producción nacional

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005p
Segovia	212.420	219.849	252.662	281.210	321.887	303.258	291.647	
Lugo	110.500	103.500	84.346	79.750	69.060	61.592	61.978	
Gerona	81.106	84.520	92.976	90.350	86.822	86.996	86.376	
Madrid	7.900	9.400	8.325	8.500	11.000	24.000	23.800	
La Coruña	-	3.250	3.875	3.925	3.250	3.250	-	
Cáceres	-	1.000	11.470	33.444	41.464	54.975	43.424	
Toledo	148	125	-	-	-	-	-	
Salamanca	-	-	-	-	-	4.697	10.074	
Sevilla	-	-	-	-	-	10.812	10.960	
Guadalajara	17.540	17.560	24.606	12.789	15.481	14.000	24.248	
TOTAL	429.614	439.204	478.260	509.968	548.964	563.580	552.507	650.061

Fuente: (IGME)

Respondiendo a la creciente demanda del sector cerámico, principal consumidor, las empresas nacionales han procedido a ampliar sus capacidades de extracción y tratamiento, al mismo tiempo que han irrumpido en el mercado nuevas compañías, a fin de satisfacer el extraordinario aumento del consumo interno (ver Figura 3).

FELDESPATOS PRODUCIDOS EN ESPAÑA (t)
(Año 2004. Estimación IGME)

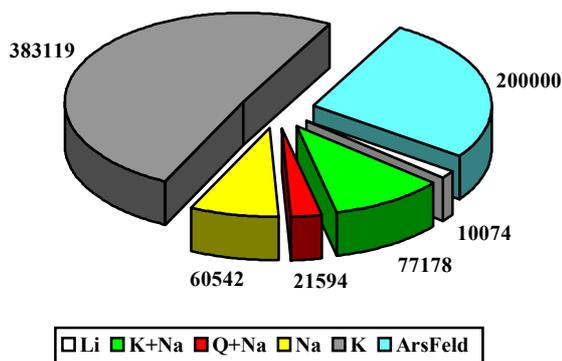


Figura 3.- Producción nacional de feldespatos según su composición.

4.1.3.4.3 Reservas y recursos nacionales

Las reservas económicas demostradas de feldespato son del orden de 40 Mt, de las cuales 2,5 Mt son de feldespatos sódicos y 37,5 Mt de feldespatos potásicos. Los recursos nacionales de feldespatos de todo tipo podrían evaluarse en 600 Mt.

No existen datos sobre los recursos disponibles de arenas feldespáticas, pero es posible que España disponga de los mayores recursos del mundo en este campo. Sólo Arcillas y Feldespatos Río Pirón, S.A. reconoce unos recursos explotables de 50 Mt

4.1.3.4.4 Comercio exterior de feldespatos

La importación de feldespatos creció por cuarto año consecutivo en 2005, superando por primera vez el millón de toneladas (1,232 Mt, +29%), y su valor se incrementó en un 41,4%, hasta 42,593 M€.

La exportación, por el contrario, descendió un 7,7% en peso y 7,9% en valor, por lo que el déficit de la balanza comercial correspondiente se agravó en un 50%, subiendo a 38,491 M€ (ver Tablas 15,16 y 17).

Como en años anteriores, las compras se efectuaron principalmente en Turquía (64,7%), Italia (22,2%) y Francia (8,5%), más un 1,9% en Ucrania y 2,7% en otros 9 países. Las ventas se destinaron a Portugal (52,3%), Italia (15,6%), Turquía (7,6%), Francia (4,6%), Marruecos (3,9%), Colombia (3,7%) y otros 24 países (12,3%).

4. Resultados

Tabla 15.- Comercio exterior de materias primas minerales de feldespato (t y 103 €)

PRODUCTO	IMPORTACIONES					
	2003		2004		2005	
	Cantidad	Valor	Cantidad	Valor	Cantidad	Valor
I.- Minerales						
Feldespatos	760.726	24,506	955.039	30,112	1.231861	42,593

PRODUCTO	EXPORTACIONES					
	2003		2004		2005	
	Cantidad	Valor	Cantidad	Valor	Cantidad	Valor
I.- Minerales						
Feldespatos	66.349	4,174	4.066	1,050	66.427	4,101

Fuente: Estadística de Comercio Exterior de España, Agencia Tributaria, Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales

El cambio registrado en 2001 no se ha mantenido, volviendo a crecer las importaciones en 2002 y 2003, para alcanzar una cifra realmente notable en este último año. Las exportaciones crecieron de forma considerable (52,7 %) en 2002, volviendo a descender en 2003, aunque manteniéndose en valores bastante superiores a los de inicio de siglo.

Tabla 16.- Balance de materias primas minerales - feldespatos (t de mineral)

Año	PRODUCCIÓN (t) Minera (PI) *	COMERCIO EXTERIOR (t)		CONSUMO APARENTE (t) (C = PI+I-E)
		Importación (I)	Exportación (E)	
1996	415.189	190.288	29.574	575.903
1997	400.156	229.486	25.047	604.595
1998	429.614	342.705	40.795	731.524
1999	439.204	412.490	40.957	810.737
2000	478.260	583.420	57.217	1.004.463
2001	509.968	500.910	52.076	958.802
2002	548.964	602.761	79.557	1.072.168
2003	563.580	760.726	66.349	1.257.957
2004	552.507	955.039	71.993	1.435.553
2005	650.061	1.231.861	66.427	1.815.495

Tabla 17.- Valor del saldo del balance de materias primas minerales (t de mineral)

Año	VALOR DEL SALDO** (10 ³ €)	Autosuficiencia primaria PI/C	Dependencia técnica (IE)/C	Dependencia económica I/(C+E)
1996	- 3.420,9	72,1 %	27,9 %	31,4 %
1997	- 4.946,1	66,2 %	33,8 %	36,4 %
1998	- 8.194,6	58,7 %	41,3 %	44,4 %
1999	- 11.790,5	54,2 %	45,8 %	48,4 %
2000	- 18.211,5	47,6 %	52,4 %	54,9 %
2001	- 15.549,0	53,2 %	46,8 %	49,5 %
2002	- 16.904,0	51,2 %	48,8 %	52,3 %
2003	- 20.331,7	44,8 %	55,2 %	57,4 %
2004	- 25.658,0	38,5 %	61,5 %	63,4 %
2005	- 38.491,5	35,8 %	64,2 %	65,5 %

Fuentes: Elaboración propia *Estadística Minera de España

** Hasta 2000, contravalor en € del saldo en PTA corrientes al cambio fijo de 166,386 PTA/€

4.1.3.4.5 Precios

En 2007 los precios del feldespato, registrados por Industrial Minerals, se mantuvieron todo el año dentro de las bandas de fluctuación fijadas en octubre de 2002, por lo que los valores medios anuales fueron prácticamente idénticos a los calculados para el año anterior.

En 2004, las calidades y procedencias contempladas por Industrial Minerals no sufrieron alteración en sus precios, permaneciendo en los mismos niveles que en el año anterior, a excepción del feldespato sudafricano cerámico, que en diciembre de 2003 había bajado 5 \$/t en el límite superior, quedando en 112-165 \$/t fob Durban.

En octubre dejaron de cotizar en la citada revista los grados cerámico y vidrio en almacén RU, el cerámico italiano y el cerámico americano sódico 325 # empaquetado, siendo reemplazados por los turcos Na crudo, molido y grado vidrio y por los indios cerámico y en polvo.

4. Resultados

Tabla 18.- Evolución de los precios del feldespató

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Gr. cerámico, 300 #, empaq., ex alm. RU, £ / t *	180-185	180-185	-	-	-	-	-
Gr. vidrio, arena, 28 #, ex almacén RU, £ / t *	99	99	-	-	-	-	-
Italia, arena, cerám., ex fábrica, \$ / t *	22-25	22-25	-	-	-	-	-
USA, exworks, \$ / tc							
• USA, cerámico, Na, 170-250 #, granel, \$ / tc	60,1-74,8	60-75	60-75	60-75	60-75	60-75	60-75
• USA, cerám., Na, 325 #, empaquetado, \$ / tc *	115-130	115-130		-	-	-	-
• USA, cerám., K, 200 #, \$ / tc	125,1	125	125	125	125	125	125
• USA, vidrio, Na, 30 #, granel, \$ / tc	40-52	40-52	40-52	40-52	40-52	40-52	40-52
• USA, vidrio, K, 80 #, \$ / tc	85-90	85-90	85-90	85-90	85-90	85-90	85-90
India, cerám. K, granel, fob, \$ / t **	~	25-27	25-27	25-27	25-27	25-27	25-27
India, polvo 200 #, fob, \$ / t **	~	70	70	70	70	70	70
Sudáf., cerám., empaquet., fob Durban, \$ / t	150	147,5	112-170	112-165	112-165	112-165	112-165
Sudáf., microniz., empaquet., fob Durban, \$ / t	205	205	205	205	205	205	205
Turquía, Na, fob Gulluk, \$ / t:							
• crudo, 10 mm, granel **	~	13-14	13-14	13-14	13-14	13-14	22-23
• molido < 63 µ, empaquetado **	~	75-80	75-80	75-80	75-80	75-80	75-80
• grado vidrio, < 500 µ, empaquetado **	~	54-56	54-56	54-56	54-56	54-56	70
USA, valor medio prod. vendible, \$ / t	55	54	54	57	56		

tc = tonelada corta * Dejó de cotizar en octubre 2002 ** Empezó a cotizar en octubre 2002
Fuentes: Industrial Minerals; Mineral Commodity Summaries 2006, USGS

4.1.4 Conclusiones

Al finalizar la investigación desarrollada a lo largo del proyecto y, a pesar de la premura del tiempo del que se ha dispuesto para realizarlo, creemos que es posible y necesario sintetizar el trabajo de investigación minera realizado, a lo largo del país, en una serie de conclusiones que faciliten la comprensión del proyecto.

Dados las diferentes epígrafes en que se ha estructurado el trabajo, consideramos oportuno ceñir las conclusiones a los mismos epígrafes.

4.1.4.1 Arcillas caoliníferas para cocción de pasta blanca

- 1) Existe, a efectos del presente proyecto, una gran dificultad para delimitar el concepto de arcilla caolinítica del de caolín con un cierto grado de transporte.

Ello nos ha llevado a considerar como caolín, s. str. "únicamente a los productos derivados de las arenas feldespáticas asociadas a las facies siliciclásticas mesozoicas de la Cadena Ibérica (facies Weald, Escucha y Utrillas)" estableciendo, que existen yacimientos donde esta separación, y su consiguiente aprovechamiento, no son nada fáciles de establecer, como sucede con los yacimientos asturianos y en algunos gallegos.

- 2) Las arcillas plásticas empleadas en España para cocción de pasta blanca ("ball-clays"), se localizan, casi exclusivamente, en la provincia de Teruel.

Se trata de arcillas grises, con cierto contenido en materia orgánica, muy plásticas y compuestas por caolinita (de grano muy fino), montmorillonita, illita y cuarzo.

Se emplean en la fabricación del soporte o del engobe de los pavimentos cerámicos, y en los sectores de las lozas y porcelanas. Un tercio es importado de Reino Unido, Alemania, Francia y Ucrania.

- 3) Los principales productores nacionales son:
 - EUROARCE (Grupo SAMCA), posee una planta en Ariño (Teruel) que produce 115.000 t/año de arcillas de cocción blanca, planta de atomización en Onda (Castellón) con una capacidad de producción de 800.000 t/año de pastas cerámicas para pavimentos y revestimientos cerámicos y cuenta con canteras en Teruel (500.000 t/año) y en Basconcillos del Tozo (Burgos) (50.000 t/año).
 - MINERA SABATER, S.L. con una producción de 500.000 t/año, en tres canteras situadas en Teruel.
 - PORTOMÉ (Grupo PORCELANOSA), produce 200.000 t/año de arcillas refractarias para exclusivo consumo en las fábricas del grupo.

- ARCIMU, S.A., MIRESA y Arcillas Capilla, S.L., con explotaciones en Teruel y una producción conjunta de 100.000 t/año.
- 4) En el caso de las baldosas de pasta blanca sólo hay un productor independiente de arcillas refractarias atomizadas (EUROARCE) que suministra al mercado libre. En funcionamiento hay cuatro nuevas plantas de atomización de pasta blanca, que son: EUROATOMIZADO, ARCILLAS BLANCAS, AZULIBER y NUEVOS PRODUCTOS CERÁMICOS.
 - 5) La producción nacional de arcillas de cocción blanca ascendió a 437.990 t (2004).
 - 6) En 2005 se importaron 1.134.017,2 t de arcillas caolínicas, con un valor de 59.335.200 €, y se exportaron 80.742,3 t con un valor de 7.489.000 €.
 - 7) El consumo nacional de este tipo de arcillas es de 1.200.000 t/año, lo que representa un valor de 36 M€.
 - 8) Las importaciones de arcillas refractarias proceden mayoritariamente de Ucrania (78,1% en valor), con 10,8% de Francia, 9,4% de Alemania, 1,1% de Marruecos y 0,6% de Países Bajos y Portugal.

4.1.4.2 Pizarras sericíticas de extremadura

- Las arcillas investigadas suelen estar formadas por más del 50% de minerales arcillosos, principalmente illita (sericita) y caolinita, con destacable presencia de pirofilita en varios indicios de Zalamea y Monterrubio de la Serena y de esmectitas en Oliva de Mérida y Cristina.
- Una análisis químico medio composicional es del tipo: 55-65% de SiO₂, 23-30% de Al₂O₃, 1-10% de Fe₂O₃ y 1-2% de TiO₂.
- De los 56 indicios y yacimientos inventariados por el IGME (1988a), en pizarras sericíticas ordovícicas y devónicas, las arcillas a investigar para su aprovechamiento en cerámica blanca se corresponderían con las muestras en que coinciden alto contenido en alúmina (28-33%) y bajo en hierro (< 1-2%), destacando que la mayoría de las arcillas sericíticas inventariadas tienen, sin embargo, una composición illítico-caolínica y un contenido en alúmina aptos para su empleo en cerámica roja de calidad (azulejos y gres esmaltado).
- Se delimitaron las siguientes áreas favorables: Zarza de Alange-Alange-Cristina (con calidad de tipo medio y puntualmente alta); La Codosera (calidad mediana); Garlitos (buena calidad de las arcillas); Valdecaballeros-Herrera del Duque-Garbayuela (buenos resultados analíticos, aunque puntuales); Monterrubio-Zalamea de la Serena (zona bastante explotada, con muy variables calidades).

4.1.4.3 Feldespatos

- Existen diversos tipos de rocas a partir de las cuales se pueden extraer feldespatos. En España los tipos más corrientes son las pegmatitas, aplitas y arenas cuarzo-feldespáticas.
- Los feldespatos pueden dividirse en diferentes tipos, en función de su composición, según queda reflejado en el cuadro adjunto, igual que se observa su aplicación industrial:

POTÁSICOS $\left(\frac{K}{Na} > 3\right)$	SÓDICOS $\left(\frac{K}{Na} < \frac{1}{3}\right)$		MIXTOS $\left(3 > \frac{K}{Na} > \frac{1}{3}\right)$	OTROS
K Feld.	Na Feld.	Q+Na Feld.	K+Na Feld.	Li Feld.
K₂O ≥ 9%	SiO₂ ≅ 68% Na₂O > 7%	SiO₂ > 71% Na₂O ≅ 7%	K₂O = 4-6.5 K₂O/Na₂O = 1-2	
Vidrio y Cerámica (Fritas y esmaltes)	Pastas cerámicas blancas		Cerámica	Cerámica
	Pavimentos y revestimientos	Porcelana sanitaria	Pasta blanca y porcelana fina	Aditivos

- Se conoce la existencia de feldespato en más de veinte provincias españolas, con actividad minera en diez de ellas y, antes, también la hubo en otras dos más. Se han inventariado más de 140 indicios en todo el país, habiéndose distribuido para su estudio en 12 distritos, y considerando otro para el resto de España (IGME, 1983a).
- Las aplicaciones industriales de feldespato vienen marcadas por sus propiedades físicas y químicas, siendo sus aplicaciones más importantes la industria del vidrio y la cerámica, que, en España, consumen más del 95% del total.
- En el mercado español, se importaba gran cantidad de feldespato sódico o de calidades muy específicas de feldespato potásico.
- En el consumo nacional, se dedica el 64% al sector cerámica, un 32% al sector del vidrio y un 4% a otros sectores.
- Por lo que se refiere a los precios, los feldespatos no presentan demasiados problemas en cuanto a “distancias a centros de consumo”, ya que, dentro de ciertos límites, se valoran notablemente las especificaciones para el uso concreto y el transporte no representa un valor muy alto dentro de todos los costes de fabricación.
- Las reservas y recursos españoles de feldespato se estiman en:

37,5 Mt de tipo potásico (algunas calidades españolas podían ser comparadas con las mejores del mundo: feldespatos de Toledo, tratado en Francia)

29,46 Mt de arenas cuarzo-feldespáticas (Segovia, Ávila y Salamanca)

0,99 Mt de otras rocas feldespáticas

2,5 Mt de tipo sódico (calidades bajas, en general sólo aptas para pavimentos y revestimientos cerámicos, para esmaltes o para porcelana sanitaria).

Los recursos calculados por distritos, eran:

- Lugo: 665.000 t (403.000 t, potásicos).
- La Guardia-Villagarcía de Arosa (Pontevedra): 5.000 t, potásicos
- Llansá (Girona): 1.708.000 t, potásicos
- Vitigudino-Fermoselle (Salamanca-Zamora): 188.000 t, potásicos
- Garcirrey-Ledesma (Salamanca): 21.000 t, potásicos
- Diego Álvaro-Villatoro (Ávila): 12.000 t, potásicos
- Piedralaves (Ávila): 4.000 t, potásicos
- Fuentenebro (Burgos): 3.000 t, potásicos; bajo contenido en álcalis; difícil aplicación
- Navas de Oro-Carrascal del Río (Segovia): 29.426.000 t, potásicos
- Colmenar Viejo-El Vellón (Madrid): 49.000 t, potásicos
- Toledo-Villarejo de Montalbán (Toledo): 10.000 t, sódicos y sódico-potásicos, calidad excelente
- Fuenteovejuna-Cazalla de la Sierra (Córdoba-Sevilla): 412.000 t (300.000 t son potásicos)
- Resto de España: 45.000 t potásicos (42.000 t son arenas cuarzo-feldespáticas)

4.1.5 Documentación consultada

La documentación consultada para elaborar el presente proyecto se ha extraído, tanto de los fondos documentales del Instituto Geológico y Minero de España, como de la existente en las Hojas del Mapa Geológico de España, a escala 1:50.000.

Alguna de estos trabajos se citan directamente en el texto con su correspondiente referencia, pero hay otra serie de información que, aunque

no se cite textualmente, creemos que su conocimiento mejora la información que se aporta en este proyecto.

Los informes y trabajos consultados son:

- Almela Samper, A.; Mansilla Izquierdo, H.; Quintero Amador, I. y Gómez Nogueroles, E. (1977).- Hoja nº. 493 OLIETE. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME, 2ª ser., 1ª ed. Madrid.
- Álvaro López, M.; del Olmo Zamora, P. y Gabaldón López, V. (1989).- Hoja nº. 539 PERALEJO DE LAS TRUCHAS. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME, 2ª ser., 1ª ed. Madrid.
- Angoloti Apolinario, J.Mª.; Muelas Peña, A. y García Vélez, A. (1975).- Hoja nº. 920 CONSTANTINA. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME, 2ª ser., 1ª ed. Madrid.
- Aramburu, C. (1989).- El Cambro-Ordovícico de la Zona Cantábrica (N.O. de España). Tesis Doctoral, Univ. de Oviedo, 530 pp. Oviedo.
- Bellido Mulas, F.; Casquet, C.; González Lodeiro, F.; Martín Parra, L.M.; Martínez-Salanova, J.; Navidad, M.; del Olmo Sanz, A.; Pérez González, A.; Rodríguez Fernández, L.R. y Ruiz García, C. (2004).- Hoja nº. 509 TORRELAGUNA. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME, 2ª ser., 1ª ed. Madrid.
- Canerot, J. y Pignatelli García, R. (1978).- Hoja nº. 519 AGUAVIVA. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME, 2ª ser., 1ª ed. Madrid.
- Carrasco González, R.M.; Sanz Santos, M.A.; Rubio Pascual, F.J.; Serrano-García, Á.; Díez Montes, M. y Rodríguez Fernández, L.R. (2000).- Hoja nº. 408/409 VILVESTRE. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME, 2ª ser., 1ª ed. Madrid.
- Castells López, C.; Espinosa Godoy, J.; Baltuille Martín, J.M.; Delgado Gutiérrez, G.; Martín Serrano, Á.; Zubieta Freire, J.; Suárez Suárez, J. y Zapardiel Palenzuela, J.Mª. (1978-1979).- Investigación de lignito en la región gallega. Instituto Geológico y Minero de España (informe inédito nº 10.811), 5 vol. Madrid.
- Chamón Cobos, C. y Fernández Tomás, J. (1972).- Hoja nº. 264 GINZO DE LIMIA. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME, 2ª ser., 1ª ed. Madrid.
- Crespo Zamorano, A. y Navarro Vázquez, D. (1978).- Hoja nº. 518 MONTALBÁN. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME, 2ª ser., 1ª ed. Madrid.
- DGM-MICYT (2004).- Estadística Minera. Dirección General de Minas, Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. Madrid.
- DGM-MICYT (2005).- Estadística Minera. Dirección General de Minas, Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. Madrid.

- DGM-MINER (1983).- Estudio tecnológico para la definición de campos de aplicación del caolín de Asturias. Dirección General de Minas, Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
- ENADIMSA (1982).- Estudio tecnológico del tratamiento de los caolines españoles. Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras. Madrid.
- ENADIMSA (1985).- Investigación de feldespatos en la Reserva "Coto Carbonell" y en Segovia. Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras. Madrid.
- García de Domingo, A.; López Olmedo, F. y Barnolas Cortina, A. (1985).- Hoja nº. 496 HORTA DE SAN JUAN. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME, 2ª ser., 1ª ed. Madrid.
- Grout, F.F. (1925).- The Relation of texture and composition of clays. Geological Society American Bulletin, 36, pp. 393-415.
- Herráez Samaniego, A.; Lendínez González, A. y Gabaldón López, V. (1989).- Hoja nº. 564 FUERTESCUSA. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME, 2ª ser., 1ª ed. Madrid.
- IGME (1973).- Investigación de los yacimientos de caolín y cuarzo en Asturias. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IGME (1977).- Estudio tecnológico sobre caolines y arcillas. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IGME (1980a).- Estudio previo de las arcillas de levante. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IGME (1980b).- Exploración regional de las formaciones mesozoicas de la región oriental de la Cordillera Cantábrica (Burgos-Santander) para arenas caoliníferas.- Zona E. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IGME (1980c).- Programa nacional de investigación de arcillas. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IGME (1982a).- Actualización y mejora del inventario de rocas industriales en la provincia de Ávila. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IGME (1982b).- Análisis del mercado del caolín para el establecimiento de los criterios económicos de racionalización de la producción en las provincias de Guadalajara, Cuenca, Valencia, Teruel. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IGME (1982c).- Investigación geológica y tecnológica de arcillas en Andalucía. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IGME (1983a).- Inventario nacional de los recursos de feldespatos. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

- IGME (1983b).- Investigación de arcillas en Levante. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IGME (1984a).- Exploración de lignitos en áreas circungalaicas. Asturias-León-Zamora. Fase I. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IGME (1984b).- Exploración y caracterización de las arcillas de las cuencas Terciario-cuaternarias de Galicia. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IGME (1984c).- Inventario nacional de caolines. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IGME (1987).- Estudio de caracterización y aplicaciones de las arcillas en siete cuencas Terciario-cuaternarias de Galicia. 2ª fase. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IGME (1988a).- Investigación de arcillas en Extremadura. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IGME (1988b).- Investigación de caolines en el principado de Asturias. 1ª Fase. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IGME (1988c).- Posibilidades de rocas arcillosas en Cantabria. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IGME (2002).- Panorama Minero. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- ITGE (1990a).- Aprovechamiento industrial de arcillas en Cantabria. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid.
- ITGE (1992).- Estudio de los feldespatos de Galicia. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid.
- Julivert Casaguada, M.; Marcos, A. y Pulgar, J.A. (1975).- Hoja nº. 27 TINEO. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME, 2ª ser., 1ª ed. Madrid.
- Marin, P.H. y B.; Duval, B. (1977).- Hoja nº. 495 CASTELSERAS. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME, 2ª ser., 1ª ed. Madrid.
- Marin, P.H.; Pallard, B.; Duval, B. y de Miroschedji, A. (1977).- Hoja nº. 494 CALANDA. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME, 2ª ser., 1ª ed. Madrid.
- Martínez Álvarez, J.A.; Torres Alonso, M.; Gutiérrez Claverol, M. y Huerga Rodríguez, A. (1975).- Hoja nº. 9 FOZ. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME, 2ª ser., 1ª ed. Madrid.
- Mesa Lopez-Colmenar, J.M. (1992).- Caolín y arcillas caoliníferas. En: "Recursos Minerales de España", J. García Guinea y J. Martínez

- Frías (coords.). Textos Universitarios (C.S.I.C.), 15, pp. 27-44. Madrid.
- Pettijhon, F.J. (1963).- Rocas Sedimentarias. Ed. Eudeba, 731 pp. Buenos Aires.
 - Rebollo Rodríguez, J.L. y Baltuille, J.M. (1982).- Sondeos para evaluación previa de reservas lignitíferas en Ginzo de Limia (Orense). Instituto Geológico y Minero de España (informe inédito nº 10.696), 4 vol. Madrid.
 - Rebollo Rodríguez, J.L.; Baltuille Martín, J.M.; Espinosa Godoy, J.; Delgado Gutiérrez, G.; Nuño Ortea, C. y Zubieta Freire, J. (1980).- Exploración de lignito en la región gallega. Instituto Geológico y Minero de España (informe inédito 10.825), 5 vol. Madrid.
 - Rebollo Rodríguez, J.L.; Baltuille, J.M.; Rey de la Rosa, J.; Delgado Gutiérrez, G.; Nuño Ortea, C.; Chamorro Pozo, M.; Samper de la Gándara, M.; Orellana Silva, E.; Higuera Gil, M.; Navas Madrazo, J.; Balaguer Bernaldo de Quirós, L. y Kaiser Ruiz del Olmo J.L. (1982).- Investigación de lignitos en las cuencas límnicas gallegas (Cuenca de Ginzo de Limia). Instituto Geológico y Minero de España (informe inédito nº 10.812), 5 vol. Madrid
 - Rebollo Rodríguez, J.L.; Baltuille Martín, J.M.; Rey de la Rosa, J.; Delgado Gutiérrez, G.; Nuño Ortea, C.; López Prado, J.; Mena Inglés, J.M.; del Moral Crespo, J.; Chamorro Pozo, M.; Orellana Silva, E.; Higuera Gil, M.; Kaiser Ruiz del Olmo, J.L.; Navas Madrazo, J.; Merchán Álvarez, F. y Balaguer Bernaldo de Quirós, L. (1981).- Investigación de lignitos en Galicia. Fase III. Instituto Geológico y Minero de España (informe inédito nº 10.813), 4 vol. Madrid.
 - Rebollo Rodríguez, J.L.; Baltuille Martín, J.M.; Rey de la Rosa, J.; Delgado Gutiérrez, G.; González Lastra, J.; Hernáiz Huerta, P.P.; Maymó Assés, A.; Díaz de Neira, A.; Martín Serrano, Á.; Chamorro Pozo, M.; Orellana, E.; Higuera, M.; Recio, A.; Pendás, F.; Fernández Marrón, M^a.J.; Herráez, E.; Doval, M.; Dabrio, C.; Herail, G.; Hoyos, M. y García Ramos, J.C. (1986).- Exploración lignitífera en la región Astur-Galaica y experiencia piloto en la Cuenca del Duero (Borde Zamorano-Leonés). Instituto Geológico y Minero de España (informe inédito nº 11.168), 7 vol. Madrid.
 - Rodríguez Fernández, L.R.; Martín-Serrano García, Á.; Rubio Pascual, F.J. y Sanz Santos, M.A. (1999).- Hoja nº. 424 ALMEIDA. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME, 2^a ser., 1^a ed. Madrid.
 - Ruiz Fernández de la Lopa, V.; Carls, P. y Gabaldón López, V. (1989).- Hoja nº. 466 MOYUELA. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME, 2^a ser., 1^a ed. Madrid.

- Sánchez Cela, V. y Gabaldón López, V. (1976).- Hoja nº. 831 ZALAMEA DE LA SERENA. Mapa Geológico de España E. 1:50.000. IGME, 2ª ser., 1ª ed. Madrid.
- Toro Quirós, A. (2007a).- Minerales Industriales. Feldespatos. En: "La Minería en Castilla y León. SIEMCALSA, 15, pp. 239-244. Valladolid.
- Toro Quirós, A. (2007b).- Minerales Industriales. Caolín y Arcillas caoliníticas. En: "La Minería en Castilla y León. SIEMCALSA, 15, pp. 250-254. Valladolid.

4.2 Subtarea 1.2. Revisión bibliográfica sobre los requisitos de las materias primas y tendencias en la formulación

4.2.1 Introducción

El presente documento pretende reflejar la situación actual del sector español fabricante de baldosas cerámicas en lo que respecta su producción, tipología de productos, materias primas y composiciones empleadas en la obtención de los soportes de cocción blanca. En su elaboración se ha consultado el informe “Los sectores español y mundial de baldosas cerámicas” publicado por ASCER en diciembre de 2004, la “Guía de la baldosa Cerámica” publicada por la Conselleria d’Obres Públiques, Urbanisme i Transports y el libro “Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas” publicado por el ITC. Asimismo se ha contactado con productores, suministradores y consumidores de materias primas del sector de baldosas cerámicas al objeto de actualizar la información existente acerca de las composiciones empleadas en la actualidad, materias primas que se utilizan y precio de estos materiales puestos en la planta consumidora.

Este documento se encuadra en el proyecto “Materias primas nacionales alternativas para la fabricación de baldosas cerámicas”, que está enmarcado en la línea de proyectos de especial relevancia para centros de investigación en colaboración con empresas, con la referencia GVEMP06/023 y financiado por la Generalitat Valenciana por medio de la Conselleria d’Empresa, Universitat i Ciència.

4.2.2 El sector español de baldosas cerámicas

El sector español de fabricación de baldosas cerámicas se caracteriza por una elevada concentración de industrias en la provincia de Castellón, en un área de unos 50 km de diámetro, delimitada al norte por Alcora y Cabanes, al oeste por Onda, al sur por Nules y al este por Castellón de la Plana.

La producción del sector en el año 2004 fue de 640 millones de metros cuadrados, de los cuales el 94% se fabricó en esta provincia, donde están ubicadas cerca del 81% de las empresas del sector.

En el año 2004 las ventas totales estimadas fueron de 3.671 millones de euros, de los cuales 1.977 millones corresponden a exportación y 1.694 millones a ventas nacionales.

El número de empresas fabricantes de baldosas en el año 2.004 era de 222, existiendo además 19 empresas dedicadas a la preparación de polvo atomizado y bizcocho.

En 2004 el sector daba empleo directo a 25.500 trabajadores. Únicamente 25 empresas superaban los 250 empleados, uno de los criterios para determinar si una empresa es PYME o gran empresa.

4.2.3 Tipos de productos

Según la norma UNE-EN 14411 las baldosas cerámicas son piezas planas de poco espesor fabricadas con arcillas, sílice, fundentes, colorantes y otras materias primas. Generalmente se utilizan como revestimientos de suelos, paredes y fachadas.

Las baldosas cerámicas pueden ser esmaltadas (GL), no esmaltadas (UGL) o engobadas y son incombustibles e inalterables a la luz.

La extensa gama de productos cerámicos existente en el mercado actual está condicionada por las variadas utilidades de este material de construcción. En función de su aplicación, existen diferentes tipologías de producto y características.

La citada norma clasifica a las baldosas cerámicas en función del método utilizado para su moldeo (prensado, extrusión o colado) y de la absorción de agua, que evalúa la porosidad abierta del producto. El acabado superficial (esmaltadas o no esmaltadas) da lugar a una posterior clasificación. En la Tabla 19 se muestran los grupos normalizados de baldosas cerámicas. Se ha omitido el grupo C (baldosas coladas) por su escasa producción.

Tabla 19 Grupos normalizados de baldosas cerámicas.

		Grupo I $E \leq 3\%$	Grupo Iia $3\% < E \leq 6\%$	Grupo Iib $6\% < E \leq 10\%$	Grupo III $E > 10\%$
TIPO DE MOLDEO	A BALDOSAS ESTRUIDAS	Grupo AI Absorción de agua baja ($E \leq 3\%$)	Grupo AIIa Absorción de agua media-baja	Grupo AIIb Absorción de agua media-alta	Grupo AIII Absorción de agua alta
	B BALDOSAS PRENSADAS EN SECO	Grupo BIa Absorción de agua muy baja ($E \leq 0.5\%$)	Grupo BIIa Absorción de agua media-baja	Grupo BIIb Absorción de agua media-alta	Grupo BIII Absorción de agua alta
		Grupo BIb Absorción de agua baja ($0,5 < E \leq 3\%$)			

Estos grupos no tienen denominaciones normalizadas, por lo que en el sector cerámico se utilizan diversos nombres para identificar los tipos corrientes de baldosas cerámicas. A continuación se describen los tipos de baldosas, utilizando las denominaciones más extendidas y teniendo en cuenta criterios objetivos de carácter técnico. Pero debe tenerse presente que estas denominaciones no están normalizadas ni son aceptadas o entendidas por igual, por lo que puede ser necesario hacer precisiones o aclaraciones para evitar malos entendidos.

A continuación se describen los tipos de baldosas cerámicas, con información sobre sus características, usos más frecuentes, y aspecto.

Azulejo: es la denominación tradicional de las baldosas cerámicas con soporte de porosidad alta (absorción de agua entre el 10% y el 15%), prensado en seco, esmaltadas y fabricadas por bicocción o monococción. Los azulejos, junto con el gres esmaltado representan el grueso de la producción española de baldosas cerámicas.

Gres esmaltado: es la denominación más frecuente de las baldosas cerámicas con soporte de porosidad baja o media baja (absorción de agua entre el 0.5% y el 6%), prensadas en seco, esmaltadas y fabricadas generalmente por monococción, conocidas también como pavimento gresificado, pavimento cerámico esmaltado o simplemente pavimento cerámico. El gres esmaltado, junto con los azulejos, representan la mayor parte de la producción española de baldosas cerámicas.

Gres porcelánico: es el nombre generalizado de las baldosas cerámicas con muy baja absorción de agua (absorción de agua inferior al 0.5%), prensadas en seco o extrudidas, no esmaltadas o esmaltadas sometidas a una única cocción. Se utilizan para suelos interiores en edificación residencial, comercial e incluso industrial, para suelos exteriores y fachadas y para revestimientos de paredes interiores, en este caso preferentemente con acabado pulido. La cara vista puede tener relieves similares a los de las piedras naturales, con fines decorativos, o en forma de puntas de diamante, estrías, ángulos, con fines antideslizantes, para uso en suelos exteriores o de locales industriales.

El gres porcelánico es el tipo de baldosas cerámica de más reciente aparición en el mercado. La producción española, que se inició en 1988, es completa en variedad y aumenta al ritmo de la demanda.

Gres rústico: es el nombre dado a las baldosas cerámicas con porosidad baja (absorción de agua inferior al 3%) o media baja (absorción de agua entre el 3% y el 6%), conformadas por extrusión y generalmente no esmaltadas. Dentro de una producción relativamente pequeña, hay una gran variedad de tipos, cuyas características particulares los hacen especialmente adecuados para revestimiento de fachadas, solados exteriores incluso de espacios públicos, suelos de locales públicos, suelos industriales, etc. Las irregularidades de color, superficie y aristas les dan posibilidades decorativas particulares.

Baldosín catalán: es el nombre tradicional de baldosas con absorción de agua desde media-alta a alta o incluso muy alta, extrudidas, generalmente no esmaltadas y por tanto, sometidas a una única cocción. La producción y el consumo son estables o con suave tendencia a la baja, y como su nombre indica, están concentradas en Cataluña, así como en Valencia. El baldosín no esmaltado se utiliza para solado de terrazas, balcones y porches, con frecuencia en combinación con olambrillas (pequeñas piezas cuadradas de gres blanco con decoración azul, o de loza esmaltada con decoración en relieve o multicolor).

Barro cocido: es la denominación más comúnmente aplicada a gran variedad de baldosas con características muy diferentes, coincidentes solo en la apariencia rústica y en la alta absorción de agua. La producción es limitada, discontinua y muy dispersa y generalmente se fabrican en pequeñas unidades productivas y con medios artesanales. Sus características las hacen especiales y casi exclusivamente adecuadas para edificación o locales de búsqueda rusticidad.

En la Tabla 20 se muestra la correspondencia de las denominaciones de los productos anteriormente descritos con el grupo al que pertenecen según la citada norma. También se incluye información acerca de las características y proceso empleado en su fabricación.

Tabla 20 Tipos de baldosas cerámicas usuales en España.

Tipo de baldosa	Moldeo	Soporte	Esmaltado	Grupo norma ISO 13006
Azulejo	Prensado	Poroso	Si	BIII
Gres esmaltado	Prensado	No poroso	Si	B1b - B1a
Gres Porcelánico	Prensado Extrudido	No poroso	No/Si	B1a A1
Baldosín Catalán	Extrudido	Poroso	No	A11b - A111
Gres rústico	Extrudido	No poroso	No/Si	A1 - A11a
Barro cocido	Extrudido	Poroso	No	A11b - A111

Además de esta clasificación, las baldosas también se dividen en dos grandes grupos en función del color que presenta el soporte tras la cocción:

- baldosas de cocción roja
- baldosas de cocción blanca.

Aunque esta clasificación no implica una diferenciación en las características técnicas ni en la calidad de las baldosas, la fabricación de uno u otro tipo posee una enorme influencia en la tipología de materias primas se utilizan para confeccionar los soportes, como se verá en detalle en el apartado 4.2.5.

Como excepción deben citarse aquellos productos en los que el soporte desempeña, además de funciones técnicas, un papel estético importante que condiciona que la coloración de éste deba presentar unas determinadas características. Algunos de estos productos, casi siempre no esmaltados, son el gres porcelánico y el gres rústico.

4.2.4 Producción

En la Figura 4 se muestra la evolución de la producción española de baldosas cerámicas. Se observa que mantiene un crecimiento positivo desde 1982, siendo esta progresión más acentuada en la década de los noventa. En los últimos años se observa una desaceleración en su crecimiento, con una disminución de la producción en el año 2003 del 4,1%. En 2004 la producción aumentó un 2,1%.

La producción mundial está concentrada en unos pocos países, especialmente en Europa y Asia. Creció en 2004 un 7,1 % hasta los 6.771 millones de metros cuadrados, mientras que en la Unión Europea aumentó en un 2,9%. La producción de la Unión Europea ha perdido peso dentro de la producción mundial, pasando de tener una cuota del 45% en 1990 al 21% en 2.004. China es el primer productor mundial, seguido a gran distancia por España e Italia (Figura 5). Brasil se sitúa en el cuarto lugar, a escasa distancia de España e Italia.

La Figura 6 muestra la evolución de la producción española por tipos de productos. Se observa que los dos productos mayoritarios son el azulejo y el gres esmaltado con aproximadamente el 85% de la producción total. La tendencia experimentada por ambos productos es diferente en los últimos años, en los que la producción de azulejos aumenta ligeramente mientras que la del gres se va reduciendo progresivamente. Esta última tendencia debe asociarse a la sustitución paulatina del gres esmaltado por el porcelánico esmaltado, que es el producto que ha experimentado un mayor aumento en los últimos años. Como dato comparativo, la producción italiana de gres porcelánico se sitúa en valores próximos al 70%.

La evolución de la producción de baldosas fabricadas con soportes de cocción roja y blanca se muestra en la Figura 7. Se observa que tanto la producción de baldosas de cocción roja como blanca han aumentado en el pasado manteniendo sus porcentajes relativos prácticamente constantes. Sin embargo, a partir del año 2001, en el que la producción se encuentra estabilizada, se observa un aumento progresivo de la producción de baldosas de cocción blanca, debido principalmente a la expansión del gres porcelánico esmaltado.

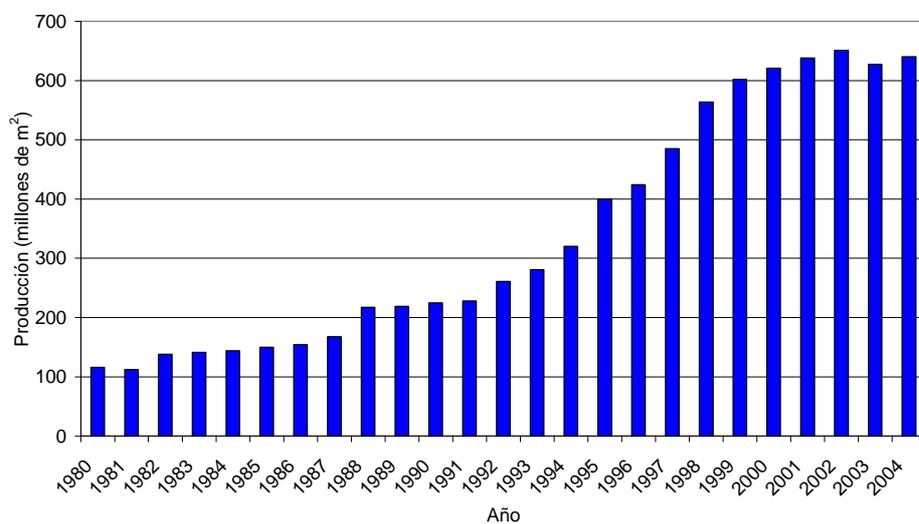


Figura 4 Evolución de la producción española de baldosas cerámicas. Fuente: ASCER.

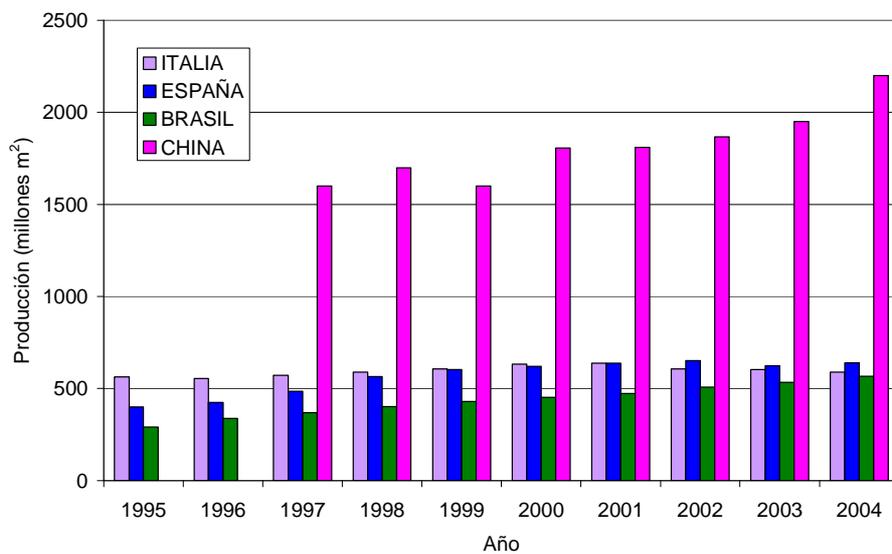


Figura 5 Evolución de la producción de los cuatro países productores más importantes. Fuente: ASCER.

4. Resultados

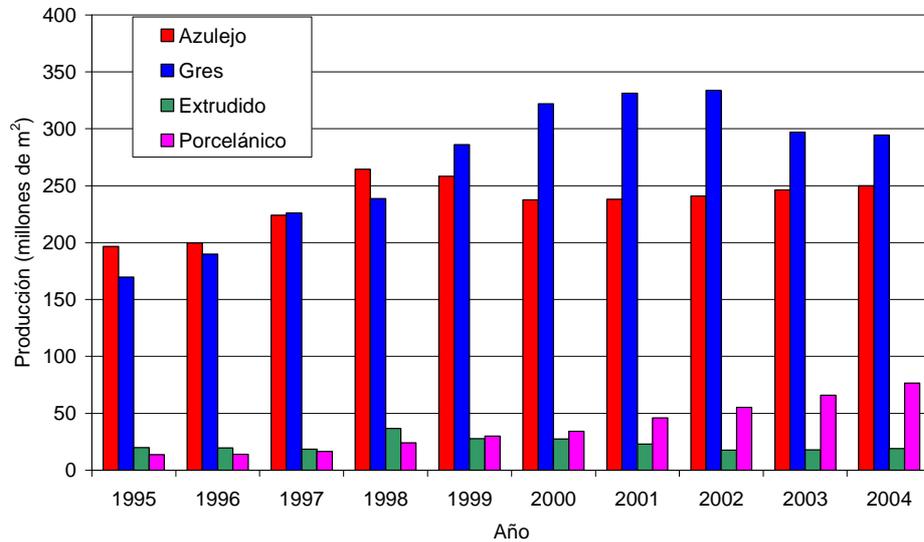


Figura 6 Evolución de la producción española por tipos de productos. Fuente: ASCER.

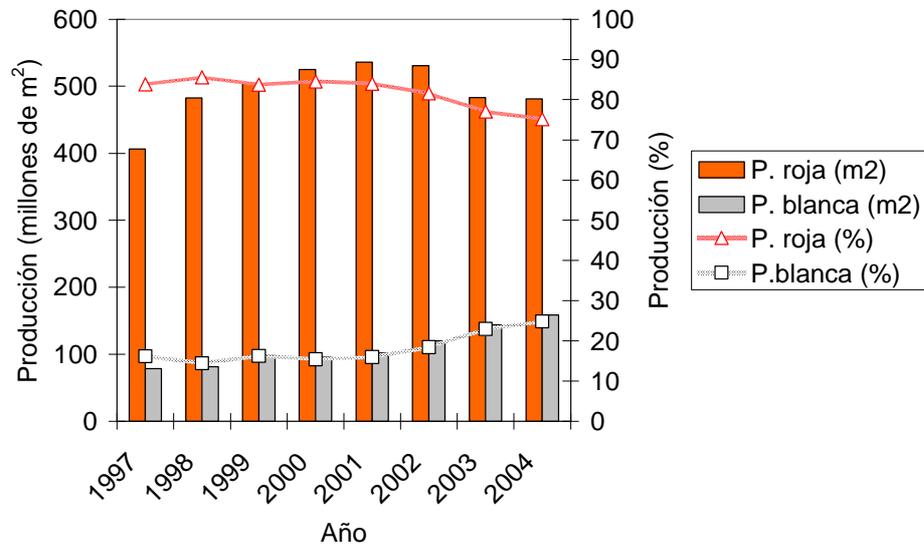


Figura 7 Evolución de la producción española de baldosas de cocción roja y blanca. Fuente: ASCER.

4.2.5 Materias primas y composiciones empleadas

El color que presentan los soportes cerámicos tras la cocción, aunque no influye directamente sobre sus características técnicas, posee una gran

importancia debido al tipo de materia prima que se emplea en su fabricación. Así, en las composiciones utilizadas para fabricar los soportes de cocción roja se emplean casi exclusivamente arcillas locales de cocción roja. Ello es debido a que estas arcillas contienen una serie de minerales que proporcionan a las piezas las propiedades requeridas y que se comportan adecuadamente durante las distintas etapas del proceso de fabricación.

Por el contrario, las composiciones utilizadas para fabricar baldosas de cocción blanca se formulan a partir de una mezcla de arcillas de cocción blanca y materias primas no plásticas o desgrasantes. El motivo principal de esta diferencia es la ausencia de ciertos minerales en estas arcillas, como formadores de fases líquidas y cristalinas, que implica la adición de otras materias primas que cumplan esta función. Entre ellas se encuentran la calcita, feldespatos, talco, etc.

Es por ello que las arcillas de cocción blanca y los feldespatos se utilizan exclusivamente en la fabricación de baldosas con soporte de cocción blanca, por lo que únicamente se procederá a la descripción de este tipo de composiciones.

4.2.5.1 Descripción de las composiciones empleadas para la fabricación de baldosas de cocción blanca

En general, las composiciones de cocción blanca (azulejo, gres esmaltado y gres porcelánico) se formulan con relaciones de minerales plásticos a materiales desgrasantes próximas a 1:1, aportando los primeros la plasticidad necesaria para el adecuado procesamiento del material y definiendo los segundos las propiedades del producto acabado, que varían en función del tipo de producto.

Las composiciones de azulejo se formulan con una proporción adecuada de óxidos alcalinotérreos, introducidos normalmente en forma de carbonatos cálcicos y cálcicos - magnésicos. Esto se debe a la alta estabilidad dimensional e inalterabilidad frente a la acción de la humedad que se les exige a las piezas cocidas. El resto de los materiales desgrasantes empleados suelen ser arena silíceo o feldespática en mayor o menor proporción (en función del contenido en cuarzo de las arcillas empleadas) y en menor medida feldespatos, y/o talco cuando se pretende aumentar la proporción vítrea en las piezas cocidas.

En los productos de baja porosidad, gres esmaltado y gres porcelánico, la sinterización del material por desarrollo de fase líquida se consigue mediante el aporte de óxidos fundentes alcalinos en forma de feldespatos sódicos, potásicos y mixtos. Algunas veces se introducen pequeñas proporciones de talco, con el propósito de reducir la temperatura de gresificación, dado que este mineral forma mezclas eutécticas de baja temperatura de fusión con los feldespatos alcalinos.

En lo que respecta al color del soporte cocido, a las baldosas de azulejo se les suele exigir un alto grado de blancura, por lo que, dependiendo de dicha característica, las composiciones se formulan con proporciones más o menos elevadas de arcillas nacionales, junto con arcillas de importación para aportar resistencia mecánica en crudo. Por este mismo motivo, y debido a la menor importancia de la compacidad en crudo en los productos porosos respecto de los gresificados, en ocasiones se introducen pequeñas proporciones de caolín.

Por el contrario, en las composiciones de gres esmaltado, los requerimientos de blancura no son tan elevados, siendo necesario obtener la máxima compacidad en crudo posible (para minimizar la contracción de cocción). Por tanto, será conveniente emplear arcillas con una adecuada distribución de tamaño de partícula (DTP) y baja pérdida por calcinación, pero no excesivamente arenosas para no elevar demasiado la temperatura de cocción. Este tipo de composiciones se formulan con arcillas nacionales, más o menos silíceas, aunque es habitual adicionar pequeñas proporciones de arcillas de importación para mejorar la resistencia mecánica en crudo. Los feldespatos empleados son tanto de procedencia nacional como importados, estos últimos debido a la escasa producción de feldespatos de características y coste adecuado en España.

Las composiciones de gres porcelánico son similares a las de pavimento gresificado, pero adaptadas a un proceso que permite obtener piezas con una porosidad, tanto abierta (normalmente inferior al 0,5% de absorción de agua) como cerrada (productos no esmaltados), lo más baja posible. Para la consecución de estos objetivos, la molienda debe ser más enérgica, originando distribuciones de tamaño de partícula poco favorables para la obtención de una elevada densidad aparente en seco. Por lo tanto, en este tipo de productos, la elección de arcillas y desgrasantes que den lugar a una alta compacidad en las piezas crudas es de enorme importancia (mayor si cabe que en el caso del gres esmaltado), si se pretende reducir la contracción de cocción.

En las formulaciones de gres porcelánico en las que se colorea el soporte, deberán de utilizarse arcillas y desgrasantes de elevado grado de blancura en cocido, ya que el desarrollo del color está relacionado con la proporción de impurezas colorantes (Fe_2O_3 y TiO_2 principalmente) presentes en la composición. Por lo tanto, las arcillas utilizadas habitualmente son de importación, por su bajo contenido en óxidos colorantes, y deberán estar libres de impurezas que puedan aumentar la porosidad interna de las piezas cocidas.

Por otro lado, dado que el producto se caracteriza por una mínima porosidad, por lo general son necesarios feldespatos de elevada fundencia y mínimo contenido en impurezas, debiendo recurrir principalmente al empleo de feldespatos de importación, aunque también se están empleando feldespatos de procedencia nacional.

A continuación se describen los intervalos de composición (en % en peso) de las mezclas de materias primas empleadas en la fabricación de los distintos tipos de soportes de cocción blanca.

Soportes de azulejo

Arcillas nacionales	40-60
Arcillas importadas	0-15
Calcita	10-15
Feldespatos	0-15
Arena feldespática	10-25
Caolín	10-20
Talco	0-5

Soportes de gres esmaltado

Arcillas nacionales	50-70
Arcillas importadas	0-10
Feldespatos	30-40
Talco	0-10

Soportes de gres porcelánico esmaltado

Arcillas nacionales	0-60
Arcillas importadas	0-40
Feldespatos	30-50
Arena feldespática	0-10
Caolín	0-15
Talco	0-2

Soportes de gres porcelánico no esmaltado

Arcillas importadas	30-45
Feldespatos	40-50
Arena feldespática	5-15
Caolín	0-20

4.2.5.2 Descripción de las arcillas utilizadas

Las arcillas son un grupo de materias primas que se caracterizan por desarrollar un comportamiento plástico cuando se mezclan con agua. Están presentes en todas las composiciones utilizadas para fabricar los soportes

de las baldosas cerámicas y desempeñan numerosas funciones entre las que destacan: actuar como agente suspensivo del resto de materias primas durante la etapa de preparación de la composición, permitir el moldeo de las piezas gracias a su carácter plástico, proporcionar resistencia mecánica en crudo a las piezas permitiendo su manipulación en etapas anteriores a la cocción y aportar óxidos que son capaces de formar fases líquidas y cristalinas durante la cocción.

Tradicionalmente, en la obtención de los soportes de azulejo y gres esmaltado, se han utilizado arcillas de cocción blanca de procedencia nacional, principalmente de yacimientos ubicados en la provincia de Teruel, junto con pequeños porcentajes de arcillas de importación. Estas últimas arcillas, procedentes principalmente de Inglaterra, debido a su mayor plasticidad y menor contenido en óxidos colorantes respecto a las arcillas nacionales, proporcionaban soportes de mayor resistencia mecánica en crudo y mayor blancura tras la cocción.

Posteriormente, la aparición en el sector español del gres porcelánico no esmaltado, en el que el soporte aporta las propiedades técnicas y estéticas, requirió la utilización de materias primas de elevado grado de blancura que pudieran colorearse con facilidad. Las arcillas nacionales difícilmente alcanzaban los grados de blancura requeridos, por lo que para fabricar este producto se utilizaron casi exclusivamente arcillas importadas procedentes de Inglaterra y, en mucha menor medida, de Francia. Posteriormente se introdujeron las arcillas de Ucrania, que por sus adecuadas características y precio muy competitivo, se han introducido con cierta facilidad en el sector cerámico español.

En los últimos años, la creciente producción de gres porcelánico esmaltado ha producido un aumento en el consumo de arcillas de cocción blanca. La coloración del soporte de este producto en determinadas series de modelos, junto con la evolución del gres blanco hacia gres porcelánico esmaltado, se ha traducido en un aumento del consumo de arcillas de cocción blanca, principalmente de las importadas.

Actualmente coexisten las arcillas nacionales y las importadas en la fabricación de estos productos. Las primeras se utilizan masivamente en la fabricación de los soportes de los azulejos, gres esmaltado y gres porcelánico esmaltado con soporte no coloreado. Las segundas se utilizan en porcentajes importantes en los soportes de gres porcelánico no esmaltado y gres porcelánico esmaltado con soporte coloreado, introduciéndose en menor medida en el resto de composiciones (azulejo, gres esmaltado y gres porcelánico esmaltado con soporte no coloreado).

En la Tabla 21 se detallan los análisis químicos de las arcillas usadas en España para la fabricación de soportes cerámicos.

Tabla 21 Intervalos de la composición química de las arcillas consumidas en España (% en peso).

	Ucrania	Inglaterra	España
SiO ₂	57-67	57-69	65-67
Al ₂ O ₃	20-29	20-28	18-22
Fe ₂ O ₃	0,9-1,3	1,0-1,5	2,2-3,0
CaO	0,3	0,2-0,3	0,4
MgO	0,5-0,6	0,3-0,4	0,3-0,6
Na ₂ O	0,4-0,5	0,3	0,1-0,2
K ₂ O	2,0-3,0	1,7-3,0	2,0-4,0
TiO ₂	1,0-1,5	1,4-1,5	1,0
ppc	6,0-8,5	5,5-8,0	5,8-6,3

Dentro de cada una de estas procedencias existen distintas calidades, bien sea por contenido en óxidos colorantes (Fe₂O₃ y TiO₂) o por la proporción de alúmina (Al₂O₃), relacionada con la plasticidad de la arcilla. A continuación se indican, cuando es posible, las distintas calidades que en la actualidad se están utilizando en el sector cerámico de Castellón.

Arcillas Españolas

Aunque existen numerosos yacimientos de arcillas de cocción blanca en España, las más importantes por el volumen consumido son las procedentes de la provincia de Teruel. Los principales yacimientos se encuentran ubicados en el área de Castellote-Estercuel-Crivillen-Gargallo y son explotados principalmente por el Grupo SAMCA, Minera Sabater y Arcillas Capilla. Estas empresas disponen de instalaciones de trituración y homogeneización en la zona, lo que asegura la constancia en las características de las arcillas. En la Tabla 22 se muestra el análisis químico habitual de estas arcillas. Además existen otras pequeñas empresas que explotan en la zona, en la que recientemente ha comenzado a operar la empresa WBB.

Entre las distintas calidades de arcillas explotadas, las que se emplean en la fabricación de polvo atomizado son las de menor contenido en óxido de hierro, siendo destinadas el resto a la fabricación de pavimento rústico, cerámica estructural, etc. Las arcillas se transportan mediante camiones volquete ("bañeras") hasta las plantas de atomización y se emplean en la obtención de los polvos atomizados utilizados para fabricar azulejos y gres esmaltado principalmente. El precio medio de estas arcillas puestas en las plantas cerámicas oscila entre los 25 y 35 €/t.

Otras zonas en las que existen yacimientos de arcilla de cocción blanca utilizadas en la fabricación de soportes cerámicos se encuentran en Asturias

y Zamora. En el primer caso se explotan por la empresa Arcillas Carmen y en el segundo por el Grupo SAMCA.

Tabla 22 Composición química representativa de las arcillas españolas consumidas en España (% en peso).

Óxido	Contenido
SiO ₂	65-67
Al ₂ O ₃	18-22
Fe ₂ O ₃	2,2-3,0
CaO	0,4
MgO	0,3-0,6
Na ₂ O	0,1-0,2
K ₂ O	2,0-4,0
TiO ₂	1,0
PPC	5,8-6,3

Arcillas de Ucrania

Los principales yacimientos se ubican en la región de Dombas, al este del país, y son suministradas en España por las siguientes empresas: Mineraria España, WBB, Imerys y Arcillas Castelló. Se produce una amplia gama de calidades, desde arcillas de bajo contenido en Al₂O₃ (20-24%) hasta arcillas con valores muy elevados (28-32%).

El transporte se efectúa en barcos de 8000 a 25000 toneladas de capacidad y las calidades que llegan al mercado español son básicamente dos, una denominada "baja alúmina" de menor plasticidad y otra denominada "alta alúmina". Todas ellas se transportan vía marítima hasta el puerto de Castellón, desde donde se distribuyen a las plantas de atomización. Existen suministradores en España que realizan un almacenamiento y tratamiento a estas arcillas consistente en su extensión en capas para proceder a reducir la humedad. También es frecuente la utilización de detectores de metales al objeto de eliminar piezas metálicas introducidas principalmente durante el transporte de la arcilla.

En la Tabla 23 se muestran los análisis químicos medios de estas calidades:

Tabla 23 Composición química de las arcillas ucranianas consumidas en España (% en peso)

Óxido	Baja alúmina	Alta alúmina
SiO ₂	62-67	57-62
Al ₂ O ₃	20-25	25-29
Fe ₂ O ₃	0,9-1,3	0,9-1,3
CaO	0,3	0,3
MgO	0,5	0,6
Na ₂ O	0,5	0,4
K ₂ O	2,0-2,5	2,0-3,0
TiO ₂	1,1-1,4	1,0-1,5
ppc	6,0-7,0	7,0-8,5

El precio medio de estas arcillas colocadas en la planta consumidora es el siguiente:

- Baja alúmina: 50-65 €/t
- Alta alúmina: 60-70 €/t

Arcillas inglesas

Las principales empresas productoras son English China Clay (ECC) perteneciente al grupo Imerys y WBB que pertenece al grupo S.C.R.-Sibelco NV. Estas empresas extraen arcillas y caolines en explotaciones de varios países, aunque únicamente llegan al sector español las procedentes del suroeste de Inglaterra. El transporte se realiza por vía marítima mediante barcos de moderada capacidad (3000-6000 t).

Las arcillas consumidas en España pueden clasificarse según su plasticidad o contenido en alúmina. Los análisis químicos de algunas de estas arcillas se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24 Análisis químicos de las arcillas inglesas consumidas en España (% en peso).

Óxido	Baja alúmina	Alta alúmina
SiO ₂	60-69	57-61
Al ₂ O ₃	20-24	25-28
Fe ₂ O ₃	1,0-1,2	1,1-1,5
CaO	0,2	0,3
MgO	0,3	0,4
Na ₂ O	0,3	0,3
K ₂ O	1,7-2,2	2,3-3,0
TiO ₂	1,5	1,4
ppc	5,5-7,0	7,0-8,0

El precio medio de estas arcillas en la planta consumidora es el siguiente:

- Baja alúmina: 55-65 €/t
- Alta alúmina: 60-80 €/t

Arcillas de Portugal

Recientemente se han introducido en el área de Castellón arcillas portuguesas de la firma Jose Aldeia Lagoa & Filhos. El precios de estas arcillas se sitúa en torno a los 45-55 €/t y el análisis químico de una de ellas se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25 Análisis químico de la arcilla portuguesa consumida en España (% en peso)

Óxido	Contenido
SiO ₂	59
Al ₂ O ₃	24
Fe ₂ O ₃	1,3
MgO	0,5
Na ₂ O	0,6
K ₂ O	1,6
TiO ₂	0,4
ppc	9,0

4.2.5.3 Descripción de los feldespatos utilizados

Los feldespatos desempeñan principalmente el papel de fundentes en las composiciones empleadas para la fabricación de pavimentos cerámicos, proveyendo las primeras fases líquidas que aparecen durante la cocción en

cuyo seno tienen lugar importantes fenómenos de disolución y precipitación. La adición de estos materiales facilita la fusión y reactividad de la mezcla de materias primas, siendo más efectiva la acción del feldespato sódico que la del potásico. Por otro lado, los feldespatos actúan como desgrasantes, mejorando la compacidad de las piezas conformadas.

Los feldespatos alcalinos son los más empleados por la industria cerámica. El resto de los feldespatos son poco utilizados debido a las impurezas que presentan y/o a su escasez. En la Tabla 26 se detallan los análisis químicos de los principales feldespatos usados en España para la fabricación de baldosas cerámicas. La inmensa mayoría son feldespatos sódicos (Turquía y Marruecos) ó sódico-potásicos (España y Francia), incluyendo alguno de ellos otros elementos como el calcio y magnesio (Cerdeña) o el litio (España) que proporcionan una mayor fundencia. También debe indicarse que en los últimos años han aparecido en el mercado algunos productos bajo el nombre de feldespato que en realidad son mezclas de feldespatos y otros minerales que suelen incorporar óxidos alcalinotérreos para aumentar su fundencia, como carbonatos y talco.

Tabla 26 Características de los feldespatos consumidos en España (% en peso)

Óxido	Turquía	Cerdeña	Francia	España	
				Tipo A	Tipo B
SiO ₂	69-71	66	73-77	68-75	72-75
Al ₂ O ₃	18,5-19,5	18	14-21	15-18	15-18
Fe ₂ O ₃	0,05-0,20	0,50	0,15-1,5	0,25-1,1	0,25
CaO	0,5	1,20	0,5-1,5	0,12-0,8	0,2-0,4
MgO	0,1	3,00	0,1-3,5	0,1-0,8	0,1
Na ₂ O	9,5-10,5	8,00	5,0-9,0	3,0-9,0	3,2-4,2
K ₂ O	0,3	0,3	0,5-8,0	0,5-7,0	2,5-3,1
TiO ₂	0,10-0,30	0,5	0,05-0,8	0,16-1,0	<0,05
Li ₂ O	-	-	-	-	1,0-1,2
ppc	0,3	1,8	0,1-1,3	1,0-1,3	1,3

Dentro de cada una de estas procedencias existen distintas calidades, bien sea por contenido en óxidos colorantes (Fe₂O₃ y TiO₂) o por grado de fundencia, relacionado con el contenido en alcalinos y alcalinotérreos. A continuación se indica, cuando es posible, las distintas calidades que en la actualidad se están utilizando en el sector cerámico de Castellón.

Feldespatos de Turquía

Los principales productores de feldespato turco por orden de importancia son los siguientes: Esan, Kaltun, Kale, Ermad y Akmaden. Estos productores ofrecen una amplia gama de calidades, desde feldespatos sódicos de moderado contenido en Fe₂O₃ y TiO₂ hasta feldespatos flotados. También existen algunos suministradores que proporcionan mezclas de feldespato

4. Resultados

sódico con minerales de magnesio. Las calidades no son equivalentes entre los distintos productores, existiendo grandes diferencias en las características del feldespato que se suministra bajo una misma denominación y, por tanto, en su precio.

Las calidades que llegan al mercado español son básicamente dos, una denominada de menor blancura (A) y otra de blancura superior (B) (se ha obviado el feldespato sódico con magnesio, así como una calidad intermedia denominada "medium"). Todas ellas se transportan vía marítima hasta el puerto de Castellón con una granulometría de 0-10 mm. En la Tabla 27 se muestran los análisis químicos medios de estas calidades:

Tabla 27 Calidades de los feldespatos turcos consumidos en España (% en peso).

Óxido	A	B
SiO ₂	70	70
Al ₂ O ₃	19	19
Fe ₂ O ₃	<0,20	<0,12
CaO	0,5	0,5
MgO	0,1	0,1
Na ₂ O	9,0-10,5	9-10,5
K ₂ O	0,3	0,3
TiO ₂	<0,30	<0,15
ppc	0,3	0,3

Desde el puerto de Castellón, el feldespato sigue distintas vías de suministro, todas ellas mediante camiones tipo volquete ("bañeras"):

- directamente a las plantas de fabricación de polvo atomizado o plantas de fabricación de baldosas con instalaciones de atomización. Debe diferenciarse entre empresas que están diseñadas para consumir el feldespato a granel (0-10 mm) y aquellas que poseen instalaciones de molienda vía seca en continuo. Estas últimas molturan el feldespato previamente a su mezclado con el resto de materias primas. En cualquier caso, la molienda más enérgica que se realiza es aquella que proporciona un residuo sobre tamiz de 63 µm próximo al 1 %.
- a empresas intermediarias (suministradores) de entre las cuales los más importantes son Mario Pilato Blat, Arenas Minerales y Kaltum España. En éstas suele realizarse un tratamiento de molienda en seco (similar al comentado anteriormente) al objeto de abastecer a las plantas de atomización o fabricación de baldosas diseñadas para consumir feldespato micronizado que no disponen de instalaciones de molienda de áridos en seco. Al igual que en el apartado anterior, la molienda más enérgica que se realiza es aquella que proporciona

un residuo sobre tamiz de 63 μm próximo al 1 %. Estos feldespatos micronizados se transportan en camiones cuba hasta las plantas de fabricación de baldosas.

Habitualmente, la calidad A no se microniza debido a que suele emplearse en la fabricación de gres y gres porcelánico esmaltado, producto en el que la composición no se somete a un elevado grado de molienda. La calidad B se microniza en algunas ocasiones, bien sea en las propias plantas de atomización o por parte de las empresas suministradoras, debido a que se utiliza ampliamente en la fabricación de gres porcelánico no esmaltado, en el cual la molienda de la composición es muy enérgica (residuo sobre 40 μm en torno al 2.0 %).

Las aplicaciones de estos feldespatos por calidades son las siguientes:

- Calidad A: se ha utilizado en algunas ocasiones en la fabricación de gres porcelánico no esmaltado, aunque su uso mayoritario es la fabricación de gres esmaltado y gres porcelánico esmaltado.
- Calidad B: se emplea ampliamente en la fabricación del gres porcelánico no esmaltado y no suele utilizarse en otros productos debido a que los requerimientos de blancura no son tan elevados.

El precio medio del feldespato a granel (0-10mm) colocado en la planta consumidora es el siguiente:

- Calidad A: 40 €/t
- Calidad B: 55 €/t

En el supuesto de que los feldespatos se micronicen a 63 μm por parte de una empresa suministradora, a estos precios deben añadirse 25-30 €/ton, que incluye la molienda y el transporte en cuba neumática hasta el consumidor final.

Feldespatos de Cerdeña

La empresa productora de estos feldespatos es Maffei Sarda y también ofrece una amplia gama de feldespatos. Al mercado español llega únicamente una calidad por vía marítima con una granulometría de 0-6 mm. En la actualidad no existe ninguna empresa suministradora que micronice estos feldespatos, por lo que llegan a las plantas de fabricación sin que se efectúe sobre ellos ningún tratamiento de molienda. Ello ha dificultado la penetración de estos feldespatos en algunas empresas diseñadas para emplear feldespatos micronizados.

El análisis químico de la calidad que llega al mercado español se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28 Características del feldespato de Cerdeña consumido en España.

Óxido	Contenido
SiO ₂	66
Al ₂ O ₃	18
Fe ₂ O ₃	0,50
CaO	1,20
MgO	3,00
Na ₂ O	8,00
K ₂ O	0,3
TiO ₂	0,50
ppc	1,8

Este feldespato se emplea mayoritariamente para la fabricación de gres esmaltado y especialmente para gres porcelánico esmaltado.

El precio medio del feldespato a granel (0-6mm) colocado en la planta consumidora es de 40 a 45€/t.

Feldespatos de Francia

Estos feldespatos fueron los primeros que se importaron en el pasado para fabricar gres esmaltado y gres porcelánico no esmaltado debido a la escasez en España de este tipo de materia prima. La gran penetración de los feldespatos de Turquía ha impedido que el consumo de feldespatos franceses durante los últimos años haya crecido parejo al aumento que ha experimentado la producción de baldosas de cocción blanca.

La empresa productora de estos feldespatos es Denain Anzin Minéraux (DAM) que ha sido absorbida recientemente por el grupo Imerys. Producen una amplia gama de feldespatos, todos ellos de tipo sódico o sódico-potásico (mixtos), aunque con contenidos en Na₂O inferiores a los feldespatos de Turquía. También ofrecen feldespatos mixtos con magnesio según requerimientos de determinados clientes.

Las tres calidades que mayoritariamente llegaron al mercado español son las que se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29 Calidades de los feldespatos franceses consumidos en España (% en peso).

Óxido	Sódicos	Mixtos	Con magnesio
SiO ₂	73-77	73-77	73-77
Al ₂ O ₃	14-19	16-21	16,5-20,5
Fe ₂ O ₃	0,15-1,0	0,25-1,5	0,6-0,9
CaO	0,5-1,5	<1,5	<1,5
MgO	<0,8	<1,5	2,0-3,5
Na ₂ O	5,0-9,0	5,0-8,0	5,0-6,8
K ₂ O	0,5-2,6	3,0-8,0	4,5-7,0
TiO ₂	0,05-0,4	0,15-0,80	<0,35
ppc	0,7	-	1,3

Los feldespatos sódicos de mayor grado de blancura se emplean en la fabricación de gres porcelánico no esmaltado, mientras que los mixtos se utilizan principalmente en la fabricación de gres esmaltado debido al mayor contenido en álcalis e hierro. Los que aportan magnesio suelen utilizarse en soportes de gres porcelánico esmaltado.

Para las empresas que necesitan feldespatos micronizados se procede a su micronización en las instalaciones que la propia firma posee en Francia o España, transportándose con cuba neumática hasta las plantas consumidoras de Castellón. El grado de micronización varía en función del uso del feldespato. Así, el feldespato destinado a la fabricación de gres porcelánico no esmaltado se molitura hasta 63 µm, mientras que el que se emplea para fabricar gres esmaltado y gres porcelánico esmaltado únicamente se microniza hasta 75 µm.

El precio de estos feldespatos suministrado en forma de grava (0-6 mm) es el siguiente:

- Sódicos: 45-50 €/t
- Mixtos: 35-45 €/t
- Con magnesio: 40-50 €/t

Feldespatos Españoles

El feldespato que tradicionalmente se ha consumido es el procedente de Lugo y que explota la empresa Basazuri. Es un feldespato sódico que se transporta por barco hasta el puerto de Castellón o Barcelona en función de la ubicación del consumidor final. Se emplea para la fabricación de gres esmaltado y se consume a granel (0-6 mm). El precio puesto en las plantas cerámicas es de 40-45 €/ton.

Tabla 30 Características de los feldespatos españoles consumidos en España (% en peso).

Óxido	Lugo	Salamanca	Cáceres	Sevilla
SiO ₂	68	72-75	68	75
Al ₂ O ₃	18	15-18	18	15
Fe ₂ O ₃	1,1	0,25	0,1-0,2	0,25
CaO	0,4	0,2-0,4	0,4-0,8	0,12
MgO	0,8	0,1	<0,1	-
Na ₂ O	9,0	3,2-4,2	3,0-4,5	8,2
K ₂ O	0,5	2,5-3,1	5,0-7,0	0,04
TiO ₂	1,0	<0,05	<0,05	0,16
Li ₂ O	-	1,0-1,2	-	-
PPC	1,0	1,3	-	1,0

Los feldespatos con litio (espodumeno) proceden de Salamanca y son explotados por la empresa Imerys. Se transportan a la planta de molienda que la empresa Imerys dispone en Onda (Castellón) para su tratamiento y expedición. En estas instalaciones se realizan mezclas de feldespatos según los requerimientos del consumidor final y tratamientos de molienda. Estos feldespatos, se emplean en la fabricación de gres esmaltado y gres porcelánico esmaltado y no esmaltado. El precio puesto en planta cerámica (0-2 mm) es de 55-60 €/t.

También se utilizan los feldespatos mixtos de Cáceres, explotados por la empresa Minalca que ha sido adquirida recientemente por Imerys. Es un feldespato sodico-potásico, adecuado para ser empleado en composiciones de gres porcelánico y su precio en planta (0-6 mm) es de 50-55 €/t.

Finalmente debe indicarse que también existen explotaciones en Sevilla operadas por la empresa Ostalé, que suministra a través de la empresa Maprice, y en El Vellón (Madrid) explotadas por la empresa Caobar.

4.3 Tarea 2. Investigación y muestreo de las formaciones geológicas

4.3.1 Arcillas caoliníferas para pasta de cocción blanca

Durante el verano de 2006 se realizó la campaña de campo de valoración de yacimientos y muestreo de las diferentes tipologías de arcillas, habiéndose recogido un total de 18 muestras en 10 depósitos.

A la vista de los resultados mineralógicos y tecnológicos obtenidos se han podido clasificar estas muestras, en función de su índice de blancura, en:

- Arcillas con índice de blancura: Alto
- Arcillas con índice de blancura: Medio
- Arcillas con índice de blancura: Bajo

Las empresas estudiadas y las muestras obtenidas quedan recogidas en la Tabla 31.

Tabla 31.- Relación de empresas muestreadas para arcillas caoliníferas

MUESTRA	UTM (X)	UTM (Y)	UTM (Z)	HUSO
Blancura ALTA				
<i>Arcillas B y B, S.L. (Asturias-1)</i>	719610	4806587	580	29
<i>Arcillas B y B, S.L. (Asturias-1)</i>	719485	4806428	650	29
<i>Caolines de La Espina, S.L. (Asturias-2)</i>	717703	4808890	720	29
<i>Arcillas y Feldespatos de Río Pirón - Grupo SAMCA (Zamora-1 y Zamora-2)</i>	255100	4578166	820	30
Blancura MEDIA				
<i>MIRESA (Teruel-8)</i>	263391	4525037	550	31
<i>MIRESA (Teruel-9)</i>	263859	4525073	-	31
<i>MIRESA (Teruel-10)</i>	743887	4529071	850	30
<i>MIRESA (Teruel-11)</i>	743884	4529103	-	30
<i>Arcillas de Oliete, S.L. (Teruel-4)</i>	670070	4545712	970	30
<i>Arcillas de Oliete, S.L. (Teruel-5)</i>	669966	4545647	-	30
<i>Todarcilla (Teruel-6)</i>	726851	4524694	-	30
<i>Todarcilla (Teruel-7)</i>	726823	4524578	-	30
Blancura BAJA				
<i>Arcillas de Oliete, S.L. (Teruel-1)</i>	701657	4538018	605	30
<i>Arcillas de Oliete, S.L. (Teruel-2)</i>	701332	4537838	685	30
<i>Arcillas de Oliete, S.L. (Teruel-3)</i>	701676	4538078	600	30
<i>Arcillas de Oliete, S.L. (Arena)</i>	701324	4538046	-	30
<i>Arcillas Capilla, S.L. (Teruel-12)</i>	730000	4517810	652	30
<i>WBB ESPAÑA, S.A (Teruel-13)</i>	692408	4506351	-	30

4.3.1.1 Índice de blancura: alto

EMPRESA: Arcillas B y B, S.L.

LOCALIDAD

Salas, Cueva (Asturias).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Sierra de Calabazos (Cueva).

COORDENADAS

X1 = 719610 Y1 = 4806587 Z1 = 580 Huso = 29

X2 = 719485 Y2 = 4806428 Z2 = 650 Huso = 29

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 27 (Tineo).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Arcillas blancas provenientes de un caolín pétreo interestratificado en la Cuarcita de Barrios.

Estos materiales se emplean en la fabricación de cemento blanco (Cementos Tudela de Veguín) y cerámica fina (PAMESA). La producción, en 2005 fue de 55.000 Tm.

En este yacimiento del monte Calabazos se presentan depósitos de reducido espesor y posible edad terciaria, que recubren los materiales del Paleozoico inferior.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

Cuarcita de Barrios (Ordovícico inferior).

MUESTREO

Muestra 1: Agrupa a las muestras 1, 2 y 3, tomadas en la zona norte del yacimiento, sobre el mismo nivel, lo más próximo al núcleo de la estructura y por debajo del estéril.

Muestra 2: Agrupa a las muestras 4 y 5, tomadas sobre un nivel de caolín de aspecto más plástico (con interés para la empresa) y situado en la zona sur, por debajo del estéril y a la muestra 6, tomada en la misma zona y por encima del estéril.



SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

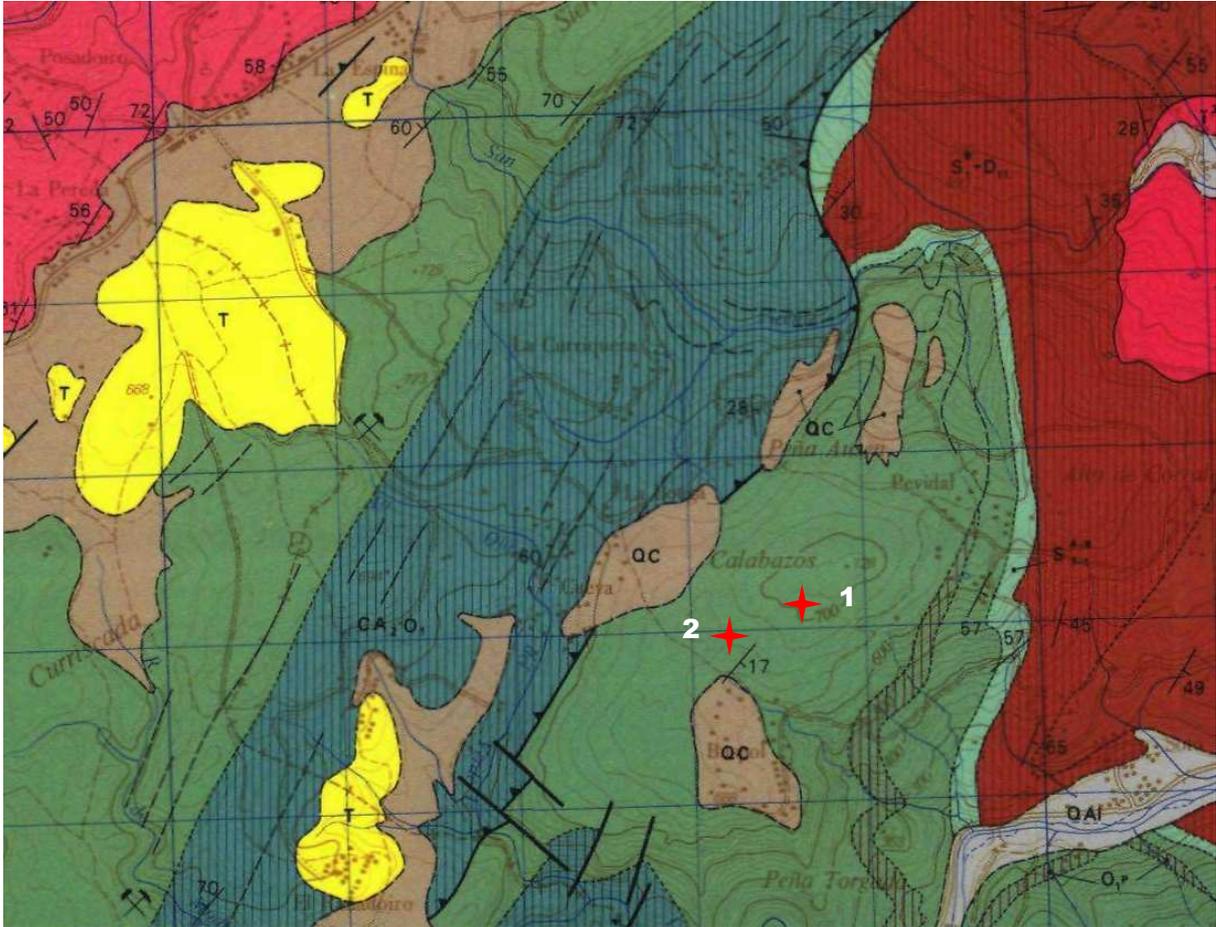
ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

HUSO 29

ESCALA 1: 7500

FECHA DE IMPRESION 28/08/2007





Mapa geológico (Julivert Casaguada et al., 1975), esc. aprox. 1/50.000.

4. Resultados



Figura 8.- Frente de explotación de la cantera.



Figura 9.- Aspecto y vista de una de las capas.



Figura 10.- Detalle de la capa anterior.

EMPRESA: Caolines de la Espina, S.L.

LOCALIDAD

Salas, Bodenaya (Asturias).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Sierra de Bodenaya (Bodenaya).

COORDENADAS

$X_1 = 717703$ $Y_1 = 4808890$ $Z_1 = 720$ Huso = 29

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 27 (Tineo).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Acillas blancas.

La explotación parece situarse sobre un nivel de pizarras micáceas, eluvionado, a techo de la Formación Barrios (cuarcitas masivas de color blanco y más de 600 m de espesor). En la margen izquierda de la carretera de Bodenaya a Casandresín se observa la alteración que presenta dicho nivel pelítico.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

Formación Barrios (Ordovícico inferior).

MUESTREO

Muestra 1: Compuesta por seis bolsas de material, formando un “todo-uno” representativo.



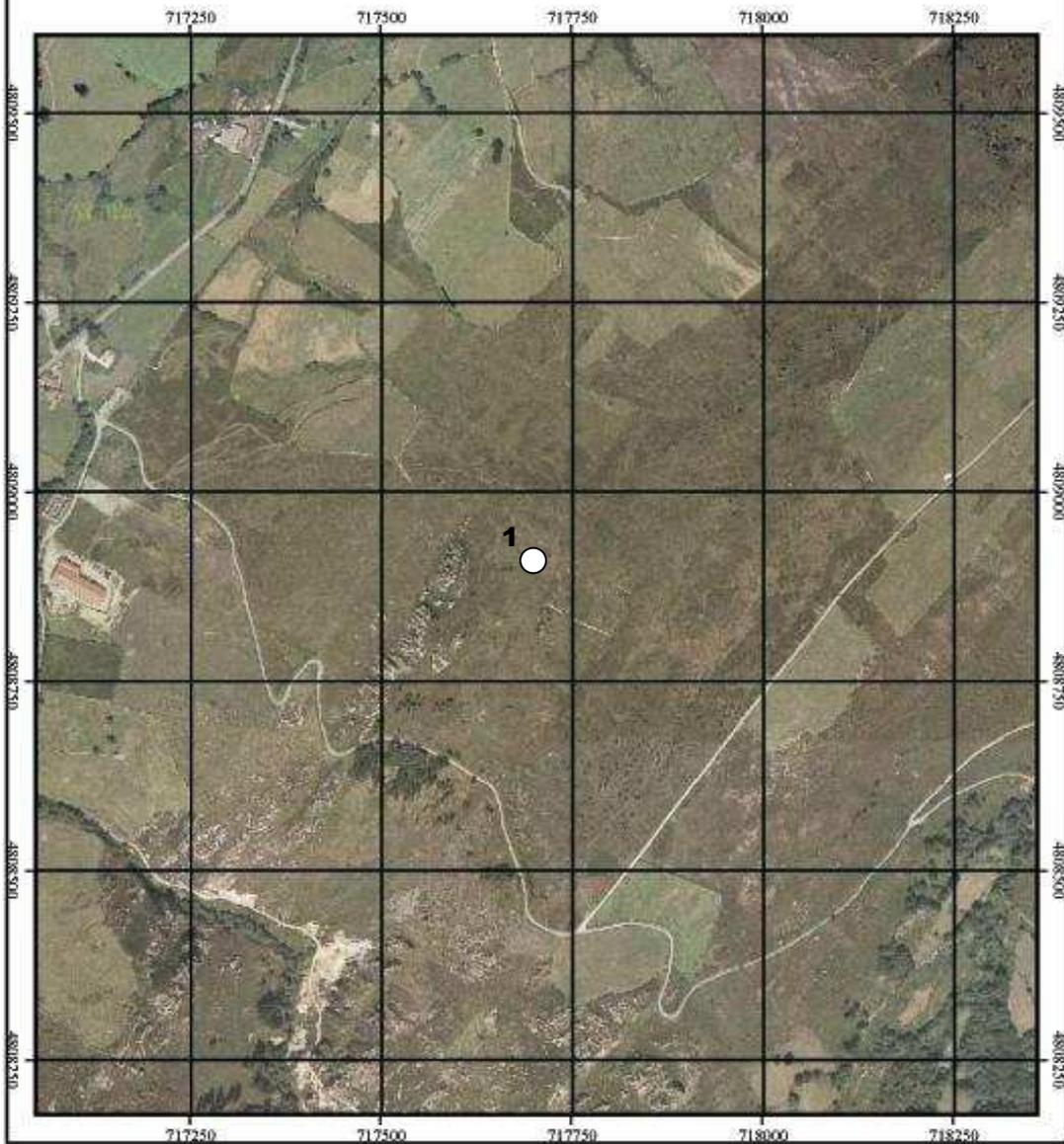
SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

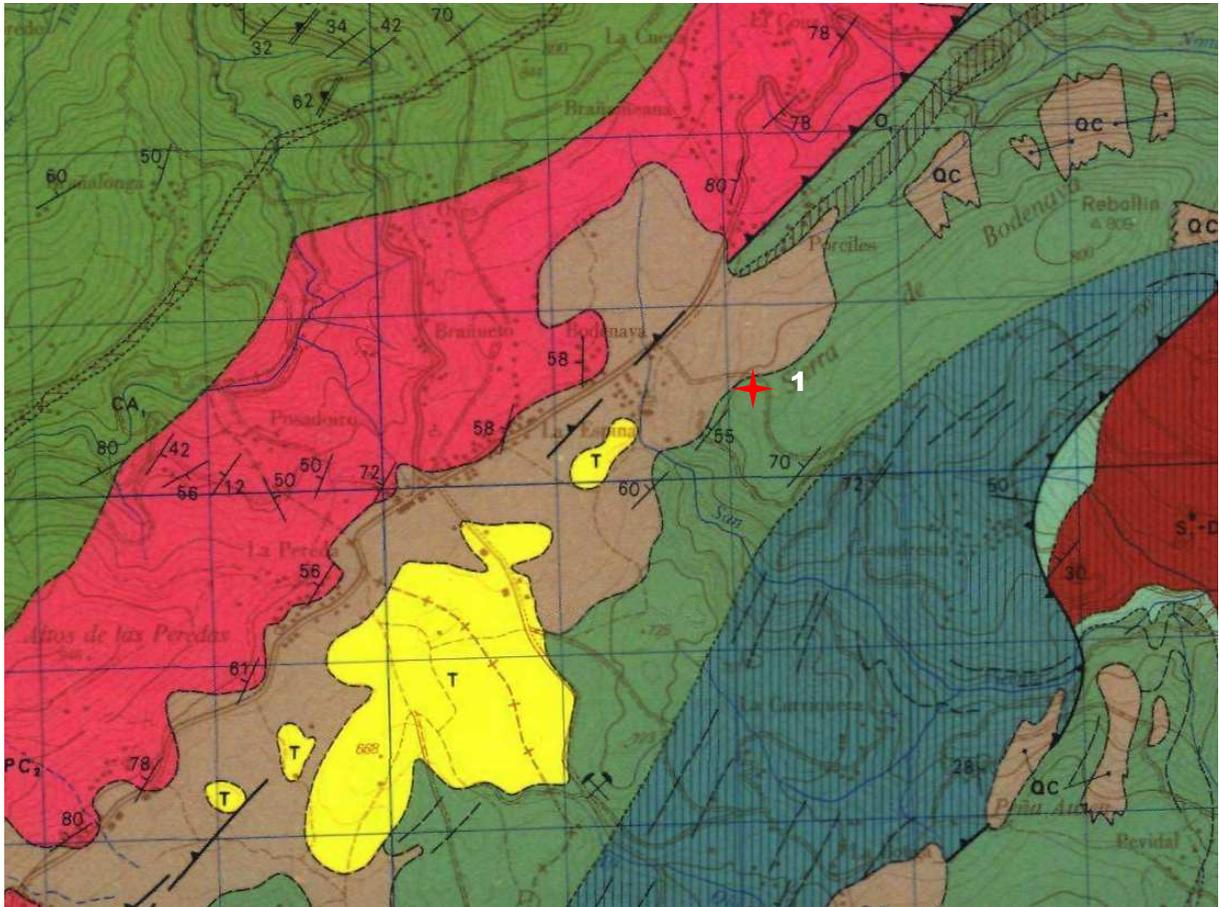
HUSO 29

ESCALA 1: 7500

FECHA DE IMPRESION 28.08.2007



4. Resultados



Mapa geológico (Julivert Casaguada et al., 1975), esc. aprox. 1/50.000.

Qc: Coluviones y suelos (Cuaternario).

T: Arenas, cantos y arcillas (Terciario).

O1: Cuarcita de Barrios (Ordovícico).



Figura 11.- Aspecto del desmonte de preparación de la capa.



Figura 12.- Extracción del material mediante retroexcavadora (observese, en la parte superior de la fotografía, la presencia de los generadores eólicos que cubren la parte superior del relieve).

EMPRESA: Arcillas y Feldespatos de Río Pirón - Grupo SAMCA

LOCALIDAD

Tamame de Sayago (Zamora).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Tamame de Sayago.

COORDENADAS

$X_1 = 255100$ $Y_1 = 4578166$ $Z_1 = 820$ Huso = 30

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 424 (Almeida).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Se trata de un material caolínico, muy blanco, que se puede interpretar como un depósito de alteración de un granito de dos micas, de grano medio, sobre el que se apoya.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

Granito de Figueruela de Sayago.

MUESTREO

Muestra 1: Se trata de la muestra AR-35(arcilla blanca).



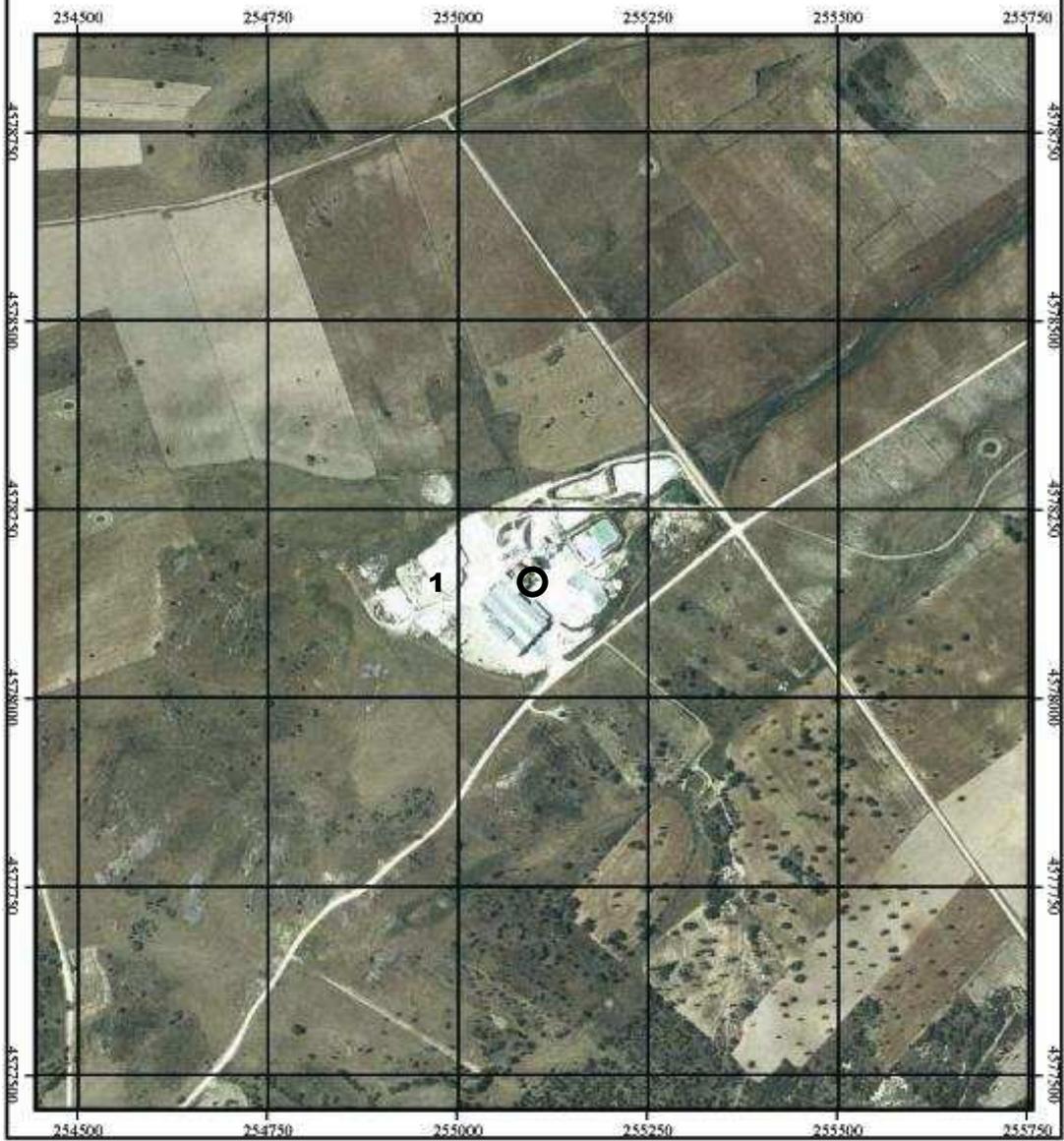
SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

HUSO 30

ESCALA 1:7500

FECHA DE IMPRESION 28/08/2007



4.3.1.2 Arcillas con índice de blancura: medio

EMPRESA: MIRESA

LOCALIDAD

Beceite (Teruel).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Valleta de Serrado.

COORDENADAS

$X_1 = 263391$ $Y_1 = 4525037$ $Z_1 = 550$ Huso = 31

$X_2 = 263859$ $Y_2 = 4525073$ $Z_2 = 546$ Huso = 31

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 496 (Horta de San Juan).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Arcillas y arenas caoliníferas de colores blancos, predominantemente, intercaladas con nivelillos de microconglomerado cuarcítico, muy subredondeado.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

Facies Utrillas (Albiense, Cretácico inferior).

MUESTREO

Muestra 1: Corresponde a la muestra Beceite-1 (la muestra posee un 60% SiO₂, 30% Al₂O₃ y 1,5-2% Fe₂O₃).

Muestra 2: Corresponde a la muestra Beceite-2 (la muestra posee un 60% SiO₂, 30% Al₂O₃ y 2-2,5% Fe₂O₃).



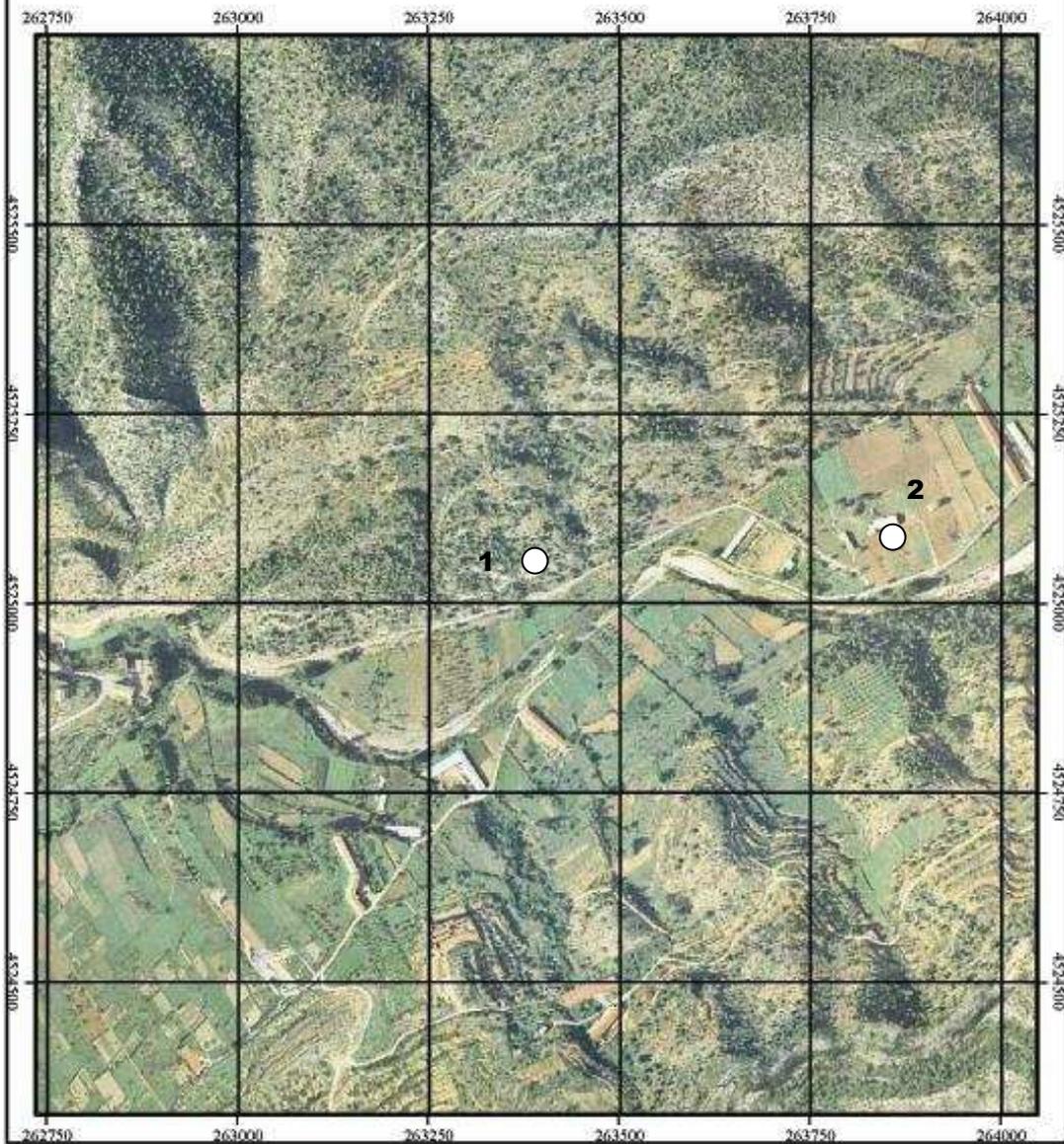
SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

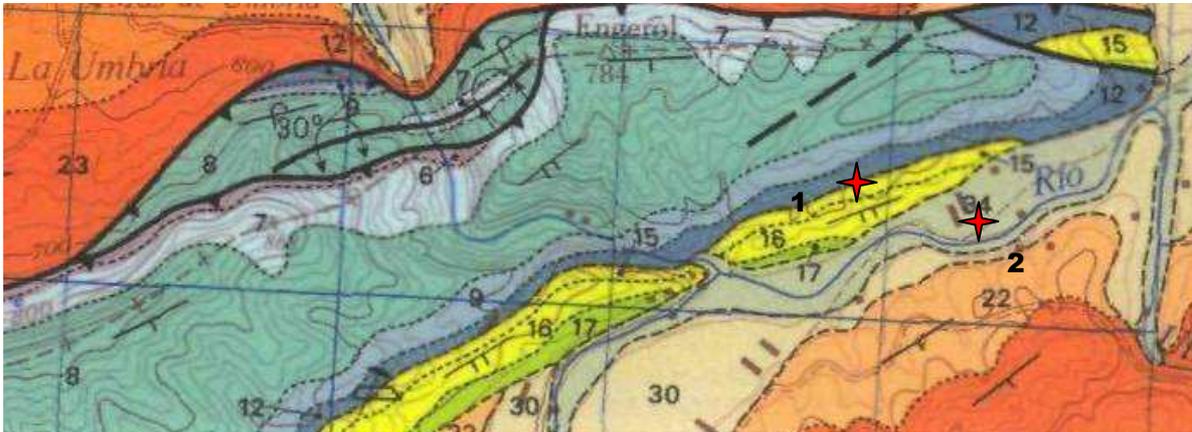
ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

HUSO 31

ESCALA 1:7500

FECHA DE IMPRESION 28/08/2007





Mapa geológico (García de Domingo et al., 1985), esc. aprox. 1/65.000.

15: Arenas y arcillas en Facies Utrillas (Albiense, Cretácico inferior).

4. Resultados



Figura 13.- Aspecto de uno de los frentes de extracción.



Figura 14.- Detalle del material extraído.

EMPRESA: MIRESA

LOCALIDAD

Cañada de Verich (Teruel).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Las Fajas / Mina "Teresa".

COORDENADAS

$X_1 = 743887$ $Y_1 = 4529071$ $Z_1 = 850$ Huso = 30

$X_2 = 743884$ $Y_2 = 4529103$ $Z_2 = 840$ Huso = 30

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 495 (Castelseras).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Arcillas y arenas caoliníferas de colores blancos, predominantemente, intercaladas con nivelillos de microconglomerado cuarcítico, muy subredondeado.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

Facies Utrillas (Albiense, Cretácico inferior).

MUESTREO

Muestra 1: Se trata de la muestra OST-1 (Oscura Mina Teresa).

Muestra 2: Se trata de la muestra GP-1 (Gris Pintada).



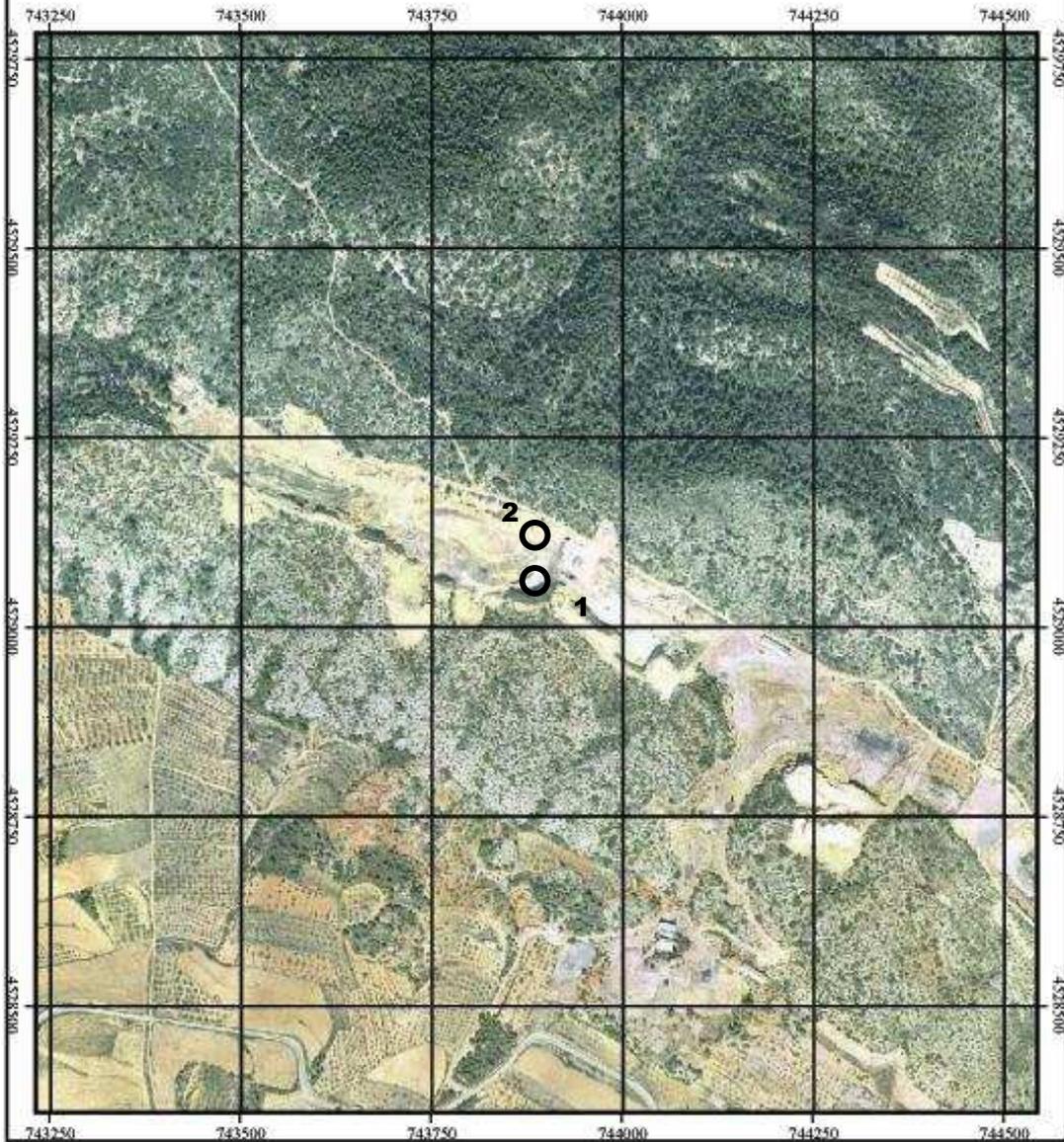
SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

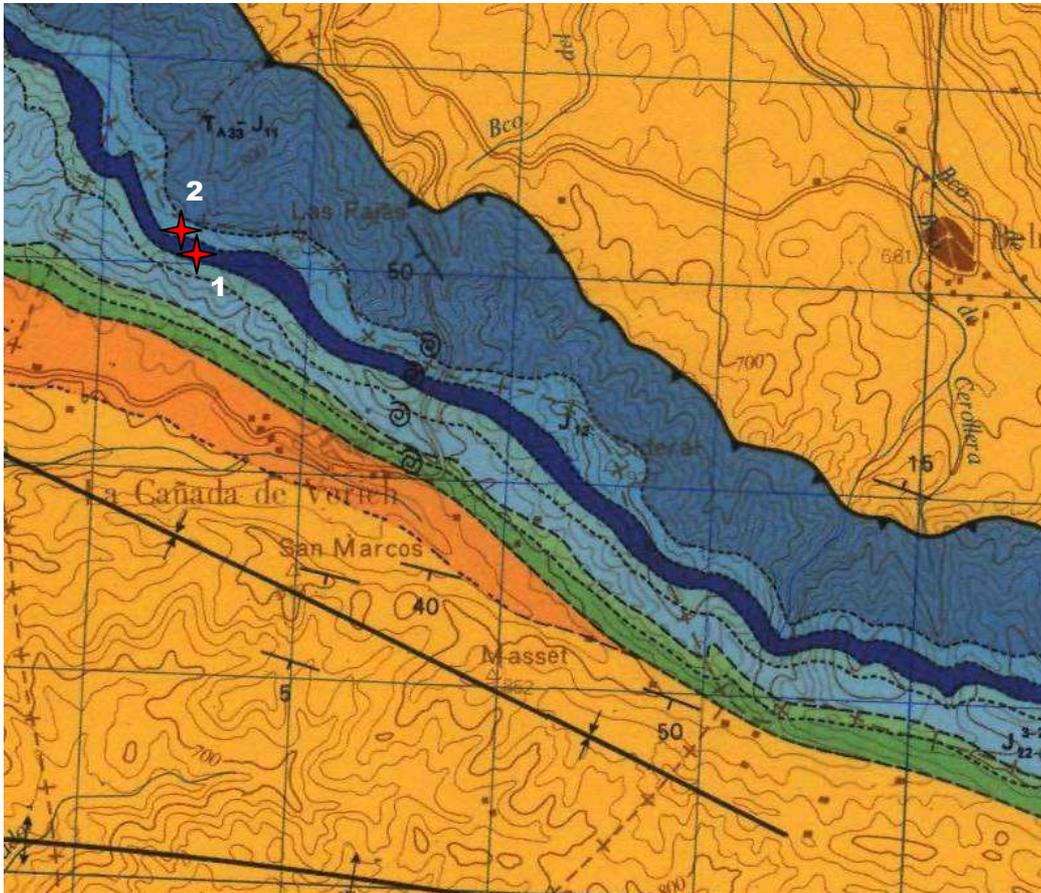
ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

HUSO 30

ESCALA 1:7500

FECHA DE IMPRESION 28/08/2007





Mapa geológico (Marin y Duval, 1977), esc. aprox. 1/33.000.

Cc16: Arcillas (Albiense, Cretácico inferior).



EMPRESA: Arcillas de Oliete, S. L.

LOCALIDAD

Monforte de Moyuela (Teruel).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Cabezo Santo.

COORDENADAS

$X_1 = 670070$ $Y_1 = 4545712$ $Z_1 = 970$ Huso = 30

$X_2 = 669966$ $Y_2 = 4545647$ $Z_2 = 968$ Huso = 30

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 466 (Moyuela).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Arcillas y arenas caoliníferas de colores blancos, predominantemente, intercaladas con nivelillos de microconglomerado cuarcítico, muy subredondeado.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

Facies Utrillas (Albiense, Cretácico inferior).

MUESTREO

Muestra 1: Corresponde a la muestra Malio Moyuela.

Muestra 2: Corresponde a la muestra C-1 (Calicata).



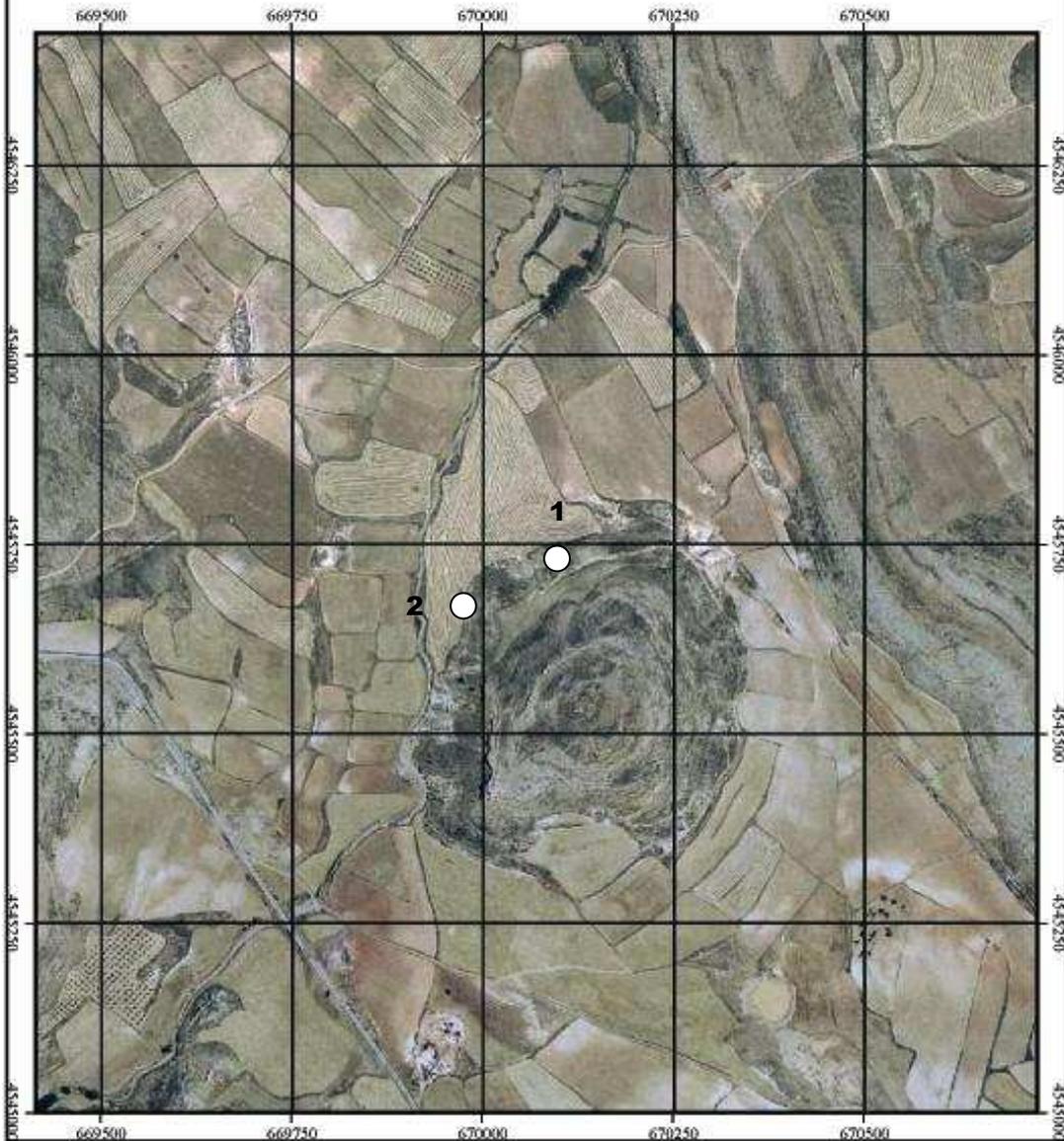
SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

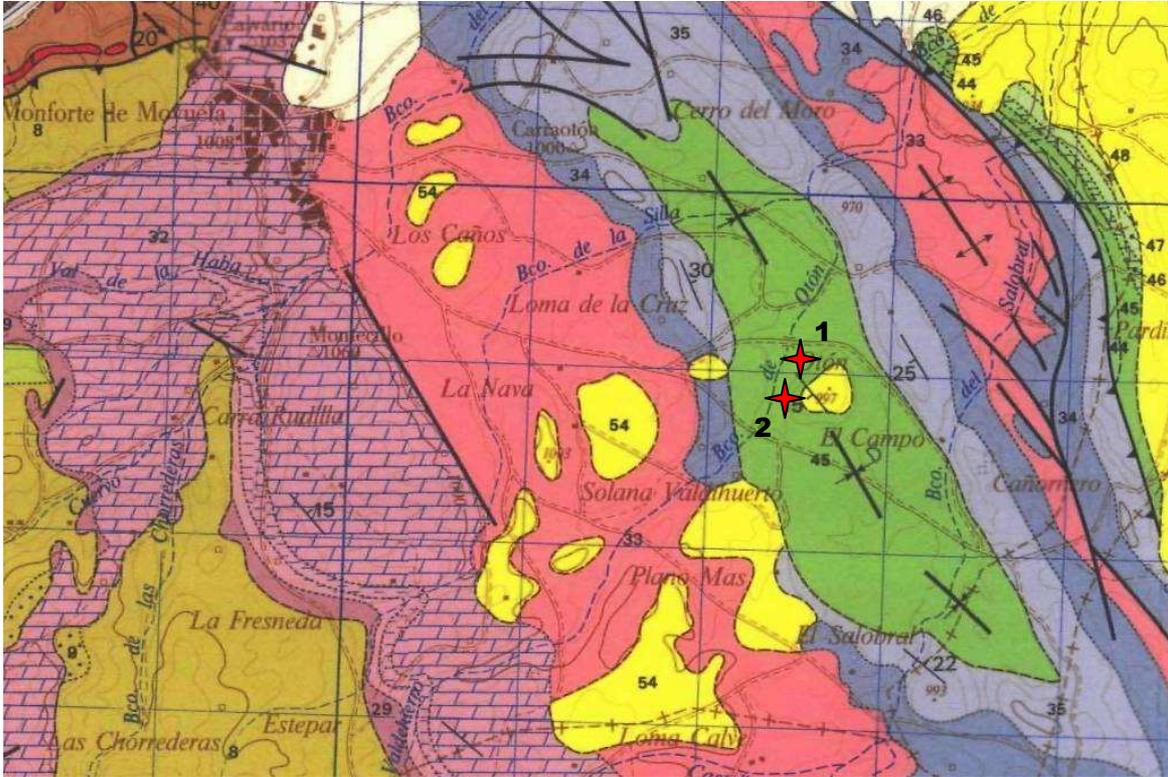
HUSO 30

ESCALA 1:7500

FECHA DE IMPRESION 28/08/2007



4. Resultados



Mapa geológico (Ruiz Fernández de la Lopa et al., 2000), esc. aprox 1/50.000.

45: Areniscas, arenas y arcillas en Facies Utrillas (Albiense, Cretácico inferior).



Figura 15.- Panorámica general del yacimiento.



Figura 16.- Detalle del muestreo del material.

EMPRESA: TODARCILLA, S.L.

LOCALIDAD

Mas de las Matas-Castellote (Teruel).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

C.E.: "EL PILÓN", nº 5.901 / Pílon de San Pedro.

COORDENADAS

$X_1 = 726851$ $Y_1 = 4524694$ $Z_1 = 740$ Huso = 30

$X_2 = 726823$ $Y_2 = 4524578$ $Z_2 = 730$ Huso = 30

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 494 (Calanda).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Arcillas lignitíferas, muy plásticas y con alto contenido en caolinita.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

Albiense, Cretácico inferior.

MUESTREO

Muestra 1: Correspondiente a la muestra de Mas de las Matas.

Muestra 2: Correspondiente a la muestra Mezcla (40% arcilla tipo; 60% "arenas").



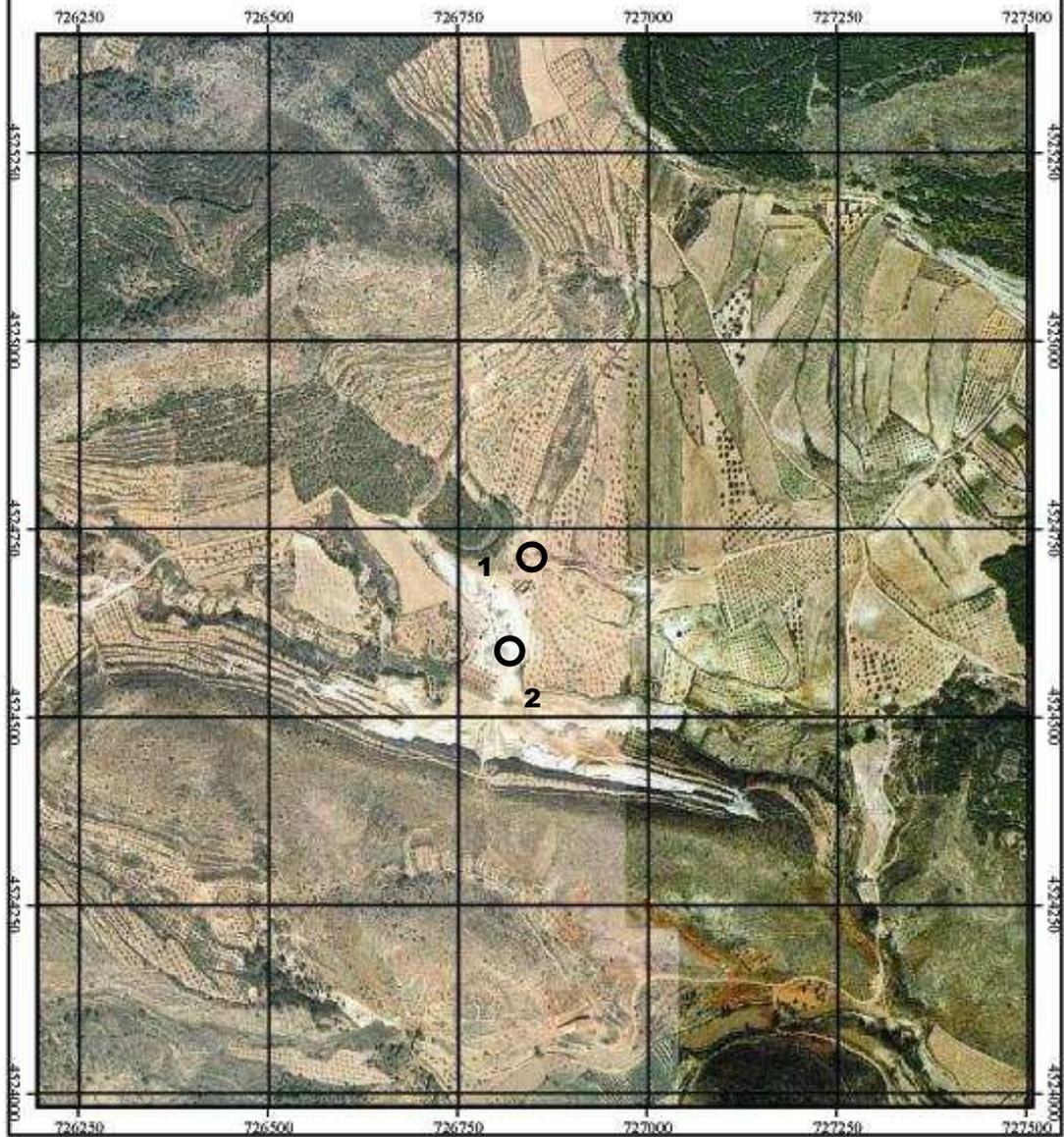
SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

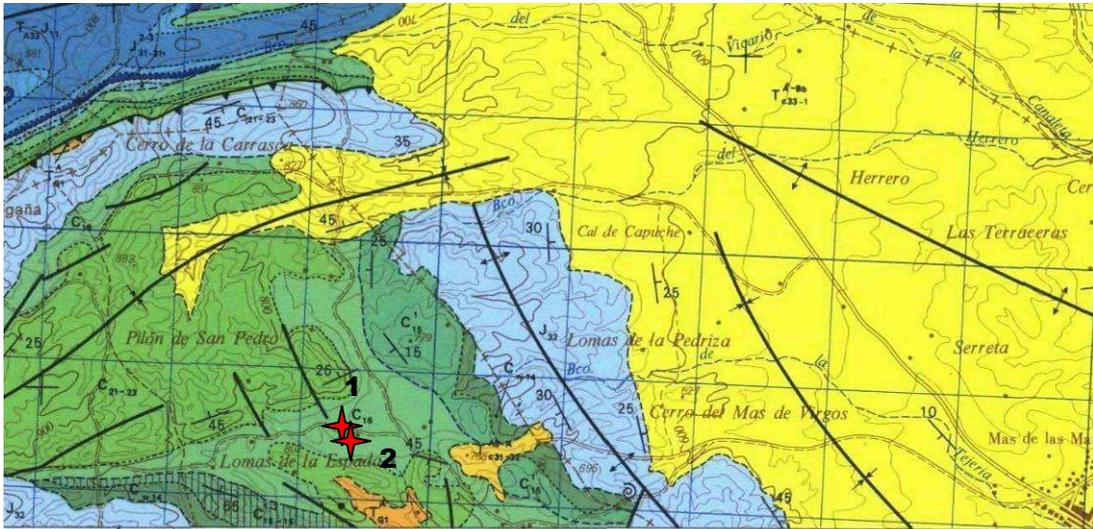
HUSO 30

ESCALA 1:7500

FECHA DE IMPRESION 28/08/2007



4. Resultados



Mapa geológico (Marin et al., 1977), esc. aprox. 1/65.000.

C16: Arcillas ligníferas (Albiense, Cretácico inferior).



Figura 17.- Presencia de capas de carbón junto a los paquetes de arcillas caoliníferas.



Figura 18.- Aspecto de detalle de uno de los frentes.

4.3.1.3 Arcillas con índice de blancura: bajo

EMPRESA: Arcillas de Oliete, S. L.

LOCALIDAD

Oliete (Teruel).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Mina "Pilar".

COORDENADAS

$X_1 = 701657$	$Y_1 = 4538018$	$Z_1 = 605$	Huso = 30
$X_2 = 701332$	$Y_2 = 4537838$	$Z_2 = 685$	Huso = 30
$X_3 = 701676$	$Y_3 = 4538078$	$Z_3 = 600$	Huso = 30
$X_4 = 701324$	$Y_4 = 4538046$	$Z_4 = 640$	Huso = 30

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 493 (Oliete).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Arcillas y arenas caoliníferas de colores blancos, predominantemente, intercaladas con nivelillos de microconglomerado cuarcítico, muy subredondeado.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

Facies Utrillas (Albiense, Cretácico inferior).

MUESTREO

Muestra 1: Corresponde a la muestra BI-1 (Blanco industrial).

Muestra 2: Corresponde a la muestra PI-1 (Pasta industrial).

Muestra 3: Corresponde a la muestra MG-1 (Malio gris).

Muestra 4: Corresponde a la muestra "Arena amarilla".



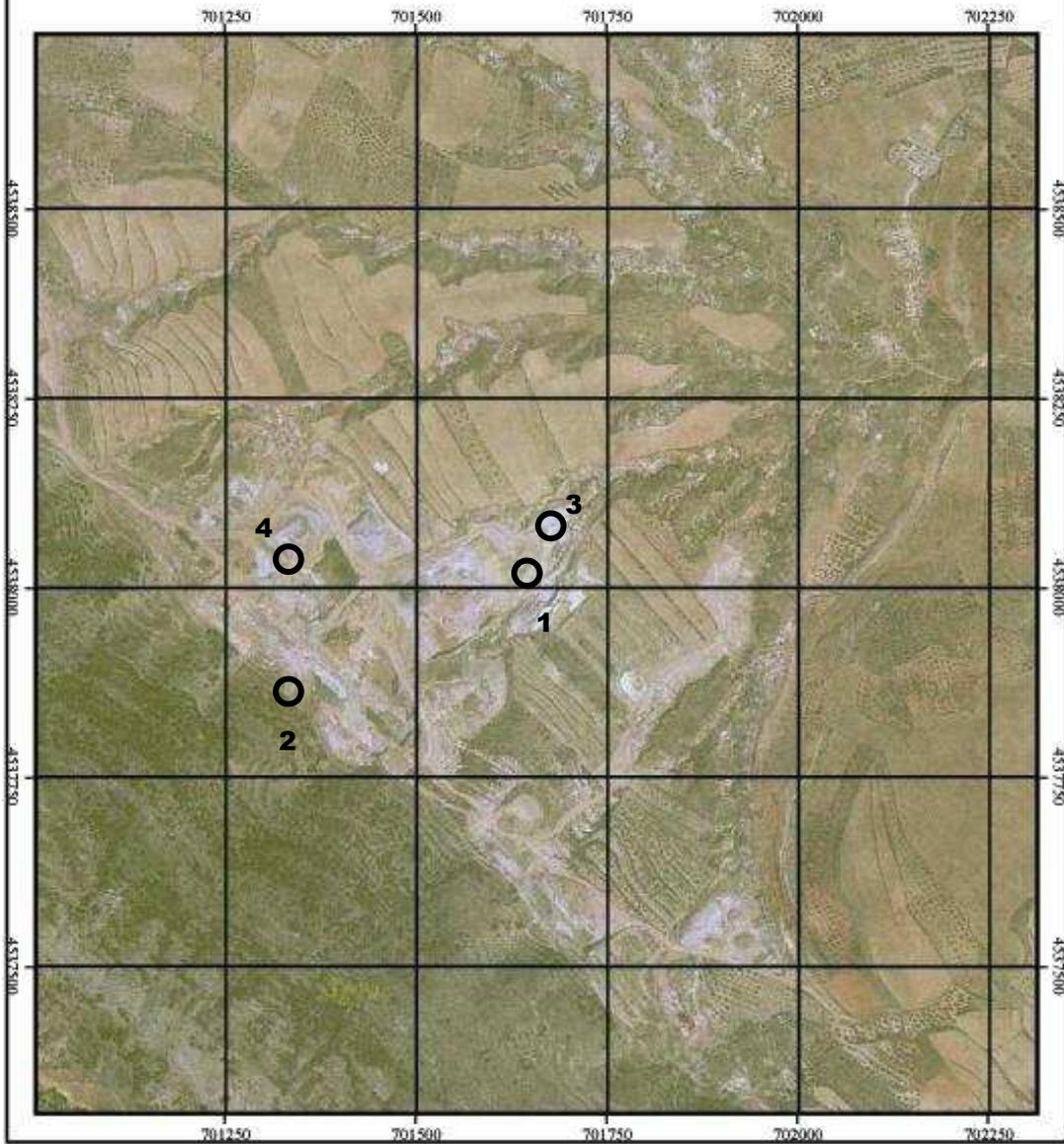
SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

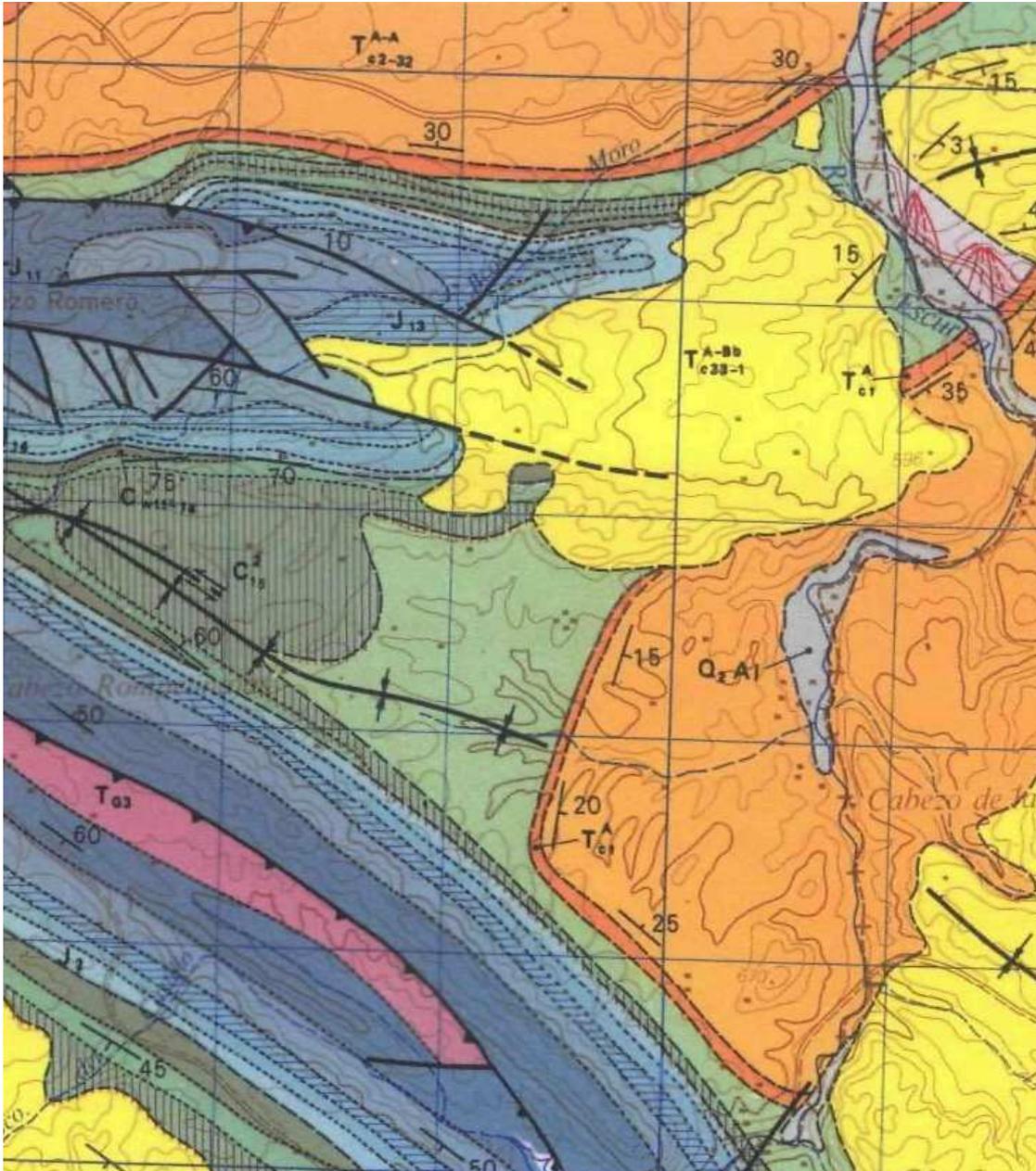
HUSO 30

ESCALA 1:7500

FECHA DE IMPRESION 28/08/2007



4. Resultados



Mapa geológico (Almela Samper et al., 1977), esc. aprox. 1/35.000.

C16: Facies Utrillas (Albiense, Cretácico inferior).



Figura 19.- Plaza de cantera.



Figura 20.- Detalle de uno de los frentes.



Figura 21.- Acopio y carga del material denominado "Arena amarilla".

EMPRESA: Arcillas Capilla, S. L.

LOCALIDAD

Castellote (Teruel).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

COORDENADAS

$X_1 = 730000$ $Y_1 = 4517810$ $Z_1 = 652$ Huso =30

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 519 (Aguaviva).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Arcillas versicolores y arenas violáceas. Los tramos más siliciclásticos presentan concreciones ferruginosas.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

Facies Utrillas (Albiense-Cenomaniense, Cretácico inferior).

MUESTREO

Muestra 1: Corresponde a la muestra de Arcilla blanca (compuesta por 2 bolsas).



SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

HUSO 30

ESCALA 1: 7500

FECHA DE IMPRESION 28/08/2007



EMPRESA: WBB ESPAÑA, S.A.

LOCALIDAD

Aliaga (Teruel).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

COORDENADAS

$X_1 = 692408$ $Y_1 = 4506351$ $Z_1 = 1.265$ Huso = 30

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 518 (Montalbán).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Arcillas caoliníticas y arenas ferruginosas de colores que varían del blanco a los tonos abigarrados, siendo estos más abundantes en los niveles arcósicos.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

Facies Utrillas (Albiense, Cretácico inferior).

MUESTREO

Muestra 1: Corresponde a la muestra AC-WBB (compuesta por 2 bolsas de arcilla blanca).



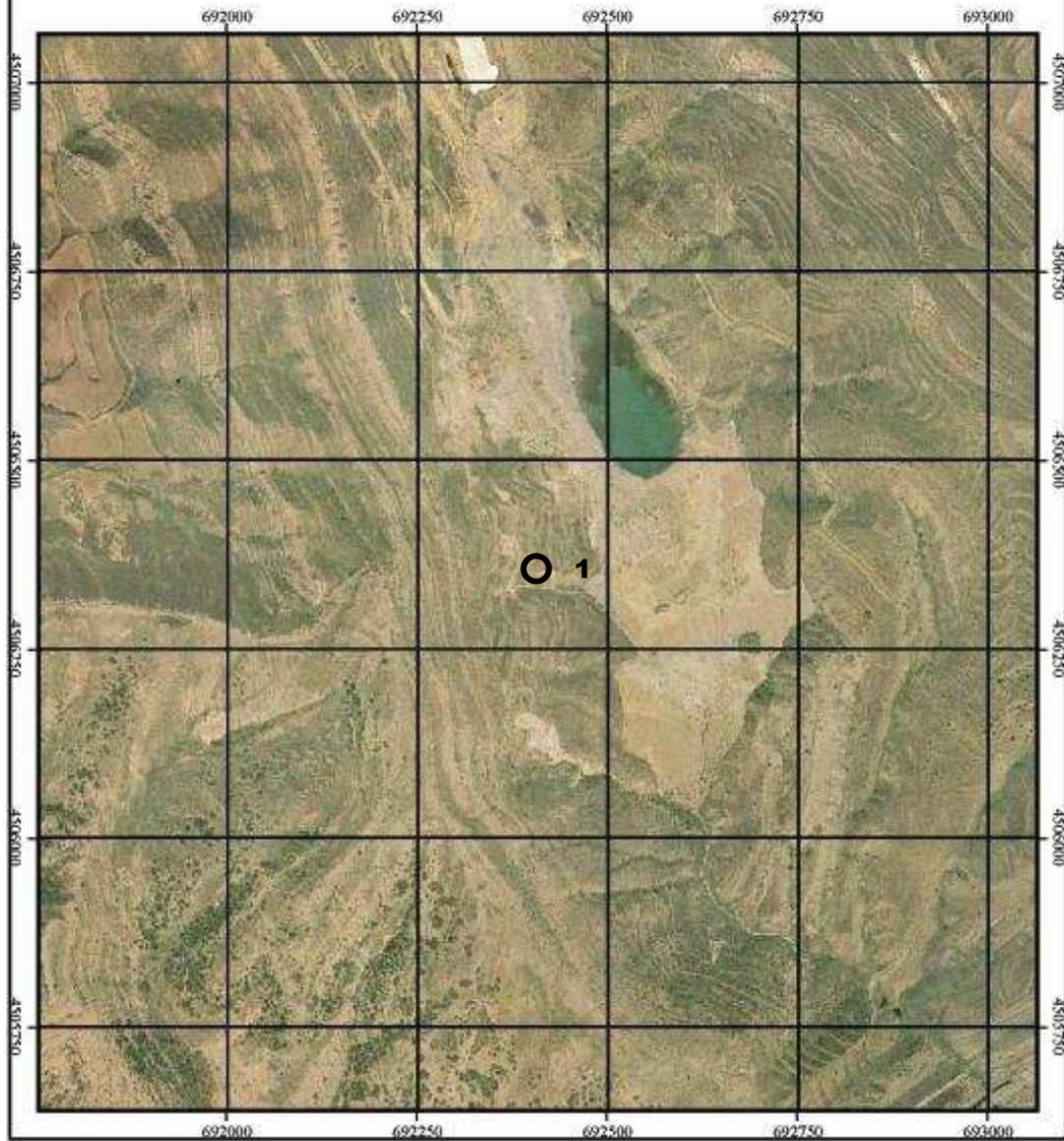
SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

HUSO 30

ESCALA 1: 7500

FECHA DE IMPRESION 28/08/2007



4.3.2 Pizarras sericíticas de extremadura

Durante el verano de 2006 se realizó la campaña de campo de valoración de yacimientos y muestreo de las diferentes tipologías de arcillas, habiéndose recogido un total de 1 muestra en 1 depósito.

A la vista del resultado mineralógico y tecnológico obtenidos se ha podido clasificar esta muestra, en función de su índice de blancura (ver Tabla 32), como:

- Arcilla con índice de blancura: Bajo

Tabla 32.- Relación de empresas muestreadas para arcillas sericíticas

MUESTRA	UTM (X)	UTM (Y)	UTM (Z)	HUSO
Blancura BAJA				
Josefa Sánchez Sánchez (Badajoz-1)	264795	4275369	660	30

4.3.2.1 Arcillas con índice de blancura: bajo

EMPRESA: Josefa Sánchez Sánchez

LOCALIDAD

Zalamea de la Serena (Badajoz).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

C.E. "LOS HERMANOS".

COORDENADAS

$X_1 = 264795$ $Y_1 = 4275369$ $Z_1 = 660$ Huso = 30

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 831 (Zalamea de la Serena).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Cuarcitas y areniscas cuarcítico-ferruginosas.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

Devónico inferior-medio.

MUESTREO

Muestra 1: Corresponde a la muestra de Arcilla blanca (sericítica).



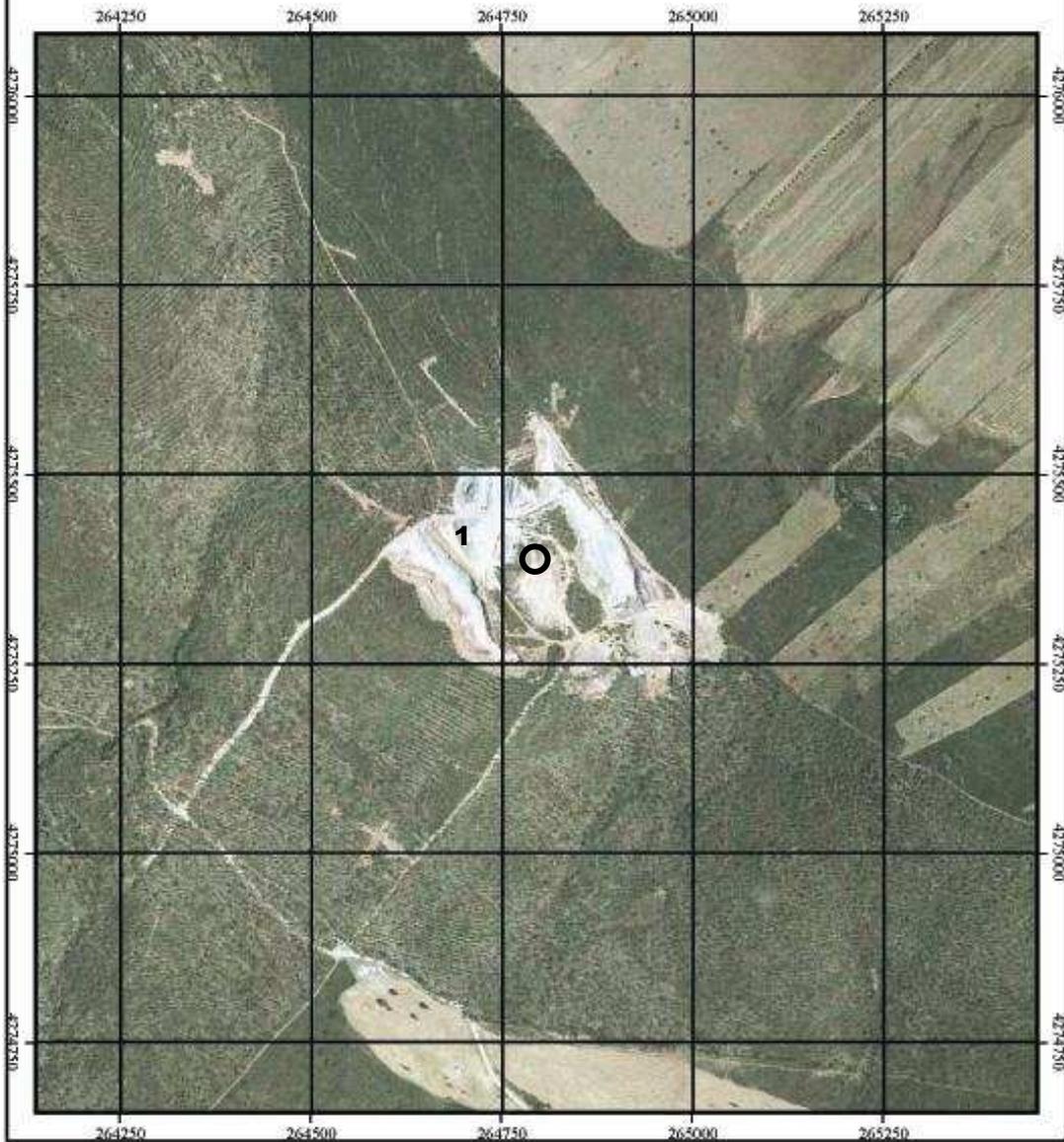
SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

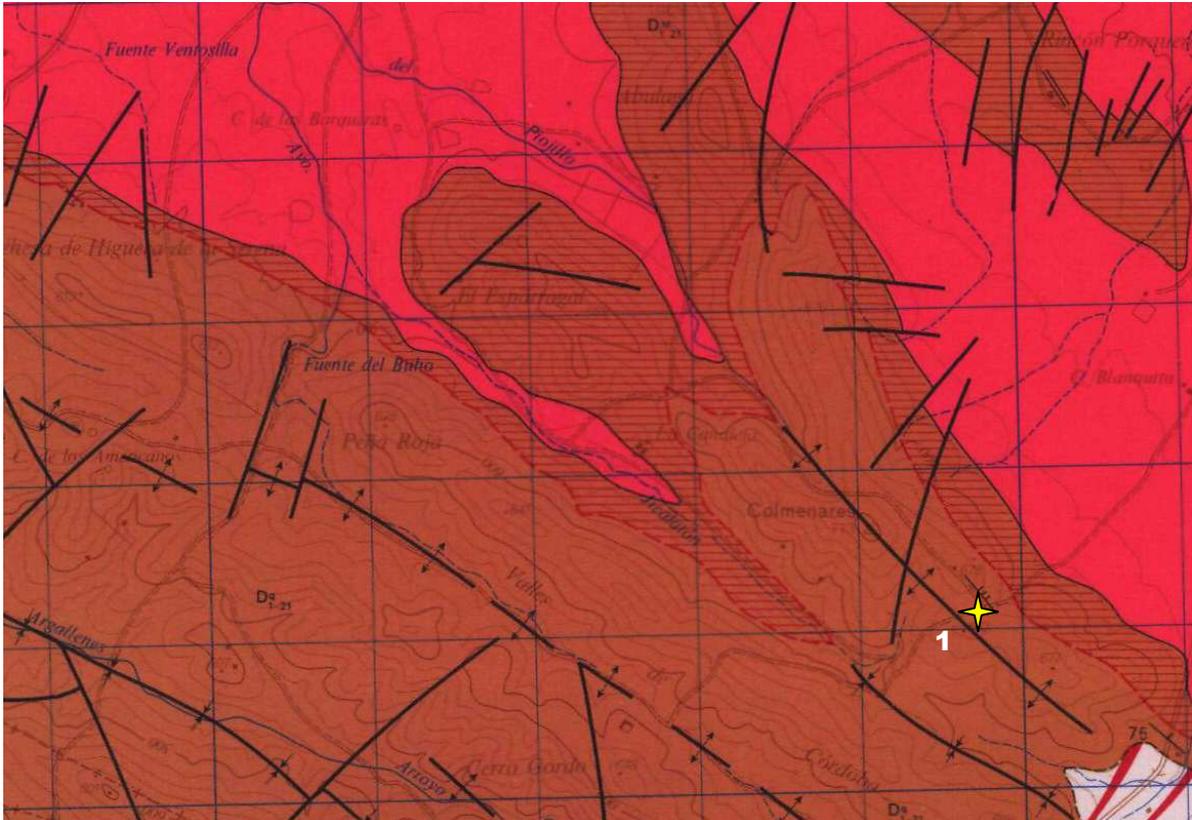
HUSO 30

ESCALA 1:7500

FECHA DE IMPRESION 28/08/2007



4. Resultados



Mapa geológico (Sánchez Cela y Gabaldón López, 1976), esc. aprox. 1/50.000.

Dq 1-21: Cuarcitas, areniscas cuarcítico ferruginosas (Devónico inferior-medio)

4.3.3 Feldespatos

Durante el verano de 2006 se realizó la campaña de campo de valoración de yacimientos y muestreo de las diferentes tipologías de feldespatos, habiéndose recogido un total de 14 muestras en 11 depósitos.

A la vista de los resultados mineralógicos y tecnológicos obtenidos se han podido clasificar estas muestras, en función de su composición mineralógica, en:

- Feldespatos Na
- Feldespatos Na-K
- Feldespatos K

Las empresas estudiadas y las muestras obtenidas quedan recogidas en la Tabla 33.

4. Resultados

Tabla 33.- Relación de empresas muestreadas para feldespatos

MUESTRA	UTM (X)	UTM (Y)	UTM (Z)	HUSO
Feldespatos Na				
Ostalé, S.A. Sevilla-1 y 2	255222	4202482	560	30
ALBITA, S.L. Lugo-1 y 2	642462	4823762	35	29
Feldespatos Na-K				
WBB ESPAÑA, S.A (Ávila-1)	313081	4489720	1117	30
Narrillos del Rebollar (Ávila-2)	335984	4502925	1522	30
Sanchorreja (Ávila- 2)	340192	4502593	1500	30
José Sanchís Penella, S.L. (Madrid-1)	450349	4513912	912	30
SARREAUS, S.L. Ourense-1 y 2	609877	4666075	610	29
Minera Sabater, S.L. (Córdoba-1 y 2)	284000	4218000	409	30
MIDUESA - Grupo SAMCA (Córdoba y Salamanca-1)	677809	4544235	270	29
Feldespatos K				
Caobar, S.A. (Guadalajara-1 y 2)	582706	4499006	1275	30
Explotaciones Cerámicas Españolas, S.A. (ECESA) (Guadalajara-3)	584336	4498627	1320	30
Minera Sabater, S.L. (Ourense-3)	611873	4652760	648	29

4.3.3.1 *Feldespato-Na*

EMPRESA: Oсталé, S.A.

LOCALIDAD

Cazalla de la Sierra (Sevilla).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Las Fajas / Mina "Teresa".

COORDENADAS

$X_1 = 255222$ $Y_1 = 4202482$ $Z_1 = 560$ Huso = 30

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 920 (Constantina).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Se trata de unas masas de aplitas y sienitas interestratificadas en las series cámbricas.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

Cámbrico inferior.

MUESTREO

Muestra 1: Feldespato filoniano.



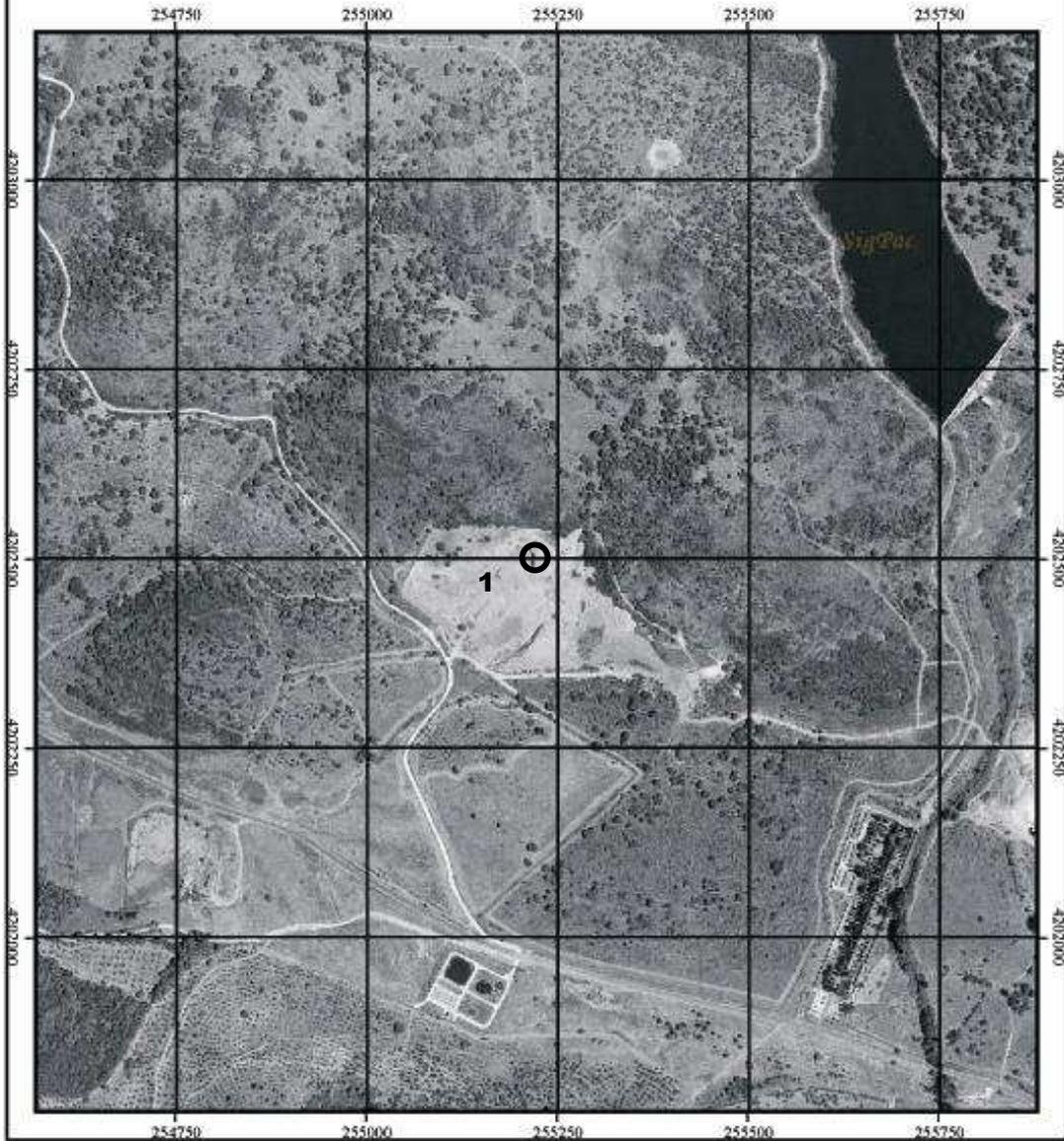
SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

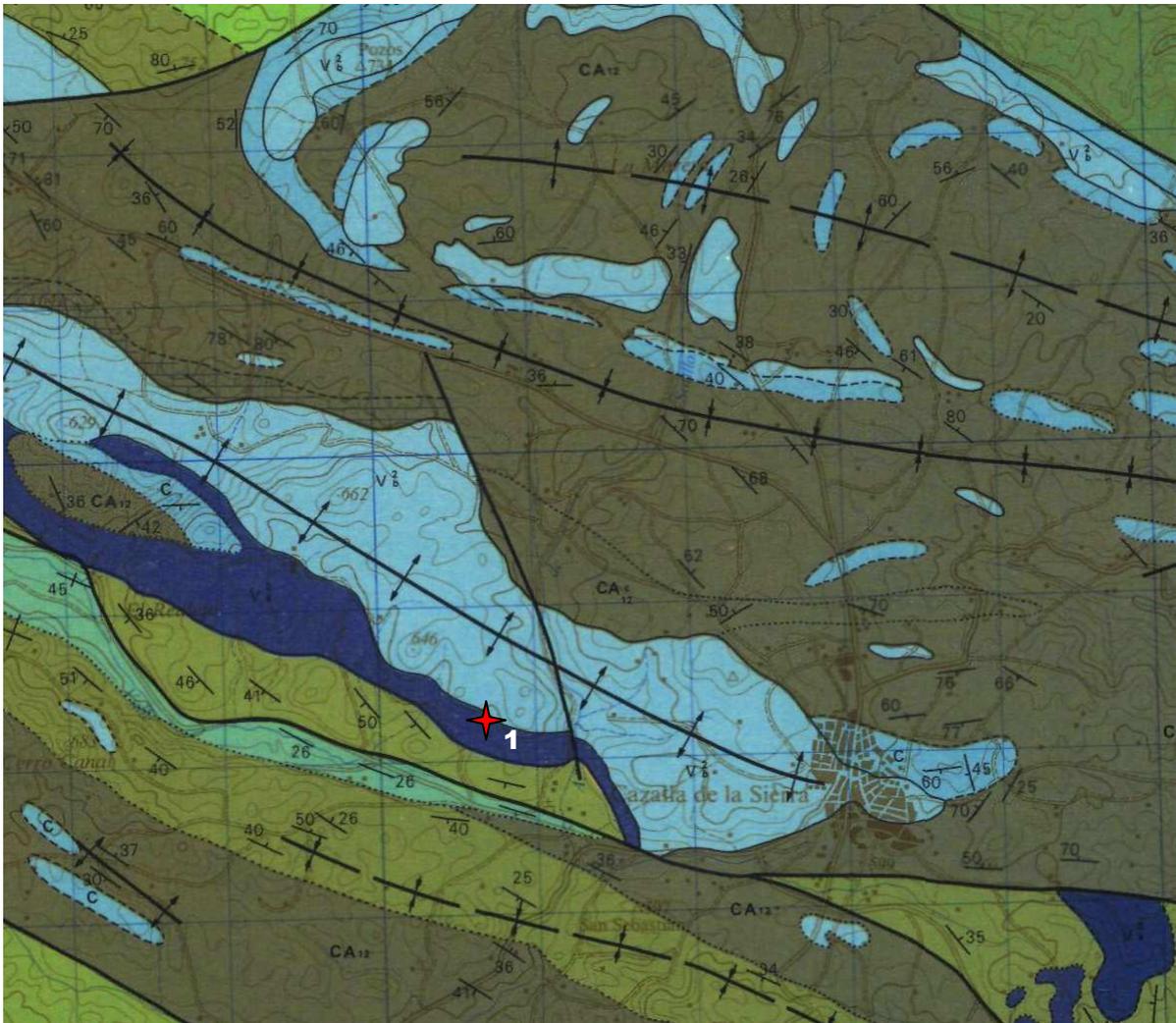
ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

HUSO 30

ESCALA 1:7500

FECHA DE IMPRESION 28/09/2007





Mapa geológico (Angoloti Apolinario et al., 1975), esc. aprox. 1/50.000.

V2a: Aplitas y sienitas monzoníticas. Cámbrico inferior.

EMPRESA: Basazuri, S.L. / Albita, S.L.

LOCALIDAD

Foz, Barreiros (Lugo).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Mina "Quinta".

COORDENADAS

$X_1 = 642462$ $Y_1 = 4823762$ $Z_1 = 35$ Huso = 29

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 9 (Foz).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

La albita está en superficie muy alterada (en sus 7-8 m más superficiales), pasando a un material de escasa resistencia y color amarillento a ocre, aunque con un alto contenido en sodio. Bajo la zona alterada se encuentra la albita fresca (facies rosa), presentando un límite bastante neto.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

Esquistos y cuarzoesquistos, con intercalaciones irregulares de calizas dolomíticas, y cuarcitas.

Corresponde al tramo inferior de la Formación Candana (Cámbrico inferior).

MUESTREO

Muestra 1: Muestra en bruto.

Muestra 2: Muestra final.



SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

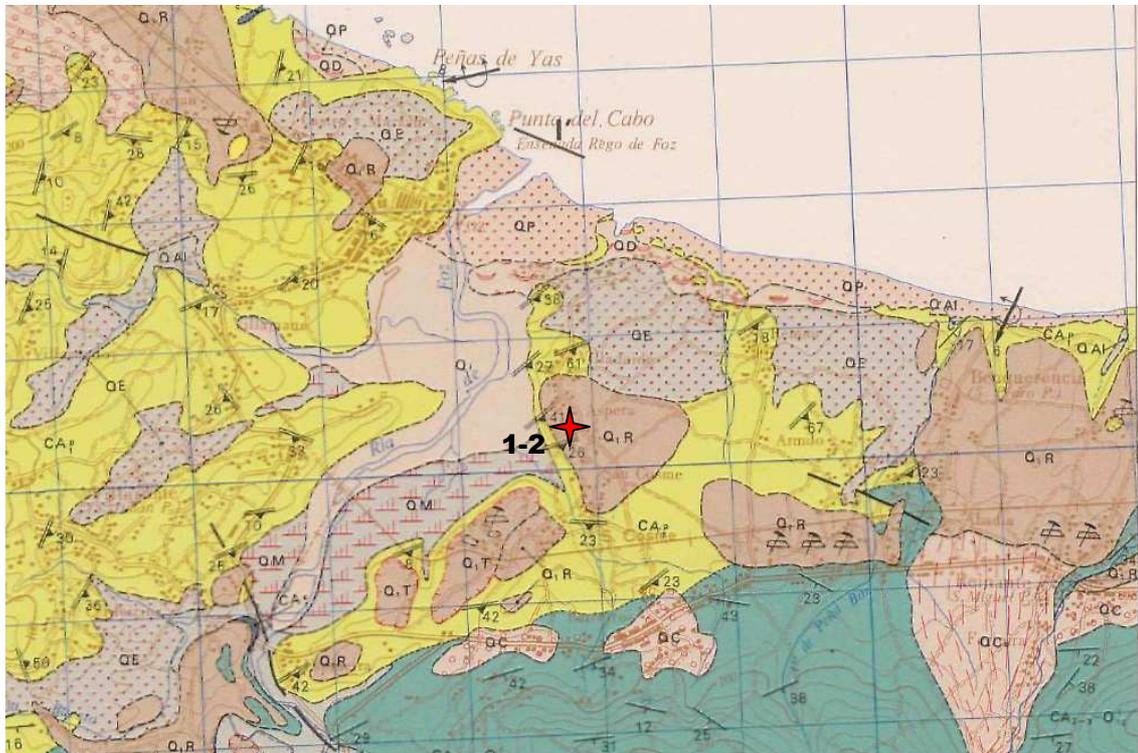
HUSO 29

ESCALA 1:7500

FECHA DE IMPRESION 28/08/2007



4. Resultados



Mapa geológico (Martínez Álvarez et al., 1975), esc. aprox. 1/60.000.

CA1P: Esquistos y cuarzoesquistos. Fm Cándana-tramo superior.

4.3.3.2 Feldespato-Na-K

EMPRESA: WBB ESPAÑA, S.A.

LOCALIDAD

Casas del Puerto de Villatoro (Ávila).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

C^a. Casas del Puerto de Villatoro-Bonilla de la Sierra (km 2,0) / Explotación abandonada (acceso, por un carril desde la C^a. Casas del Puerto de Villatoro-Pajarejos).

COORDENADAS

X₁ = 313081 Y₁ = 4489720 Z₁ = 1117 Huso = 30

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 529 (Santa María del Berrocal).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Granito alterado (Ihem granítico) con gruesos cristales (de hasta 2 x 6 cm), en una capa superficial de 3-5 m de potencia.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

MUESTREO

Muestra 1: Pt^o. Villatoro (arenas feldespáticas).



SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

HUSO 30

ESCALA 1: 7500

FECHA DE IMPRESION 28.08.2007

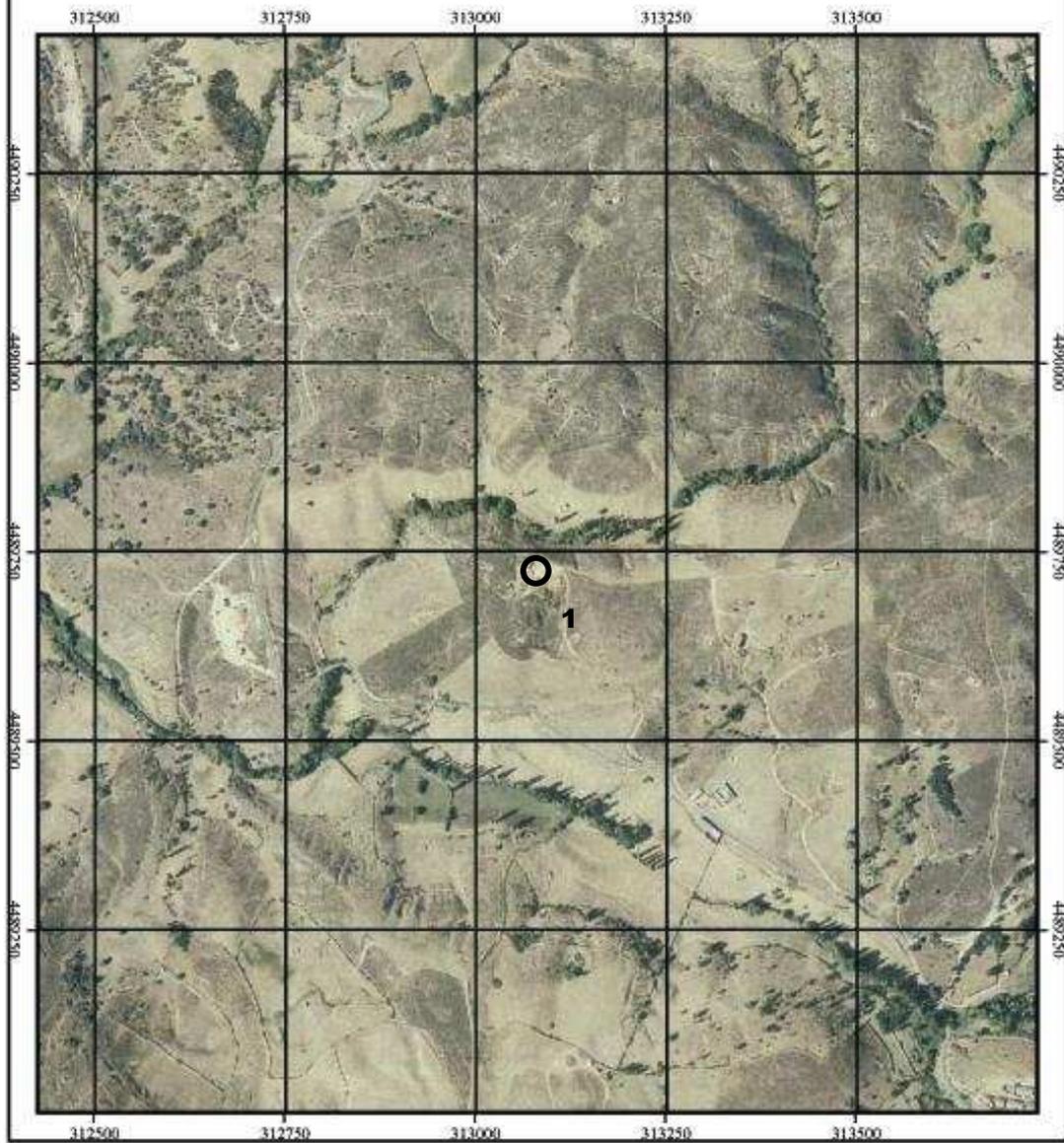




Figura 22.- Aspecto que presentan las antiguas labores realizadas para la evaluación del yacimiento en la década de los 80.



Figura 23.- Morfología de las labores antiguas.



Figura 24.- Detalle de la arena feldespática que aflora en la zona.

EMPRESA: Ávila-Sistema Central-1

LOCALIDAD

Narrillos del Rebollar (Ávila).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Valdillera.

COORDENADAS

$X_1 = 335984$ $Y_1 = 4502925$ $Z_1 = 1522$ Huso = 30

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 530 (Vadillo de la Sierra).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Dique aplítico.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

MUESTREO

Muestra 1: Muestra 18 (producto en bruto, sin machacar).



SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

HUSO 30

ESCALA 1: 7500

FECHA DE IMPRESION 26/09/2007

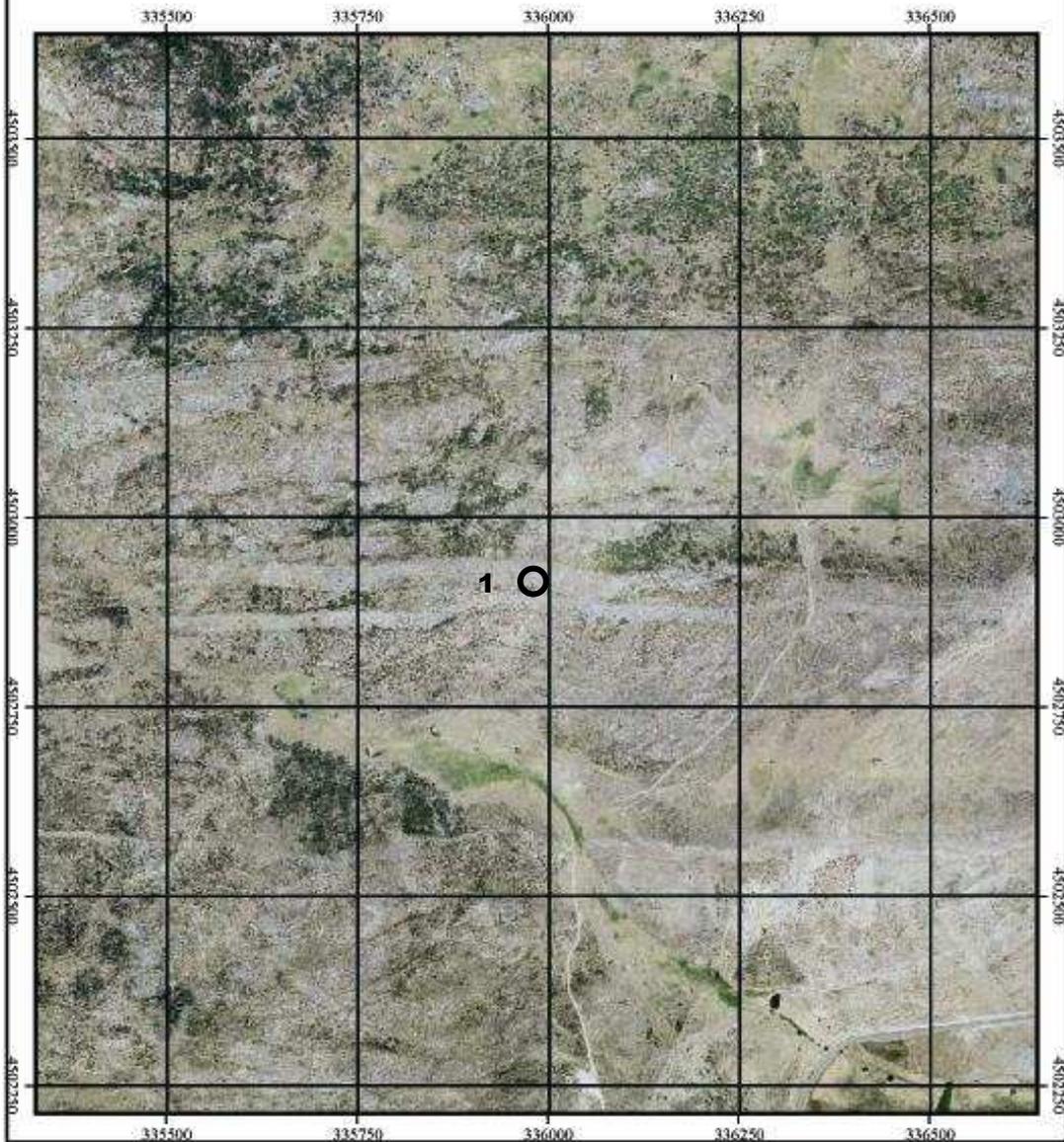




Figura 25.- En el horizonte, vista del relieve que da el dique principal.



Figura 26.- Detalle de la estructura del dique principal.

EMPRESA: Ávila-Sistema Central-2

LOCALIDAD

Sanchorreja (Ávila).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Los Riscos.

COORDENADAS

$X_2 = 340192$ $Y_2 = 4502593$ $Z_2 = 1500$ Huso = 30

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 530 (Vadillo de la Sierra).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Dique aplítico.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

MUESTREO

Muestra 2: Muestra 19 (producto en bruto, sin machacar).



SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

HUSO 30

ESCALA 1:7500

FECHA DE IMPRESION 28/08/2007

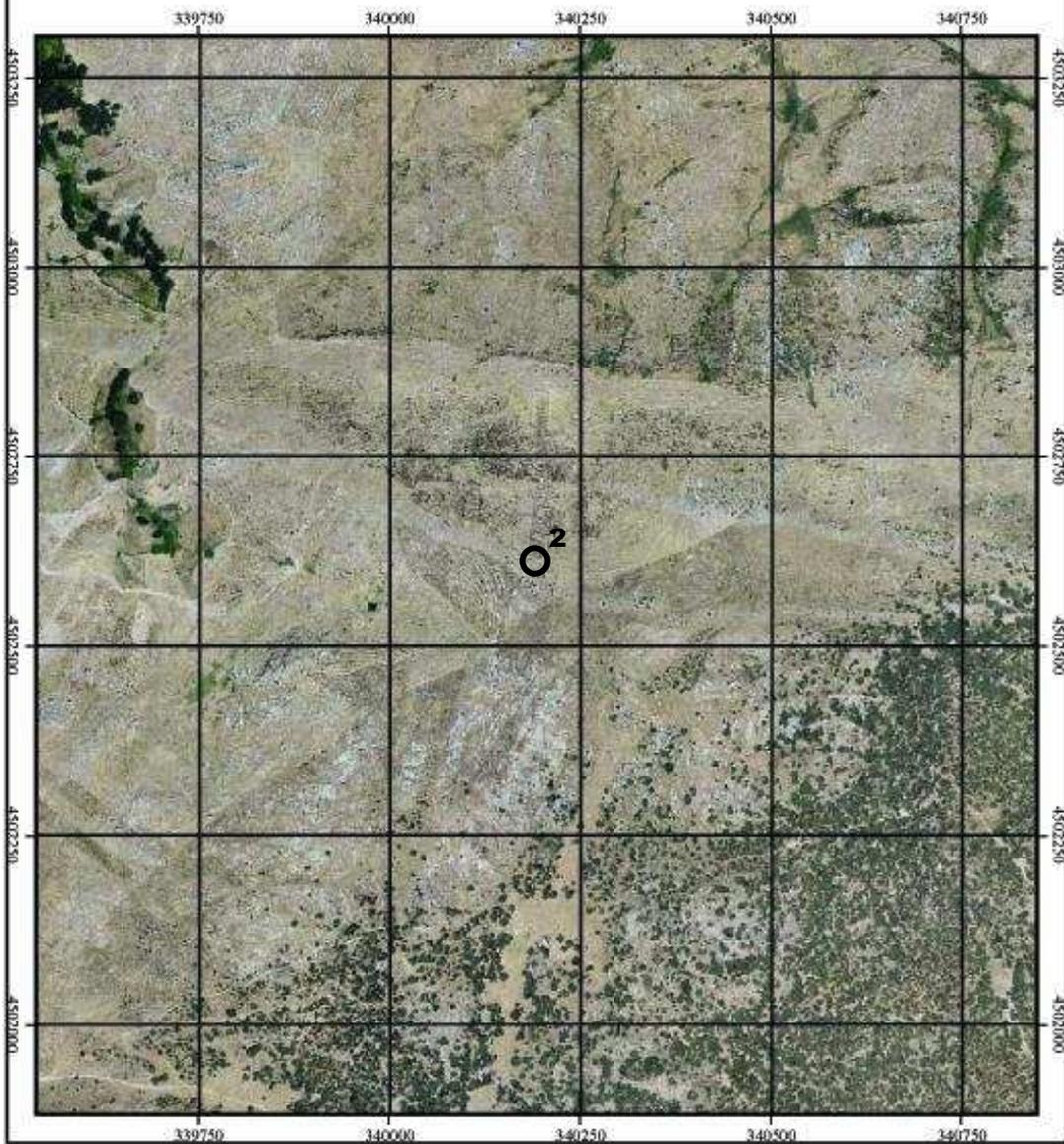




Figura 27.- Panorámica del dique que constituye el Cerro de los Riscos.

EMPRESA: José Sanchís Penella, S.L.

LOCALIDAD

El Vellón (Madrid).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Grupo Minero "Pepe".

COORDENADAS

$X_1 = 450349$ $Y_1 = 4513912$ $Z_1 = 912$ Huso = 30

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 509 (Torrelaguna).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Dique aplítico.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

MUESTREO

Muestra 1: Feldespato en bruto.



SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

HUSO 30

ESCALA 1:7500

FECHA DE IMPRESION 28/09/2007



EMPRESA: Feldespatos Sarreaus, S.L.

LOCALIDAD

Sarreaus (Ourense).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Mina "Beatriz".

COORDENADAS

$X_1 = 609877$ $Y_1 = 4666075$ $Z_1 = 610$ Huso = 29

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 264 (Ginzo de Limia).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Depósito cuaternario de gravas y arenas de grano medio a fino, con algo de arcilla, y niveles de arcilla de poco espesor y continuidad. Presenta una composición principalmente arcósica, rica en cuarzo y feldespato, con algo de moscovita.

El yacimiento ha sido investigado mediante sondeos, de hasta 20 m de profundidad. La zona fue investigada para lignitos, mediante sondeos más profundos.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

Depósitos aluviales de la Laguna de Antelea (Holoceno, Cuaternario).

MUESTREO

Muestra 1: Muestra en bruto.

Muestra 2: Muestra final.



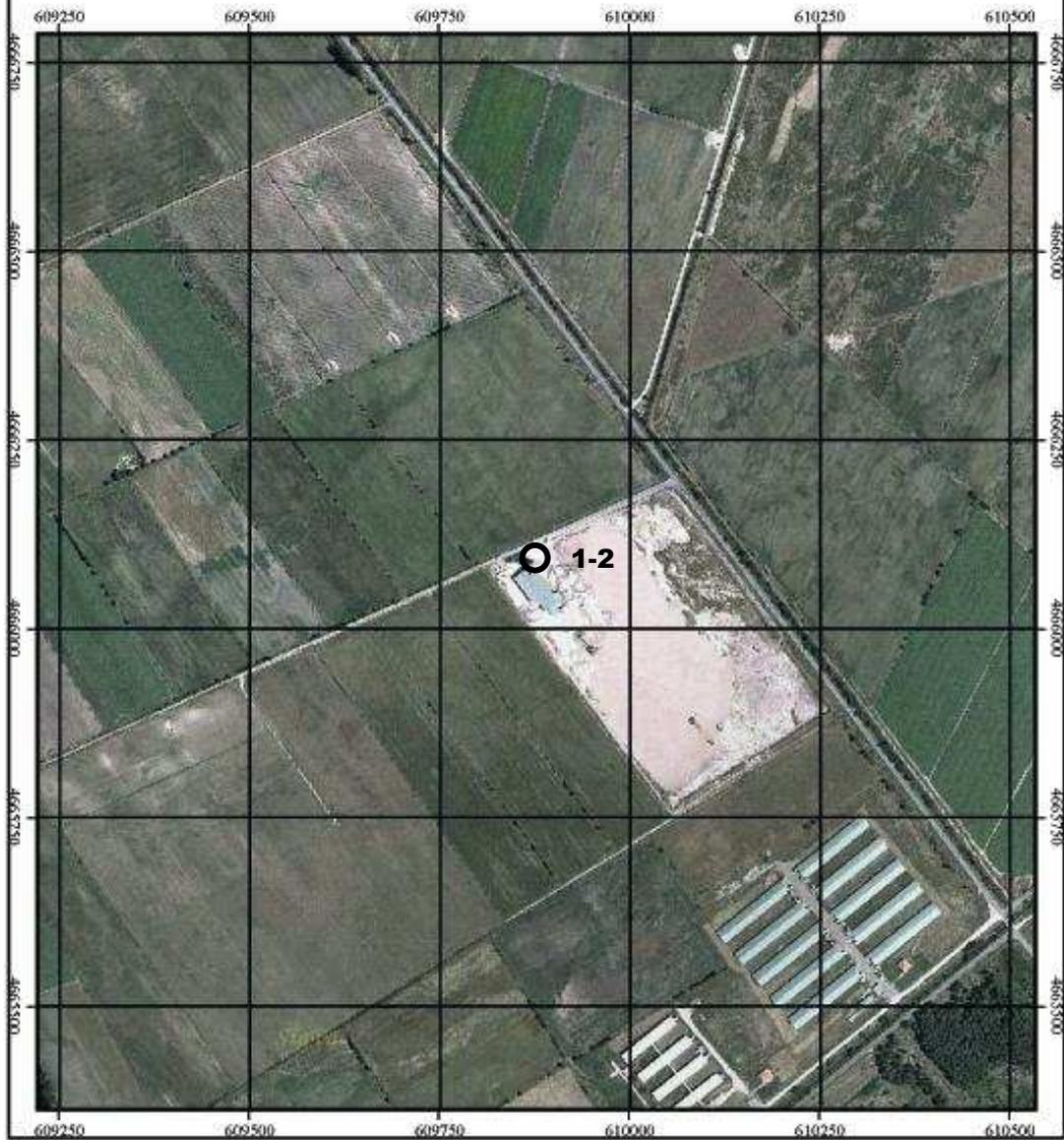
SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

HUSO 29

ESCALA 1:7500

FECHA DE IMPRESION 28/08/2007



4. Resultados



Mapa geológico (Chamón Cobos y Fernández Tomás, 1972), esc. aprox. 1/66.000.

QAL: Arenas (y arcillas) cuaternarias.



Figura 28.- Vista general de la explotación y de la planta.

EMPRESA: Minera Sabater, S.L.

LOCALIDAD

El Cabril (Córdoba).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Sierra Albarrana.

COORDENADAS

$X_1 = 284000$ $Y_1 = 4218000$ $Z_1 = 409$ Huso = 30

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 900 (La Cardenchoa).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Se trata de un dique pegmatítico con grandes cristales de feldespato.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

MUESTREO

Muestra 1: Muestra en bruto.



SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

HUSO

ESCALA

FECHA DE IMPRESION

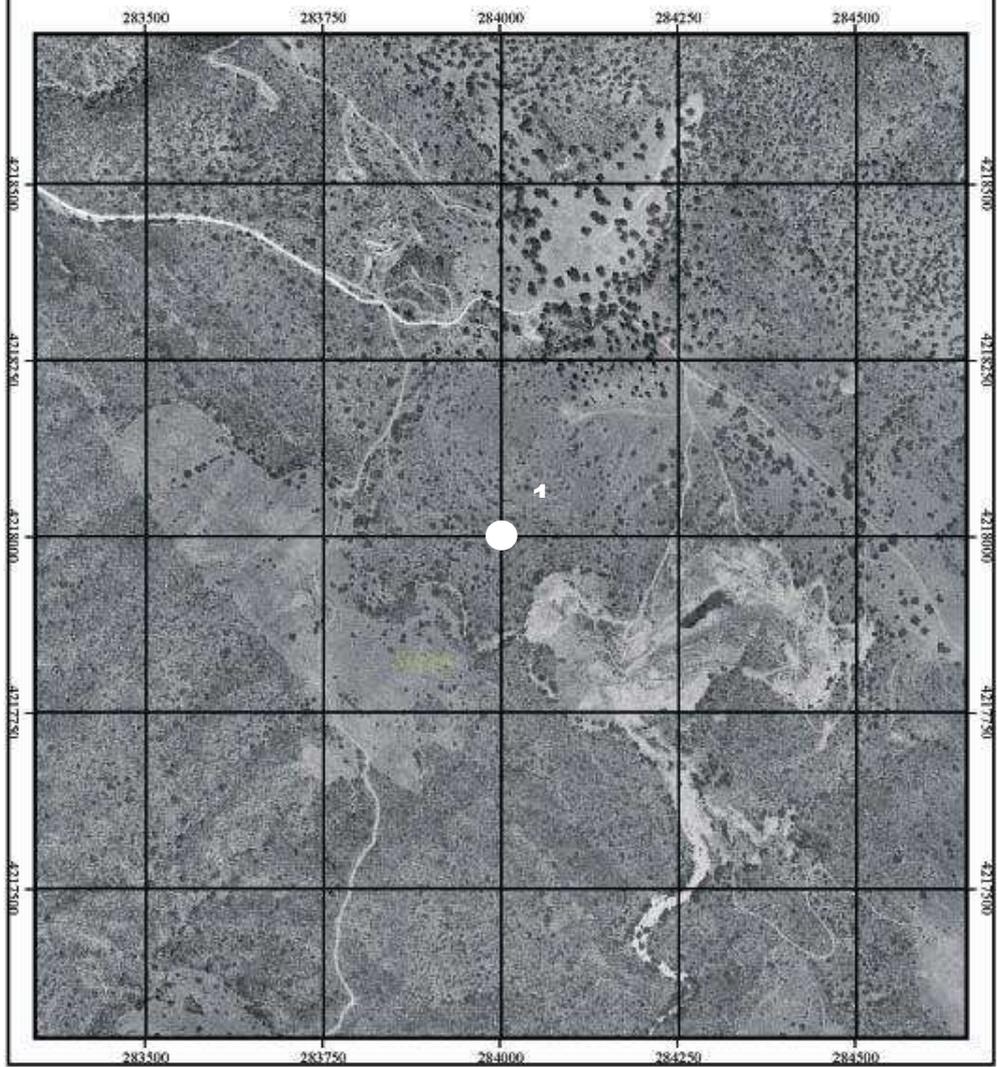




Figura 29.- Detalle del material que aparece, al abrir una calicata.

EMPRESA: SAMCA-Minera del Duero, S.A.

LOCALIDAD

La Fregeneda (Salamanca).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Castilmoro /Mina "La Fregeneda".

COORDENADAS

$X_1 = 677809$ $Y_1 = 4544235$ $Z_1 = 270$ Huso = 29

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 448 (Vilvestre).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Dique pegmatítico con cristales de feldespato de medios a gruesos.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

Pegmatitas y leucopegmatitas graníticas. Campo pegmatítico de La Fregeneda (Rocas filonianas).

MUESTREO

Muestra 1: Corresponde a la muestra FLY (Muestra final)



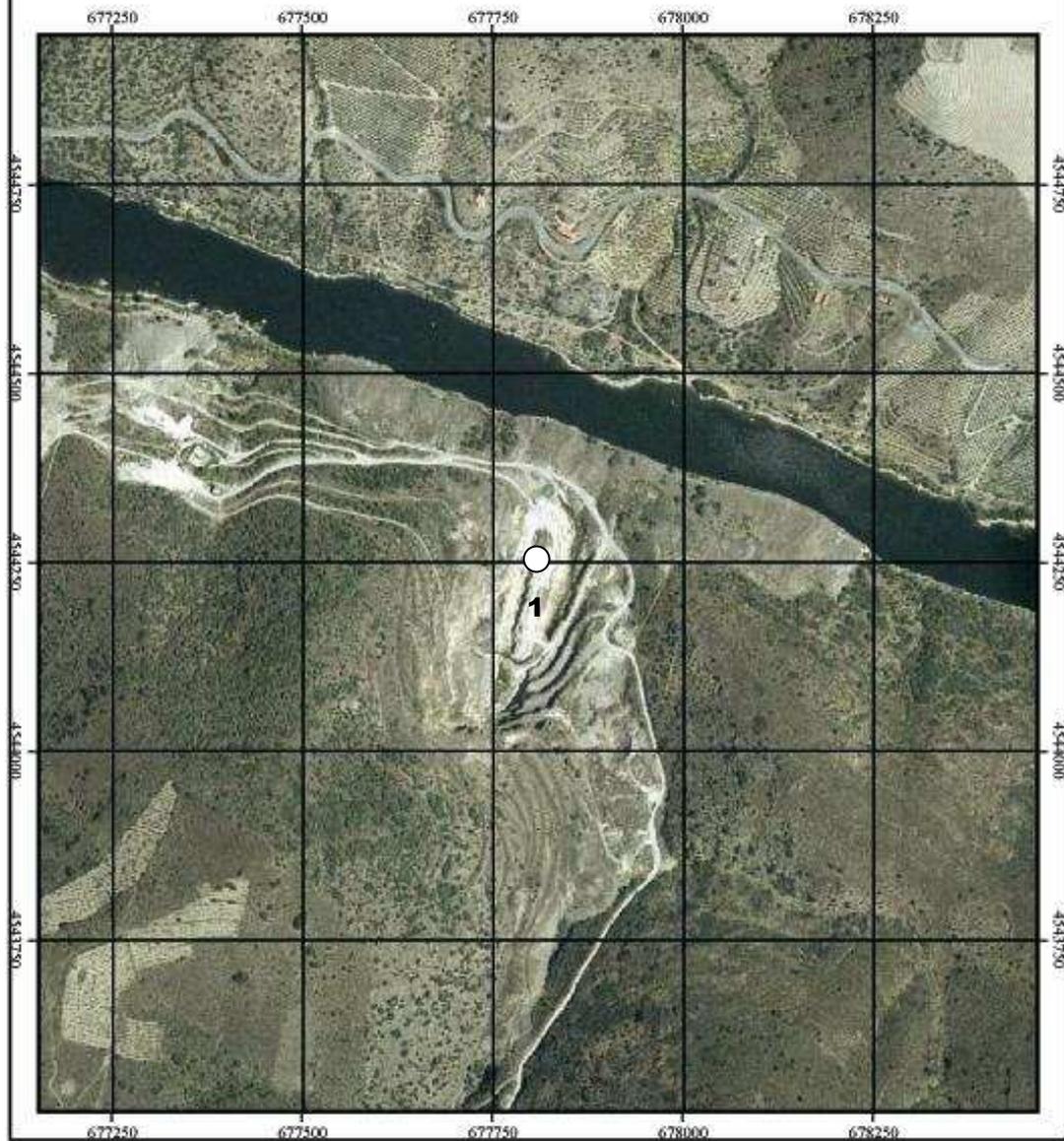
SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

HUSO 29

ESCALA 1: 7500

FECHA DE IMPRESION 28/08/2007



4.3.3.3 *Feldespato-K*

EMPRESA: Caobar, S.A.

LOCALIDAD

Poveda de la Sierra (Guadalajara).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Grupo Minero "María José".

COORDENADAS

$X_1 = 582706$ $Y_1 = 4499006$ $Z_1 = 1275$ Huso = 30

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 539 (Peralejo de las Truchas).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Arenas, arenas caoliníferas y arcillas caoliníferas.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

Facies Utrillas (Albiense, Cretácico inferior).

MUESTREO

Muestra 1: Arenas feldespáticas (muestra en bruto, sin tratar).



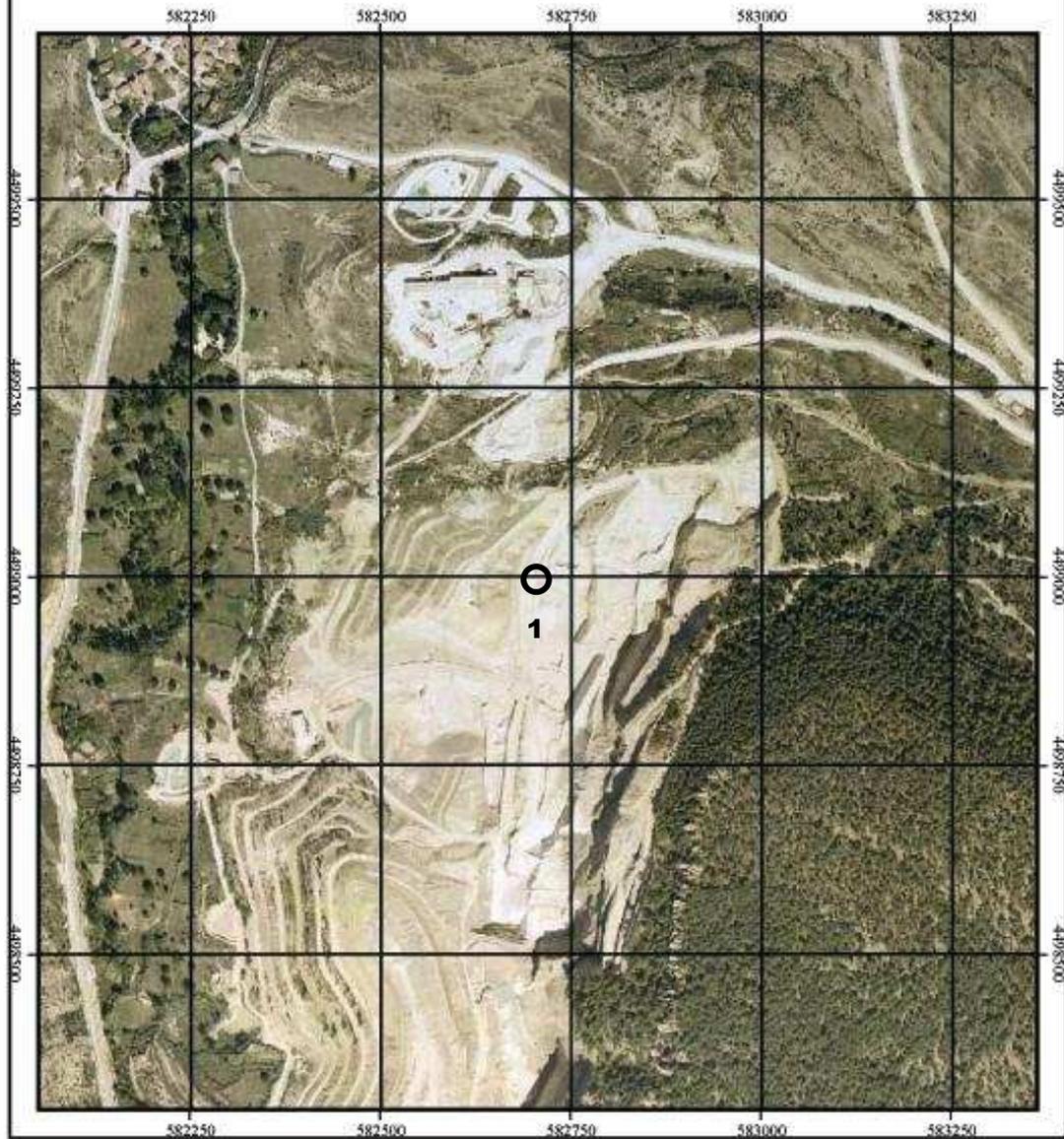
SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

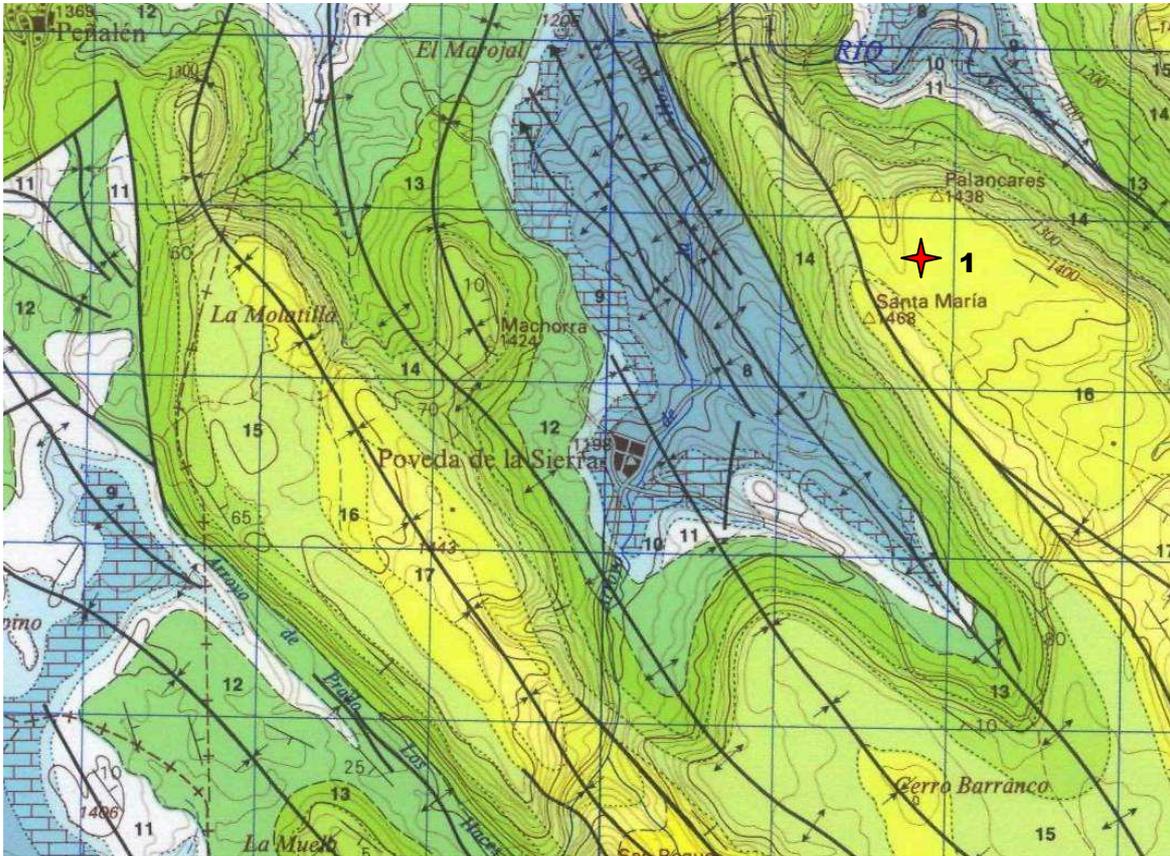
HUSO 30

ESCALA 1:7500

FECHA DE IMPRESION 28/08/2007



4. Resultados



Mapa geológico (Álvaro López et al., 1989), esc. aprox. 1/46.000.

13: Arenas, arenas caoliníferas y arcillas. Fm. Utrillas (Albiense, Cretácico inferior).

12: Conglomerados, areniscas, arcillas y calizas. Facies Weald (Barremiense-Aptiense inferior, Cretácico inferior).

EMPRESA: Explotaciones Cerámicas Españolas, S.A. (ECESA)

LOCALIDAD

Poveda de la Sierra (Guadalajara).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Mina "Nuria".

COORDENADAS

$X_1 = 584336$ $Y_1 = 4498627$ $Z_1 = 1320$ Huso = 30

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 564 (Fuertescusa).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Arenas, arenas caoliníferas y arcillas caoliníferas.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

Facies Utrillas (Albiense, Cretácico inferior).

MUESTREO

Muestra 1: Arenas feldespáticas (muestra en bruto, sin tratar).



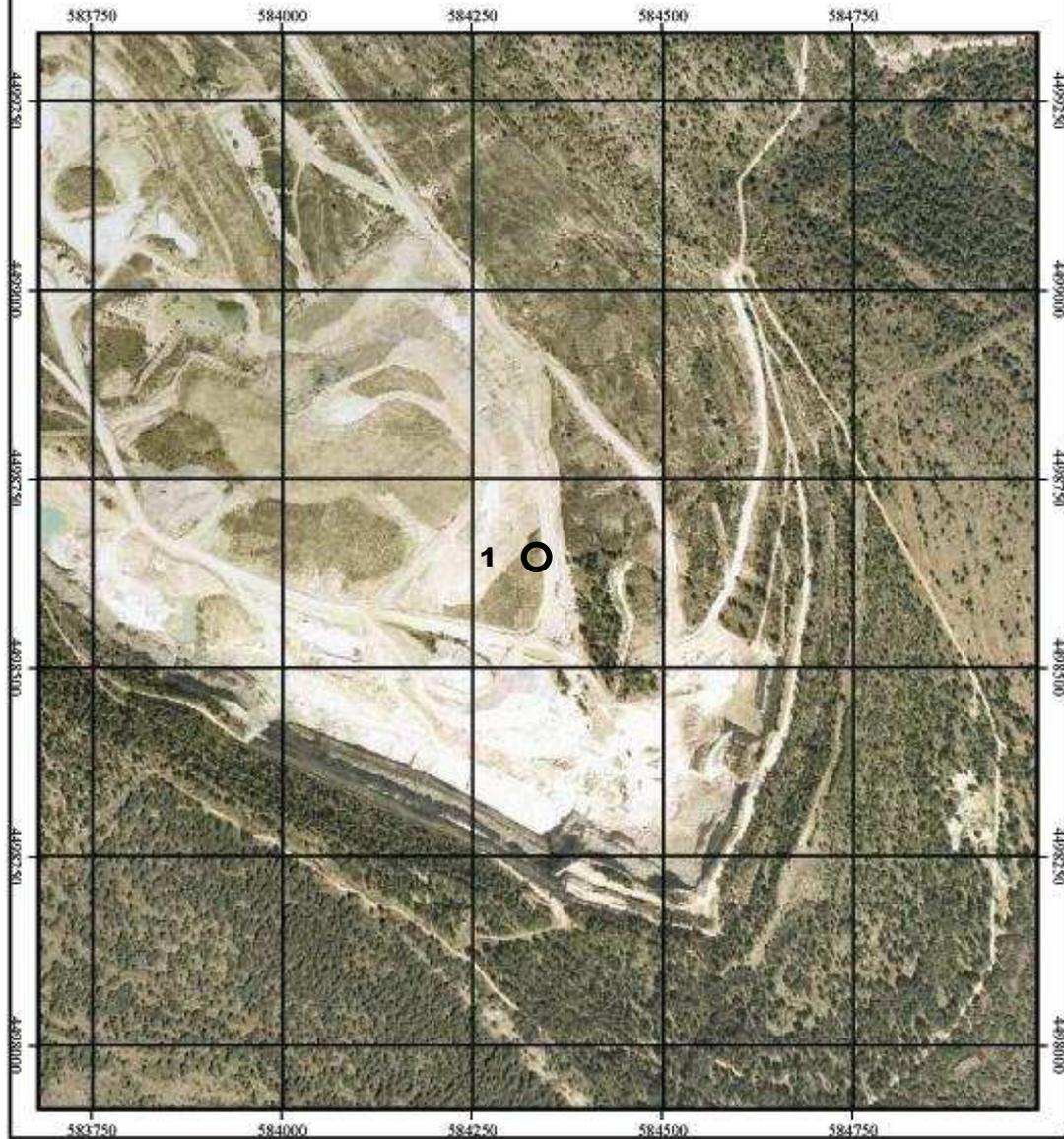
SISTEMA DE IDENTIFICACION DE PARCELAS AGRICOLAS

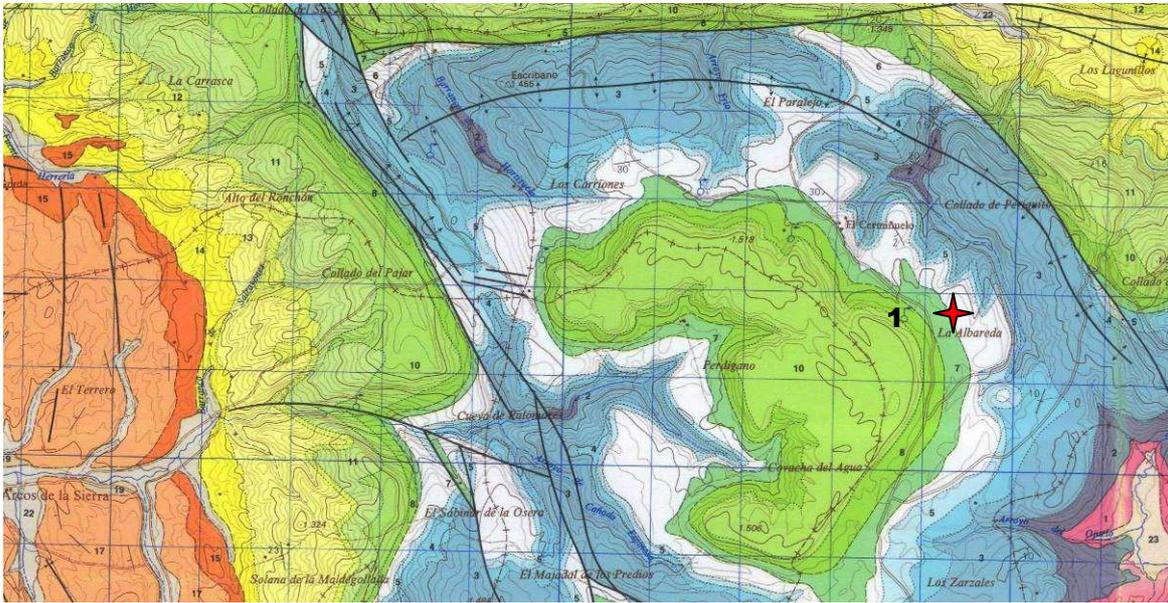
ORTOFOTO Y PARCELARIO SUPERPUESTO.

HUSO 30

ESCALA 1:7500

FECHA DE IMPRESION 28/09/2007





Mapa geológico (Herráez Samaniego et al., 1989), esc. aprox. 1/90.000.

10: Fm Margas de Chera, dolomías de Alatoz y de Villa de Vés, y Fm Margas de Casamedina (Cenomaniense, Cretácico superior.)

8: Arenas, arenas caoliníferas y arcillas. Fm. Utrillas (Albiense, Cretácico inferior).

7: Areniscas, arenas, arcillas y calizas. Facies Weald (Barremiense-Aptiense inferior, Cretácico inferior).



Figura 30.- Amplia panorámica de la explotación.

EMPRESA: Minera Sabater, S.L.

LOCALIDAD

Chamusíños (Ourense).

DENOMINACIÓN DEL LUGAR DE MUESTREO

Pombal.

COORDENADAS

$X_1 = 611873$ $Y_1 = 4652760$ $Z_1 = 648$ Huso = 29

HOJA DEL MAPA GEOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:50.000

Nº. 264 (Ginzo de Limia).

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL

Depósito cuaternario de gravas y arenas de grano medio a fino, con algo de arcilla, y niveles de arcilla de poco espesor y continuidad. Presenta una composición principalmente arcósica, rica en cuarzo y feldespato, con algo de moscovita.

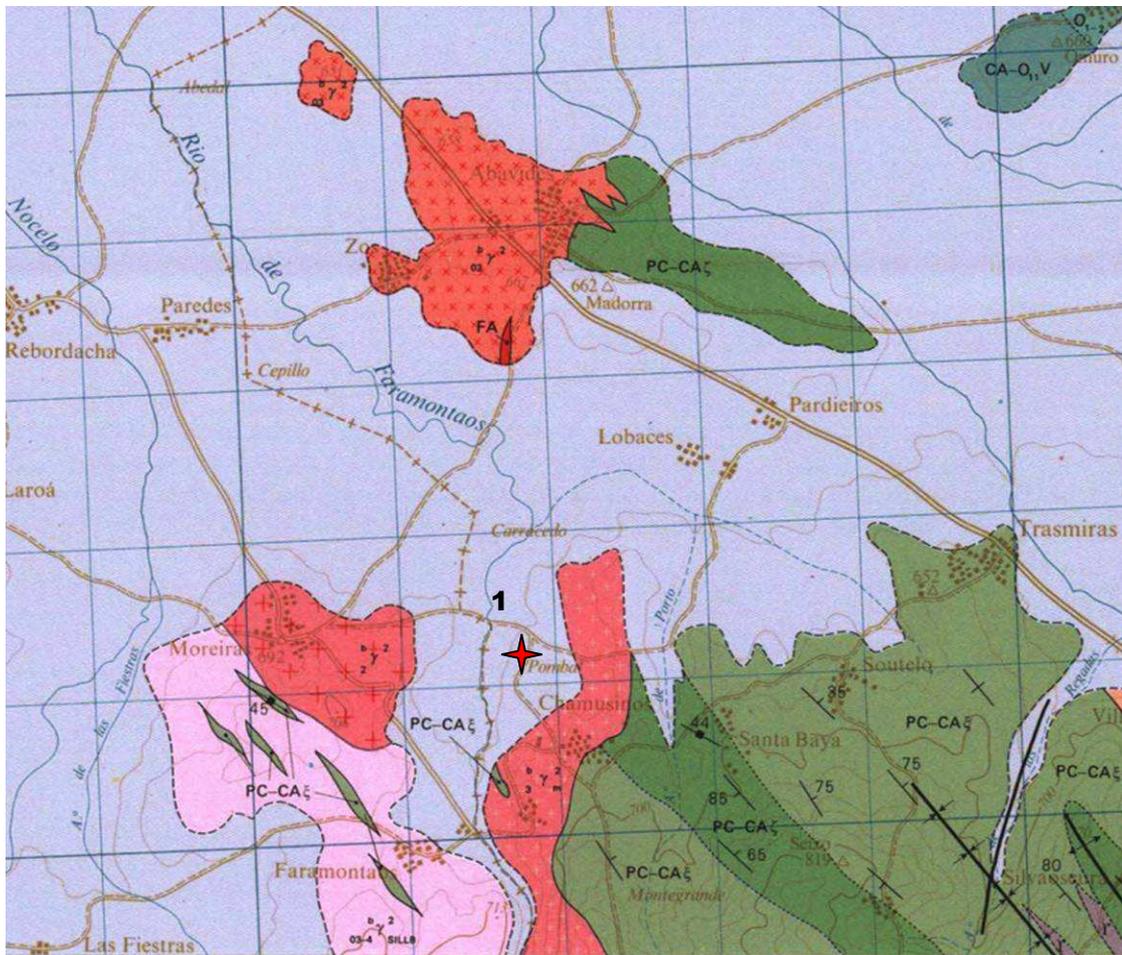
El yacimiento ha sido investigado mediante sondeos, de hasta 30 m de profundidad. La zona fue investigada para lignitos, mediante sondeos más profundos.

UNIDAD GEOLÓGICA Y EDAD

Los materiales muestreados, gravas arenas y limos, corresponden a las facies aluviales de la Laguna de Antela, siendo depósitos del Holoceno.

MUESTREO

Muestra 1: Muestra en bruto.



Mapa geológico (Chamón Cobos y Fernández Tomás, 1972), esc. aprox. 1/66.000.

QAL: Arenas (y arcillas) cuaternarias.



Figura 31.- Emplazamiento de un sondeo de investigación en la región de Xinzo de Limia.

4.3.4 Conclusiones

Al finalizar la investigación desarrollada a lo largo del proyecto y, a pesar de la premura del tiempo del que se ha dispuesto para realizarlo, creemos que es posible y necesario sintetizar el trabajo de investigación minera realizado, a lo largo del país, en una serie de conclusiones que faciliten la comprensión del proyecto.

Dadas las diferentes epígrafes en que se ha estructurado el trabajo, consideramos oportuno ceñir las conclusiones a los mismos epígrafes.

4.3.4.1 Arcillas caoliníferas para cocción de pasta blanca

1. Durante el verano de 2006 se realizó la campaña de campo de valoración de yacimientos y muestreo de las diferentes tipologías de arcillas, habiéndose recogido un total de 19 muestras en 11 depósitos.
2. A la vista de los resultados mineralógicos y tecnológicos obtenidos se han podido clasificar estas muestras, en función de su índice de blancura, en: alto, medio y bajo.
3. Las principales formaciones geológicas susceptibles de tener yacimientos de arcillas caoliníferas en España se sitúan en:
 - Asturias. Asociadas a dos fases preferentes: formaciones ordovícicas con caolín del tipo “flint-clay”, donde los materiales caoliníticos han sufrido diferentes grados de transporte desde el área madre, y a depósitos terciario-cuaternarios.
 - Galicia. Arcillas caoliníferas, con variable composición e irregularmente repartidas en cuencas terciarias neógenas, asociadas a grandes accidentes tectónicos.
 - Cordillera Ibérica. Principalmente en los sedimentos arcillosos de la Facies Escucha (Teruel), o bien en fases genéticas intermedias, asociadas a los depósitos de caolín de las facies Weald o Utrillas (Guadalajara, Cuenca, Valencia).
 - Numerosas provincias: Segovia, Soria, Toledo, Zaragoza, Albacete, Badajoz, Córdoba, Navarra, Salamanca y Cantabria, han tenido explotaciones en concesiones mineras solicitadas para “caolín”.

4.3.4.2 *Pizarras sericíticas de extremadura*

1. Se delimitaron las siguientes áreas favorables: Zarza de Alange-Alange-Cristina (con calidad de tipo medio y puntualmente alta); La Codosera (calidad mediana); Garlitos (buena calidad de las arcillas); Valdecaballeros-Herrera del Duque-Garbayuela (buenos resultados analíticos, aunque puntuales); Monterrubio-Zalamea de la Serena (zona bastante explotada, con muy variables calidades).
2. Durante el verano de 2006 se realizó la campaña de campo de valoración de yacimientos y muestreo de las diferentes tipologías de arcillas, habiéndose recogido un total de 1 muestra en 1 depósito.
3. A la vista del resultado mineralógico y tecnológico obtenidos se ha podido clasificar esta muestra, en función de su índice de blancura, como: bajo.

4.3.4.3 *Feldespatos*

1. Durante el verano de 2006 se realizó la campaña de campo de valoración de yacimientos y muestreo de las diferentes tipologías de feldespatos, habiéndose recogido un total de 14 muestras en 11 depósitos.
2. A la vista de los resultados mineralógicos y tecnológicos obtenidos se han podido clasificar estas muestras, en función de su composición mineralógica, en: feldespato Na, feldespato Na-K y feldespato K.

4.4 Tarea 3. Ensayos cerámicos sobre arcillas

4.4.1 Antecedentes

En el presente apartado se exponen los resultados obtenidos en la caracterización de las arcillas recibidas en el Instituto de Tecnología Cerámica (ITC) durante los meses de octubre y noviembre de 2006. Las muestras, que fueron suministradas por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), procedían de diferentes zonas de España.

El objetivo de esta parte del estudio es localizar arcillas a nivel nacional que presenten propiedades adecuadas para permitir la obtención de composiciones de soportes de cocción blanca.

Este estudio se encuadra en el proyecto “Materias primas nacionales alternativas para la fabricación de baldosas cerámicas”, que está enmarcado en la línea de proyectos de especial relevancia para centros de investigación en colaboración con empresas, con la referencia GVEMP06/023 y financiado por la Generalitat Valenciana por medio de la Conselleria d’Empresa, Universitat i Ciència.

Las referencias asignadas a las muestras, así como la zona de la que proceden, se enumeran a continuación. Debe indicarse que en el caso de la zona de Teruel no se han caracterizado las dos principales explotaciones (Minera Sabater y Euroarce) por disponer de toda la información necesaria (en base a caracterizaciones previas).

Asturias:

- Asturias-1. Procedente de Cueva.
- Asturias-2. Procedente de Bodenaya.

A Coruña:

- A Coruña-1. Procedente de Puentes de García Rodríguez.

Badajoz:

- Badajoz-1. Procedente de Zalamea de la Serena.

Zamora:

- Zamora-1 y Zamora-2. Procedentes de Tamame de Sayago.

Teruel:

- Teruel-1, Teruel-2 y Teruel-3. Procedentes de Oliete.
- Teruel-4 y Teruel-5. Procedentes de Monforte de Moyuela.
- Teruel-6 y Teruel-7. Procedentes de Mas de las Matas-Castellote.
- Teruel-8 y Teruel-9. Procedentes de Beceite.

- Teruel-10 y Teruel-11. Procedentes de Cañada de Verich.
- Teruel-12. Procedente de Castellote.
- Teruel-13. Procedente de Aliaga.

Finalmente, debe exponerse que las muestras suministradas proceden principalmente de permisos de investigación, razón por la que existe un elevado número de muestras procedentes de la provincia de Teruel (zona con amplia actividad de extracción de arcillas para diferentes sectores). Esta misma razón justifica la ausencia de muestras de algunas regiones tales como Cataluña, Andalucía, etc.

4.4.2 Ensayos realizados

El trabajo se desarrolló en dos fases consecutivas, las cuales se comentan a continuación.

En una primera fase se realizó un programa de ensayos básicos con el propósito de desestimar aquellas muestras que no reúnan los requisitos mínimos para ser utilizadas en la fabricación de baldosas cerámicas. Los ensayos realizados en esta primera fase fueron los siguientes:

- Residuo sobre tamiz de 63 μm .
- Contenido en carbonatos. Calcimetría.
- Densidad aparente en seco.
- Pérdida por calcinación.
- Contracción lineal, absorción de agua y densidad aparente a dos temperaturas de cocción.
- Color de cocción. Coordenadas cromáticas a dos temperaturas de cocción.

Estos resultados proporcionan la información necesaria para seleccionar las arcillas que presentan las características más idóneas para su empleo en la obtención de composiciones de soportes cerámicos de cocción blanca. Una vez finalizada la primera fase, en la segunda fase se completó la caracterización de las arcillas seleccionadas mediante los ensayos que se indican a continuación. Estos ensayos, así como los de la primera fase están diseñados de tal modo que presentan una estrecha vinculación con el proceso por el cual se fabrican las baldosas cerámicas, por lo que su realización e interpretación proporcionan una valiosa información acerca del comportamiento de las arcillas en las etapas más significativas del proceso cerámico. De este modo, los ensayos de la segunda fase fueron los siguientes:

- Contenido en carbono orgánico.
- Contenido en azufre.
- Índice de plasticidad. Límites de Atterberg.
- Curva de defloculación. Contenido en sólidos y porcentaje de defloculante críticos.

A continuación se describen brevemente los métodos utilizados para la preparación de las arcillas y la realización de los ensayos anteriormente mencionados.

4.4.2.1 Acondicionamiento de las arcillas

Las muestras de arcilla se secaron, homogeneizaron y posteriormente se molturaron, vía seca, en un molino de martillos de laboratorio, hasta alcanzar una distribución granulométrica comprendida entre 0 y 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.

4.4.2.2 Contenido en carbonatos

El contenido en carbonatos se determinó mediante un calcímetro Bernard.

4.4.2.3 Conformado de probetas por prensado y determinación de la densidad aparente en seco

Con el polvo de prensas conseguido se conformaron probetas cilíndricas (de 4 cm de diámetro y aproximadamente 7mm de espesor) por prensado unidireccional, a una humedad de prensado del 5,5% (base seca) y a una presión de 300 kg/cm².

Las probetas se secaron a 110°C una estufa eléctrica de laboratorio, con recirculación de aire. Posteriormente, se pesaron, y se determinó su densidad aparente por el método de inmersión en mercurio.

4.4.2.4 Comportamiento en la cocción

Una vez secas, se midió el diámetro de las probetas y se cocieron en un horno eléctrico de laboratorio con un ciclo rápido de cocción y un tiempo de permanencia a la máxima temperatura de 30 minutos. La velocidad de calentamiento fue de 25°C/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 en ebullición por un período de dos horas.

4.4.2.5 *Coordenadas cromáticas*

Las coordenadas cromáticas (L^* , a^* , b^*) se determinaron en un espectrofotómetro de reflectancia difusa, utilizando un iluminante tipo D65 y un observador standard a 10° .

4.4.2.6 *Determinación de carbono orgánico*

La determinación de carbono orgánico se llevó a cabo con un analizador de carbono modelo RC-412 de la firma LECO. Para la realización del ensayo se tomó una porción de muestra, aproximadamente 0,2 g, pesada con una precisión de 0,1 mg. Se colocó dicha porción de muestra en el analizador y sometió a un tratamiento térmico desde una temperatura de 25°C hasta 550°C en un horno con atmósfera de O_2 y se midió el desprendimiento de CO_2 mediante un detector de Infrarrojo (IR).

4.4.2.7 *Determinación de azufre*

La determinación de azufre se llevó a cabo con un analizador de carbono y azufre modelo CS-200 de la firma LECO. Para la realización del ensayo se pesó una porción de muestra adecuada y se sometió dicha muestra a un proceso de calentamiento en un horno de inducción con atmósfera de O_2 y se midió el desprendimiento de SO_2 mediante un detector de Infrarrojo (IR).

4.4.2.8 *Índice de plasticidad*

El índice de plasticidad se calculó por el método de indentación a partir de las muestras molturadas vía seca con un tamiz de salida de 500 μm . Este método consiste en determinar la fuerza necesaria para introducir un punzón con terminación cónica en masas preparadas a distintos contenidos en humedad. El valor de la fuerza cuando el cono está introducido totalmente se considera como el valor de consistencia de la masa a esa humedad. Representando en coordenadas logarítmicas la consistencia frente a la humedad, se obtiene una recta, a partir de la cual se determinan los contenidos de humedad correspondientes a los límites de Atterberg.

4.4.2.9 *Curvas de desfloculación*

Para la realización de las curvas de desfloculación se prepararon suspensiones a partir de las muestras molturadas vía húmeda, determinándose la variación que experimentaba la viscosidad con el porcentaje de desfloculante añadido. La medida de la viscosidad se realizó con un viscosímetro GALLEMKAMP de hilo de torsión del n° 30 utilizando un cilindro de 1,75 cm de diámetro. El objetivo del ensayo consiste en determinar el contenido en sólidos y de desfloculante que proporciona un

mínimo de la curva viscosidad – contenido de desfloculante, situado en un valor comprendido entre 500 y 1000 cP. Para ello se prepara en primer lugar una suspensión a un determinado contenido en sólidos sobre la que se añade sucesivamente desfloculante hasta que con al menos 2 adiciones el valor de la viscosidad es igual o superior al anterior valor medido o bien se obtiene un valor inferior al deseado. Esto último significa que el contenido en sólidos es inferior al requerido, por lo que se realiza una adición de material sólido para aumentar su valor. El proceso se repite hasta alcanzar el mínimo de la curva en la zona de viscosidad requerida. El desfloculante empleado fue una mezcla al 50% de metasilicato sódico y tripolifosfato sódico.

4.4.3 Arcillas de cocción blanca empleadas actualmente en la fabricación de soportes de baldosas cerámicas

Para poder determinar la aplicación cerámica de las arcillas caracterizadas en este documento resulta necesario describir las arcillas (de cocción blanca) que se emplean en la actualidad en la fabricación de soportes cerámicos así como sus características técnicas. De esta forma será posible comparar sus propiedades con las de las muestras caracterizadas en este estudio, determinar su viabilidad de empleo (para cada tipo de soportes) y estimar en que porcentajes pueden utilizarse.

De los aproximadamente 650 millones de metros cuadrados/año de baldosas que se fabrican en España, alrededor de un 30% se obtienen a partir de soportes de cocción blanca. Esta producción supone un consumo de arcillas de cocción blanca de alrededor de 2,5 millones de toneladas/año, de las cuales una parte procede de territorio nacional, mayoritariamente de la provincia de Teruel, y el resto son importadas fundamentalmente desde el Reino Unido y Ucrania.

Los principales motivos por los que en la actualidad es necesario importar arcillas de cocción blanca son, por una parte, la mayor plasticidad que aportan a las composiciones respecto a las arcillas de Teruel, lo que además de mejorar el comportamiento del polvo de prensas durante el moldeo, aumenta la resistencia mecánica en crudo de las piezas, facilitando con ello la etapa de decoración en los procesos de monococción. Por otra, estas arcillas proporcionan un buen grado de blancura al producto cocido (muy superior al proporcionado por las arcillas de Teruel), característica de gran importancia en la fabricación de baldosas de gres porcelánico no esmaltado y, dentro del gres porcelánico esmaltado, en los productos en los que el soporte se colorea.

A continuación se van a exponer las propiedades tecnológicas y el comportamiento en las diferentes etapas del proceso de arcillas representativas de las consumidas en el sector, procedentes de Teruel, Reino Unido y Ucrania. De esta forma, posteriormente se compararán estos datos con los resultados de las arcillas caracterizadas en el presente documento.

4.4.3.1 Comportamiento en la desfloculación

Uno de los métodos que se pueden emplear para evaluar la capacidad de desfloculación de una arcilla o mezcla de ellas es determinar el contenido en sólidos (contenido en sólidos crítico) y el porcentaje en desfloculante necesarios para obtener el mínimo de la curva viscosidad/ porcentaje de desfloculante en el intervalo 500-1000 cP.

La naturaleza de las arcillas tiene una influencia decisiva sobre el contenido en sólidos crítico y el consumo de desfloculante. Así, en general conforme aumenta el contenido de mineral arcilloso disminuye el contenido en sólidos y aumenta el consumo de desfloculante. Por otro lado el tipo de mineral arcilloso también influye en el comportamiento en la desfloculación ya que en al desplazarse en la serie caolinita-illita-montmorillonita disminuye el contenido en sólidos y aumenta el consumo de desfloculante como consecuencia del incremento de superficie específica.

El uso de arcillas que requieran un alto consumo en desfloculante (>1,5%) y que no permitan alcanzar contenidos en sólidos elevados (<60% en peso), no será recomendable para formular composiciones de pavimento y revestimiento que se procesen por vía húmeda. Sin embargo, con el objeto de mejorar otras propiedades y a pesar de que se empeore en cierto grado la desfloculación, arcillas con un comportamiento deficiente durante la desfloculación pueden ser introducidas en las composiciones de soportes cerámicos. Es por ello que los límites señalados anteriormente solo deben considerarse con fines orientativos. Finalmente, se debe indicar que la introducción de desgrasantes en la composición, siempre que se mejore el empaquetamiento máximo, disminuirá el consumo de desfloculante y permitirá alcanzar contenidos en sólidos más elevados.

En la Tabla 34 se detallan el contenido en sólidos y porcentaje en desfloculante críticos de las arcillas que se utilizarán como referencia para el estudio. En general las arcillas de Teruel, como consecuencia de su menor superficie específica desfloculan a mayores contenidos en sólidos y con menores consumos de desfloculante que las arcillas de importación. Tal como se aprecia en dicha tabla la arcilla Teruel B es una excepción a esta tendencia ya que requiere un elevado porcentaje de desfloculante para alcanzar el mínimo de viscosidad. De la misma forma la arcilla Inglesa A desflocula a un contenido en sólidos anormalmente alto y con un consumo de desfloculante más bajo de lo habitual para este tipo de arcillas. Esto puede deberse a una baja proporción de mineral arcilloso como se desprende de la baja pérdida por calcinación (Tabla 37). Finalmente, dentro de un mismo tipo de arcilla se observa que al aumentar la pérdida por calcinación (por ejemplo de la arcilla Ucrania A a la B o de la Teruel A a la B) disminuye el contenido en sólidos y aumenta el consumo de desfloculante ya que se está incrementando el contenido de mineral arcilloso.

Tabla 34 Comportamiento en la desfloculación.

Arcilla	Teruel A	Teruel B	Ucrania A	Ucrania B	Inglesa A	Inglesa B
Contenido en sólidos (%)	70	66	58	52	76	64
Contenido en desfloculante (%)	0,43	0,86	0,51	0,62	0,51	0,47
Viscosidad mínima (cP)	725	725	600	400	780	1320

4.4.3.2 Plasticidad

Cuando una arcilla se mezcla con una cantidad limitada de agua se obtiene una masa cohesiva que puede ser moldeada con facilidad. Esta propiedad, característica de los minerales arcillosos, se denomina plasticidad y en ella se ha fundamentado el moldeo de los productos cerámicos desde la antigüedad. Las otras materias primas empleadas en la industria cerámica, tales como el cuarzo, carbonatos, feldespatos, etc., no presentan dicha propiedad y son denominadas, por tanto, no plásticas.

Aunque a primera vista puede parecer que la plasticidad sea únicamente interesante en el campo de moldeo en estado plástico, esta propiedad también lo es para otros tipos de moldeo, tales como el prensado en estado semiseco. En efecto, cuando se aplica una presión sobre un polvo granulado, se produce una deformación plástica de los aglomerados, como consecuencia de la acción lubricante y plastificante que ejerce el agua intercalada entre las partículas arcillosas. Este hecho permite que las partículas fluyan y empaqueten de forma estable, obteniéndose un producto con la forma deseada y la resistencia mecánica suficiente para que pueda ser manipulado sin roturas en las etapas posteriores.

Sin embargo, la importancia de esta propiedad no solo se limita al conformado de la pieza sino que se extiende a las diferentes etapas del proceso de fabricación. De este modo, en la industria cerámica es habitual atribuir un elevado porcentaje de los defectos o problemas que se producen durante la fabricación (grietas y laminaciones en el conformado, grietas de secado, roturas en el transporte y manipulación de la pieza cruda, etc.) a una plasticidad inadecuada en la composición.

Estas relaciones se pueden establecer debido a que las características del mineral arcilloso que determinan la plasticidad (tamaño de partícula, tipo de mineral, etc.) también influyen sobre las propiedades que controlan las distintas etapas del proceso de fabricación (resistencia mecánica, permeabilidad, compacidad, etc.).

En consecuencia, la plasticidad se puede correlacionar con un gran número de propiedades importantes para la fabricación de las baldosas cerámicas, pudiendo servir su medida para integrar en un solo valor al conjunto de todas ellas. De ahí la importancia que tiene su determinación para el control de materias primas y composiciones, así como su utilidad para la formulación y ajuste de estas últimas.

La plasticidad de una arcilla natural depende de la proporción en la que se encuentran los minerales arcillosos y de la naturaleza de los mismos.

La naturaleza del mineral arcilloso tiene una influencia indudable sobre la plasticidad; sin embargo, ésta no puede establecerse de forma satisfactoria ya que no se puede desligar de otros factores, tales como la forma y tamaño de las partículas.

En función de su plasticidad, los minerales de arcilla se ordenan en grado creciente según la siguiente serie:

Caolinita → Illita, Clorita → Montmorillonita

Sin embargo, existen muchas excepciones a esta clasificación, como consecuencia de los distintos tamaños de partícula y diversos grados de cristalinidad que pueden presentar estos minerales en la naturaleza. Así, la caolinita bien cristalizada (por ejemplo, en caolines) tiene un grado de plasticidad moderado, mientras que formas más desordenadas (por ejemplo, en arcillas tipo ball clay) pueden ser considerablemente más plásticas.

Por otro lado, como ya se indicó, la plasticidad de las arcillas naturales también depende de la proporción en la que se encuentren los materiales desgrasantes. En efecto, como algunos autores han comprobado, la plasticidad, determinada como diferencia de los límites de Atterberg, es aditiva. De este modo, cuando una arcilla determinada se mezcla con un desgrasante, el índice de plasticidad disminuye en proporción directa a la cantidad añadida, como consecuencia de que la plasticidad de los desgrasantes se puede considerar prácticamente nula.

Finalmente, otro componente de las arcillas que puede afectar a su plasticidad es la materia orgánica coloidal. Así, algunas ball clay deben su elevada plasticidad, en parte, a la materia orgánica que lleva asociada.

En el caso de las arcillas de referencia, Tabla 35 puede observarse que la plasticidad de las arcillas ucranianas es muy superior a la del resto. Esto, unido a su elevada blancura tras la cocción, explica la enorme aceptación de estas arcillas en el sector azulejero español y que en la fabricación de algunos productos hayan desplazado a las arcillas inglesas.

Si se comparan las arcillas de Teruel con las procedentes del Reino Unido, aunque en líneas generales la plasticidad de estas últimas es superior a la de las primeras, siempre existen arcillas nacionales que presentan plasticidades similares a algunas inglesas.

Finalmente, si se compara la plasticidad de las dos arcillas de cada grupo (nacionales, inglesas o ucranianas) puede concluirse que, al igual que ocurría con el comportamiento en la desfloculación, la plasticidad depende del contenido de mineral arcilloso (y por tanto del valor de la pérdida por calcinación, Tabla 37). Así, la muestra con el valor más alto de la pérdida (la referenciada con la letra B en cada grupo) es la de mayor plasticidad, como consecuencia de la mayor proporción de mineral arcilloso.

Tabla 35 Plasticidad.

Arcilla	Teruel A	Teruel B	Ucrania A	Ucrania B	Inglesa A	Inglesa B
Limite líquido (%)	36,0	41,5	56,5	63,5	38,0	46,5
Limite plástico (%)	17,5	21,5	21,0	23,0	17,0	20,5
Índice de plasticidad (%)	18,5	20,0	35,5	40,5	20,5	26,0

4.4.3.3 Compacidad

La compacidad es una de las propiedades más importantes de la pieza moldeada, ya que determina su comportamiento en las diferentes etapas del proceso cerámico y ejerce una marcada influencia, tanto sobre las propiedades de la pieza cruda (resistencia mecánica, permeabilidad, etc.), como sobre las propiedades del producto cocido (tamaño, absorción de agua, resistencia mecánica, etc.).

Así, un aumento de la compacidad de la pieza conduce a la obtención de una mayor resistencia mecánica, disminuyendo de este modo el riesgo de roturas durante todas aquellas etapas, previas a la cocción, en las que las piezas se manipulen o se encuentren sometidas a tensiones mecánicas, especialmente, durante la decoración serigráfica.

Por otro lado, las velocidades de secado, así como las de descomposición y oxidación de algunos de los compuestos de la pieza durante la etapa de precalentamiento, disminuyen a medida que aumenta la compacidad, ya que el coeficiente de difusión efectivo decrece con la reducción de la porosidad.

Finalmente, para unas determinadas condiciones de cocción, la contracción lineal y la capacidad de absorción de agua disminuyen con la compacidad de la pieza prensada, siendo ésta una relación lineal. Debido a ello, variaciones de compacidad en una misma pieza o entre piezas distintas producen contracciones diferentes que se traducen posteriormente en descuadres, calibres, curvaturas, etc.

La compacidad que proporcionan las materias primas cerámicas depende de las características de las partículas que las componen (distribución de tamaños y forma). Como ya se indicó, las arcillas naturales están formadas por una mezcla de distintos componentes, íntimamente unidos durante su proceso de formación o génesis. Entre los minerales presentes destacan los propios de la arcilla o minerales arcillosos, junto con una serie de materiales desgrasantes como la sílice libre (en forma de cuarzo), los feldespatos y los carbonatos. De este modo, la distribución de tamaños de partícula de una arcilla natural es la suma de las distribuciones correspondientes a los distintos minerales que la componen.

De forma simplificada puede suponerse que la distribución de tamaños de partícula de una arcilla natural está compuesta por la suma de dos distribuciones de diferente intervalo de tamaños. La distribución de tamaños más grandes correspondería a las partículas de materiales no plásticos (cuarzo y feldespato, fundamentalmente), mientras que la de los tamaños más pequeños se atribuiría al mineral arcilloso.

Las arcillas naturales se caracterizan por presentar una elevada proporción de partículas de pequeño tamaño (inferiores a 2 μm), lo que no favorece la obtención de elevados valores de la compacidad. Por este motivo, la compacidad proporcionada por estos materiales aumentará a medida que se incremente el contenido en partículas gruesas (principalmente de cuarzo o feldespato) presentes en la arcilla. Esta tendencia continuará hasta alcanzar un valor máximo de compacidad a partir del cual la presencia de mayores contenidos en partículas gruesas originará una disminución de compacidad.

Así, en general, las arcillas que presenten una amplia distribución de tamaños de partícula, es decir, aquellas en las que coexistan partículas grandes y pequeñas, serán las que proporcionarán mayor compacidad. Por el contrario, aquellos materiales con distribuciones estrechas de tamaños de partícula, presentarán una compacidad deficiente.

En la Tabla 36 se detallan los valores del residuo sobre tamiz de 63 μm y la densidad aparente de las arcillas de referencia (probetas conformadas a la misma presión de prensado y con el mismo contenido en humedad). Las arcillas de Teruel en general proporcionan compacidades más elevadas que las arcillas de importación como consecuencia de que las distribuciones de tamaños de partícula son más amplias.

Por otro lado, puede observarse que la arcilla B de cada grupo, con mayor contenido de mineral arcilloso y menor proporción de cuarzo proporciona menor compacidad que la arcilla A, corroborando la influencia del contenido de mineral desgrasante sobre la compacidad.

Tabla 36 *Propiedades en crudo de las arcillas.*

Arcilla	Teruel A	Teruel B	Ucrania A	Ucrania B	Inglesa A	Inglesa B
Rechazo a 63 μm (%)	1,5	1,2	2,2	1,1	1,6	2,3
Humedad (%)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Presión de prensado (kg/cm^2)	300	300	300	300	300	300
Densidad aparente en seco (g/cm^3)	2,003	1,961	1,946	1,888	1,927	1,885

4.4.3.4 Comportamiento en la cocción

La razón de ser de la cerámica, así como su importancia económica, se basan en el hecho de que la cocción de las composiciones, previamente moldeadas, provoca una modificación completa de sus propiedades, dando lugar a un material duro, resistente al agua y a los productos químicos, y que puede poseer unas características muy variadas.

El comportamiento de las diferentes arcillas durante la cocción va a definir, en muchos casos, el tipo de producto a fabricar, sus características técnicas y las variables de cocción a emplear (temperatura máxima de cocción, duración del ciclo de cocción, etc). Las propiedades tecnológicas más importantes a considerar son las siguientes:

- Contracción lineal
- Absorción de agua

En la cocción de productos cerámicos preparados con materias primas arcillosas es importante conocer el intervalo de cocción, es decir, el margen de temperaturas en el que la contracción y la porosidad de la pieza no varían excesivamente. Dicho intervalo depende de las características de la composición y debe ser lo más amplio posible. En caso contrario, pequeñas variaciones de la temperatura de cocción pueden producir una deformación de la pieza o una cocción insuficiente de la misma, con lo que los valores de porosidad y resistencia mecánica del producto acabado no serán los deseados.

Así pues, los diagramas contracción lineal-absorción de agua-temperatura de cocción se utilizan para estudiar el comportamiento de las materias primas durante la cocción y pueden ser de gran ayuda para la formulación y ajuste de composiciones destinadas a la fabricación de baldosas cerámicas.

La absorción de agua de una arcilla viene determinada, fundamentalmente, por el tipo y la proporción de los minerales que contiene, es decir, por su composición mineralógica. Por otra parte, la contracción lineal depende principalmente de dos factores: la composición química y mineralógica y la compacidad alcanzada por la pieza moldeada.

En lo que respecta a la composición, puede establecerse que en el caso de las arcillas blancas la fundencia será tanto mayor cuanto menor sea el contenido de cuarzo o cuanto mayor sea el carácter illítico del mineral arcilloso. En efecto, el cuarzo actúa como inerte durante la cocción mientras que el mineral arcilloso sufre una fusión progresiva al aumentar la temperatura formando una fase líquida cuya viscosidad depende del tipo de mineral arcilloso (menor viscosidad los minerales de tipo illítico que los caoliniticos). Esta fase líquida es la responsable del aumento de la contracción lineal y de la disminución de la absorción de agua al aumentar la temperatura de cocción. Por tanto, dado que el cuarzo actúa como inerte, conforme aumenta el contenido de este mineral en la arcilla disminuye (para una determinada temperatura de cocción) la contracción lineal y aumenta la absorción de agua. De la misma forma conforme aumenta el carácter illítico del mineral arcilloso disminuye (para una determinada temperatura de cocción) la absorción de agua.

Tal como se muestra en la Tabla 37, las arcillas de Teruel y las inglesas presentan menor fundencia (mayor absorción de agua) que las de Ucrania como consecuencia de su mayor proporción de cuarzo y del menor carácter illítico del mineral arcilloso. Finalmente, la comparación de los valores de la absorción de agua de la arcilla B de cada grupo respecto a la A permite comprobar como al disminuir el contenido de cuarzo aumenta la fundencia de la arcilla.

Tabla 37 Comportamiento en la cocción.

Arcilla	Teruel A	Teruel B	Ucrania A	Ucrania B	Inglesa A	Inglesa B
Pérdida por calcinación a 1120°C (%)	6,21	6,87	6,03	7,14	5,37	6,64
Contracción lineal a 1120°C (%)	2,5	4,1	4,8	7,4	3,5	4,7
Contracción lineal a 1220 °C (%)	5,6	7,4	7,7	9,6	7,0	8,4
Absorción de agua a 1120°C (%)	11,1	8,9	6,7	4,6	10,9	10,4
Absorción de agua a 1220°C (%)	5,2	1,1	0,3	0,1	4,1	2,7

4.4.3.5 Color en cocido

El color en cocido de las materias primas depende fundamentalmente de su contenido en minerales de hierro. No obstante, la existencia de otros elementos cromóforos, como el titanio, las condiciones de cocción (ciclo de cocción y atmósfera del horno) así como el tipo de fases que se generan (vítreas o cristalinas) y la presencia de compuestos solubles son factores que influyen de modo apreciable en el color final obtenido. De este modo, los factores que pueden afectar al color en cocido de las arcillas pueden agruparse en:

- Naturaleza de los compuestos colorantes (de hierro y titanio, fundamentalmente).
- Naturaleza de las fases formadas durante la cocción.
- Presencia de sales solubles.

El componente colorante más importante de las materias primas es el hierro. Este elemento puede estar presente de distintas formas: integrado en la estructura cristalina de los minerales arcillosos, feldespatos, etc, (normalmente en forma trivalente), formando distintos compuestos de hierro (como óxidos, hidróxidos, sulfuros, sales solubles), en los compuestos húmicos (normalmente bivalente) o en forma de hierro metálico.

En general, las arcillas son las materias primas que introducen mayores cantidades de hierro en las composiciones cerámicas, en especial las empleadas para fabricar productos de cocción roja, donde el contenido en

Fe_2O_3 oscila entre el 5 y el 7%. Las materias primas empleadas en los productos de cocción blanca presentan menores contenidos en hierro, aunque son de nuevo las arcillas los materiales que suelen aportar las mayores proporciones, oscilando entre el 1 y el 3 % en peso de Fe_2O_3 , mientras que los desgrasantes presentan normalmente porcentajes inferiores al 0,5 % de Fe_2O_3 .

Existen numerosos compuestos de hierro en las arcillas pero en general, todos ellos se transforman en hematita cuando la arcilla se cuece en atmósfera oxidante a temperaturas superiores a los 200-400°C. Debido a ello, el color predominante de una arcilla cuando es cocida por debajo del punto de vitrificación es rojo o rosáceo dependiendo de su contenido en hierro. Si se continúa aumentando la temperatura de cocción la hematita tiende a disociarse para dar lugar a O_2 y a formas reducidas como el FeO y Fe_3O_4 , de color negro, sobre los 1100 °C-1150 °C. No obstante, una buena proporción del FeO formado se reoxida a hematita durante el enfriamiento.

Otro elemento colorante presente en las arcillas es el titanio, el cual se encuentra normalmente en forma de óxido como el rutilo o la anatasa, o como impureza en otros minerales. La presencia de este óxido, normalmente en porcentajes inferiores al 2 % en peso, proporciona colores blanquecinos o amarillos, que viran a azulados cuando el titanio se disuelve en la fase vítrea. Asimismo, la presencia de este óxido tiende a intensificar el color desarrollado por otros elementos, como es el caso del hierro.

Por otro lado, la formación de fases cristalinas modifica el color en cocido. Así, en arcillas muy caoliníticas se forma mullita. Estos cristales producen un efecto opacificante y además existe una solución de óxido de hierro en su estructura, debido principalmente a la similitud del tamaño de los cationes de Fe_3+ y Al_3+ y al carácter no estequiométrico de la mullita. Si todo el hierro presente puede ser acomodado en la estructura de la mullita (generalmente en arcillas muy caoliníticas), el color variará desde el blanco al crema, en función de la cantidad de hierro existente como hematita.

En las arcillas de cocción blanca, la escasa proporción de óxidos de hierro es la causa de que estos materiales presenten un elevado grado de blancura hasta temperaturas del orden de los 1000 °C. A partir de esta temperatura se observa una disminución progresiva en el grado de blancura como consecuencia de la reducción de la hematita a FeO de color negro y la formación progresiva de fase vítrea. Este hecho se traduce en una disminución de la coordenada L^* y en un aumento de la coordenada b^* , adquiriendo las piezas tonalidades gris-amarillentas. En este tipo de arcillas, el grado de blancura obtenido aumenta con la disminución del contenido en hierro y el incremento de la proporción de caolinita. Un caso extremo son los caolines, donde sus bajos porcentajes en Fe_2O_3 (inferiores al 1 %) y el elevado contenido en caolinita proporcionan elevados grados de blancura.

En la Tabla 38 se muestra el valor de las coordenadas cromáticas L^* y b^* de las arcillas de referencia. Debido a que el color varía en gran medida con el

grado de fundencia de las arcillas, los valores corresponden a las temperaturas a las que se obtiene una absorción de agua del 2,5%. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la considerable diferencia de blancura entre las arcillas de importación y las de Teruel.

Tabla 38 *Coordenadas cromáticas de las arcillas (los valores con el símbolo * se han obtenido mediante extrapolación).*

Arcilla	Teruel A	Teruel B	Ucrania A	Ucrania B	Inglesa A	Inglesa B
Temperatura (°C) (Aa = 2,5%)	1266*	1203	1174	1148	1244*	1222
Coordenada L* (Aa = 2,5%)	59,0*	62,8	80,8	83,6	79,9*	82,7
Coordenada b* (Aa = 2,5%)	12,0*	12,6	12,8	11,1	14,7*	14,8

4.4.4 Resultados de la caracterización de las arcillas

Los resultados obtenidos se detallan en el anexo. A partir de los resultados se han confeccionado una serie de figuras y tablas que se comentan a continuación.

4.4.4.1 Fase 1. Caracterización básica

En las Tablas 39 a 42 se muestran las principales propiedades de las arcillas. En lo que respecta a las propiedades en crudo se detallan el valor del residuo sobre tamiz de 63 μm , el contenido de carbonatos y la densidad aparente en seco (probetas conformadas a la misma presión de prensado y con el mismo contenido en humedad).

Desde el punto de vista del proceso cerámico, para este tipo de arcillas resulta de interés que el contenido en carbonatos sea muy bajo (menor del 1%) ya que algunos de los productos a obtener con este tipo de arcillas presentan una alta vitrificación (gres porcelánico, esmaltado y no esmaltado) y este tipo de impurezas puede provocar problemas de deformaciones por piroplasticidad en dichos productos. También es deseable una alta compacidad principalmente para este mismo tipo de producto ya que cuanto menor es la compacidad de las piezas crudas mayor es la contracción de cocción que ya de por sí es muy alta. Así, arcillas que proporcionen valores de la densidad aparente superiores a 2,00 se clasifican como de alta compacidad, valores inferiores a 1,90 corresponden a arcillas de baja compacidad y las arcillas de compacidad media son las que proporcionan valores de la densidad aparente comprendidos entre 1,90 y 2,00 g/cm^3 .

4. Resultados

En las Tablas 39 a 42 se muestran, asimismo, la pérdida por calcinación y las propiedades más relacionadas con el comportamiento en la cocción (fundencia) y con el color en cocido. La pérdida por calcinación, como ya se ha indicado, está relacionada con el contenido de mineral arcilloso y con el tipo de mineral de forma que cuanto mayor es la pérdida mayor proporción de minerales arcillosos (y menor de minerales desgrasantes, cuarzo y feldespatos) o mayor carácter caolínico del mineral arcilloso (la pérdida por calcinación aumenta en la serie montmorillonita→illita→caolinita). Por otro lado, para evaluar la fundencia se han determinado las temperaturas a las que se alcanzan valores de la absorción de agua del 10 y del 2,5% (esta última no se ha calculado para aquellas arcillas en las que supone una gran extrapolación).

Finalmente, en lo que respecta al color se muestran el valor de las coordenadas cromáticas L* (coordenada relacionada con el color blanco) y b* (relacionada con la tonalidad amarillenta) para los mismos valores de absorción de agua. Al igual que se ha establecido para las propiedades en crudo, debe indicarse que las arcillas de mayor interés para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas serán las de mayor fundencia y principalmente las que proporcionen mayor blancura.

Tabla 39 Resultados más relevantes de la caracterización básica de las arcillas Teruel-1, 2, 3, 12 y 13.

Arcilla	Teruel-1	Teruel-2	Teruel-3	Teruel-12	Teruel-13
Rechazo a 63 μm (%)	3,5	3,9	1,3	2,4	2,6
Carbonatos (%)	1,5	<0,5	<0,5	0,8	<0,5
Densidad aparente en seco (g/cm^3)	2,035	2,022	1,932	2,031	2,018
Pérdida por calcinación (%)	9,08	5,29	8,14	6,68	6,05
Temperatura (A.a.= 2,5%) ($^{\circ}\text{C}$)	1226	1335	1209	1216	1194
Temperatura (A.a.= 10%) ($^{\circ}\text{C}$)	1116	1134	1111	1107	1093
L* (A.a.= 2,5%)	51,5	57,5	65,0	56,0	60,0
L* (A.a.= 10%)	67,0	69,5	76,5	70,0	73,0
b* (A.a.= 2,5%)	6,9	11,9	13,5	9,0	13,2
b* (A.a.= 10%)	14,3	14,5	13,6	17,6	17,0

Tabla 40 Resultados más relevantes de la caracterización básica de las arcillas Teruel-4, 5, 6 y 7.

Arcilla	Teruel-4	Teruel-5	Teruel-6	Teruel-7
Rechazo a 63 μm (%)	5,1	1,2	4	1,8
Carbonatos (%)	<0,5	1,5	<0,5	<0,5
Densidad aparente en seco (g/cm^3)	2,030	1,966	2,000	1,950
Pérdida por calcinación (%)	5,46	6,67	5,65	7,62
Temperatura (A.a.= 2,5%) ($^{\circ}\text{C}$)	1328	1282	1289	1268
Temperatura (A.a.= 10%) ($^{\circ}\text{C}$)	1210	1162	1156	1116
L* (A.a.= 2,5%)	73,0	68,0	74,0	69,0
L* (A.a.= 10%)	81,0	77,0	83,5	79,5
b* (A.a.= 2,5%)	8,4	9,9	9,9	12,5
b* (A.a.= 10%)	12,8	9,8	12,7	14,1

Tabla 41 Resultados más relevantes de la caracterización básica de las arcillas Teruel-8, 9, 10 y 11.

Arcilla	Teruel-8	Teruel-9	Teruel-10	Teruel-11
Rechazo a 63 μm (%)	11,7	8,2	3,4	13,7
Carbonatos (%)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Densidad aparente en seco (g/cm^3)	1,901	1,808	1,826	1,541
Pérdida por calcinación (%)	11,68	12,15	11,29	13,44
Temperatura (A.a.= 2,5%) ($^{\circ}\text{C}$)	-	-	-	1225
Temperatura (A.a.= 10%) ($^{\circ}\text{C}$)	1176	1176	1210	1178
L* (A.a.= 2,5%)	-	-	-	82,0
L* (A.a.= 10%)	76,5	76,5	80,0	85,0
b* (A.a.= 2,5%)	-	-	-	13,0
b* (A.a.= 10%)	7,5	7,5	12,7	9,7

4. Resultados

Tabla 42 Resultados más relevantes de la caracterización básica de las arcillas Asturias-1 y 2, Zamora-1, Badajoz-1 y A Coruña-1.

Arcilla	Asturias-1	Asturias-2	Zamora-1	Badajoz-1	A Coruña-1
Rechazo a 63 μm (%)	13,7	11,5	5,3	19,7	6,1
Carbonatos (%)	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5
Densidad aparente en seco (g/cm^3)	1,983	1,928	1,814	1,970	1,867
Pérdida por calcinación (%)	3,81	4,50	10,42	6,50	8,30
Temperatura (A.a.= 2,5%) ($^{\circ}\text{C}$)	-	1313	1263	1204	1140
Temperatura (A.a.= 10%) ($^{\circ}\text{C}$)	1241	1176	1156	1124	--
L* (A.a.= 2,5%)	-	80,0	81,0	64,0	82,5
L* (A.a.= 10%)	84,0	82,0	87,0	76,5	--
b* (A.a.= 2,5%)	9,7	8,9	10,6	5,7	20,0
b* (A.a.= 10%)	11,5	10,3	11,6	7,7	--

Para una mejor visualización de las diferencias en blancura de las arcillas caracterizadas, en las figuras siguientes se muestran las probetas cocidas.



Figura 32 Imagen de las probetas cocidas a 1120°C (fila superior) y a 1220°C (fila inferior) de las arcillas Teruel-1 a 3.



Figura 33 Imagen de las probetas cocidas a 1120°C (fila superior) y a 1220°C (fila inferior) de las arcillas Teruel-12 y 13 y de la arcilla Badajoz-1.

4. Resultados



Figura 34 Imagen de las probetas cocidas a 1120°C (fila superior) y a 1220°C (fila inferior) de las arcillas Teruel-4, 5, 6 y 7.

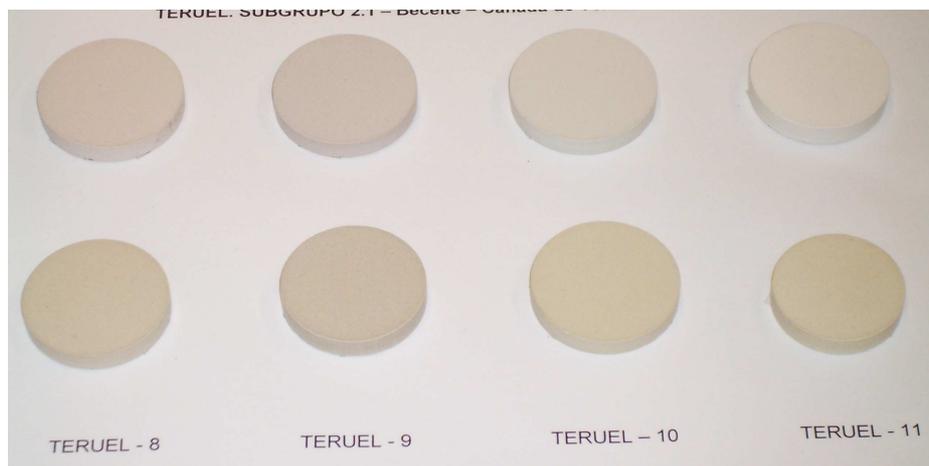


Figura 35 Imagen de las probetas cocidas a 1120°C (fila superior) y a 1220°C (fila inferior) de las arcillas Teruel-8 a 11.



Figura 36 Imagen de las probetas cocidas a 1120°C (fila superior) y a 1220°C (fila inferior) de las arcillas Asturias-1 y 2 y Zamora-1.



Figura 37 Imagen de las probetas cocidas a 1120°C (fila superior) y a 1220°C (fila inferior) de las arcillas de Ucrania utilizadas en el sector.

Según los criterios establecidos pueden establecerse las siguientes observaciones para las diferentes arcillas:

Teruel:

- Dentro de las arcillas de Teruel pueden establecerse dos grandes grupos empleando como criterio la blancura: Grupo 1, arcillas de blancura similar a las de estas zonas empleadas actualmente en el sector y Grupo 2, arcillas de blancura más alta (intermedia entre la del primer grupo y la de las arcillas de Asturias, A Coruña y Zamora). El Grupo 1 comprende, por tanto, las arcillas Teruel-1, 2, 3, 12 y 13 (Tabla 39) y el Grupo 2 las arcillas Teruel-4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 (Tablas 40 y 41).
- Las arcillas del Grupo 1 presentan una alta compacidad (salvo la muestra Teruel-3, de peor comportamiento en el prensado) y fundencia medio-alta. Así para la segunda fase de ensayos se decidió continuar con dos muestras, por un lado una mezcla a partes iguales de las arcillas Teruel-1, 2 y 3 (ya que son de la misma zona y no difieren de forma considerable) y por otro lado la arcilla Teruel-13 ya que sus propiedades son similares a las de la arcilla Teruel-12 pero con blancura y fundencia ligeramente más altas.
- Las arcillas del Grupo 2, como ya se ha indicado con blancuras superiores a las del Grupo 1, presentan comportamientos en el prensado y en la cocción muy dispares, existiendo muestras de alta, media y baja compacidad y fundencia media y baja. De la misma forma la disparidad de valores de la pérdida por calcinación indican diferente mineralogía.
- Dentro de las arcillas del Grupo 2 se pueden hacer a su vez dos subgrupos, las arcillas de alta pérdida por calcinación y baja o muy baja compacidad (Teruel-8 a 11) y las de pérdida media y compacidad medio-alta (Teruel-4 a 7).
- Para la segunda fase de ensayos se pensó en seleccionar del Grupo 2 una arcilla de cada zona. Así de las arcillas Teruel-4 y 5 se seleccionó la arcilla Teruel-4 por proporcionar mayor compacidad y blancura. De las arcillas Teruel-6 y 7, con propiedades similares a las anteriores, se seleccionó la arcilla Teruel-6 por los mismos criterios (mayor compacidad y blancura). Dentro del subgrupo de alta pérdida se seleccionaron las arcillas Teruel-8 y 10 (cada una de diferente zona) ya que con respecto a las arcillas Teruel-9 y 11 el comportamiento en el prensado era considerablemente mejor.

Asturias:

- Las arcillas Asturias-1 y 2 presentan valores elevados del residuo a 63 μm y compacidad media (más alta en el caso de Asturias-1).
- Las arcillas presentan bajos contenidos de mineral arcilloso y baja fundencia siendo el aspecto de mayor interés su elevada blancura.

- La principal diferencia entre estas dos arcillas es el contenido en mineral arcilloso (suponiendo que es del mismo tipo), que debe ser más alto para la arcilla Asturias-2. Si se considera que el principal mineral desgrasante en estas arcillas es cuarzo (material de elevada refractariedad), esto justificaría la mayor fundencia y menor compacidad de la arcilla Asturias-2.
- Por todo ello, y dada la escasez de arcillas nacionales de alta blancura existentes hasta la fecha, se decidió continuar la caracterización con una mezcla a partes iguales de estas dos arcillas.

A Coruña:

- La arcilla de la zona de A Coruña presenta baja compacidad y como aspectos positivos muy elevada fundencia y alta blancura (aunque con tonalidad amarillenta), por lo que resulta de gran interés. Esta es la razón de la selección de esta arcilla para la segunda fase de ensayos.

Badajoz:

- La arcilla de Badajoz presenta propiedades en crudo similares a las de Teruel-12 y 13, aunque con mayor contenido de partículas grandes. Aunque el color en cocido de esta arcilla imposibilitaría su empleo en composiciones de elevada blancura (gres porcelánico no esmaltado o gres porcelánico esmaltado de alta blancura), si que podría emplearse en composiciones con requerimientos de blancura no tan elevados (azulejo o gres porcelánico esmaltado de baja blancura). Por este motivo se decidió continuar la caracterización de esta arcilla con los ensayos de la segunda fase.

Zamora:

- La arcilla de Zamora presenta alto contenido de minerales arcillosos, baja compacidad, fundencia media y blancura elevada. Esta alta blancura, unido a que actualmente es utilizada puntualmente por algunas empresas del sector son las principales razones de la selección de esta arcilla para la segunda fase de ensayos.

4.4.4.2 Fase 2. Caracterización complementaria

Tal como ya se ha indicado, las arcillas seleccionadas para la segunda fase son las siguientes:

- Mezcla a partes iguales de las arcillas Asturias-1 y 2.
- Arcilla A Coruña-1.
- Arcilla Badajoz-1.

- Arcilla Zamora-1.
- Mezcla a partes iguales de las arcillas Teruel-1, 2 y 3.
- Arcilla Teruel-4.
- Arcilla Teruel-6.
- Arcilla Teruel-8.
- Arcilla Teruel-10.
- Arcilla Teruel-13.

En las Tablas 43 a 45 se muestran las principales propiedades de las arcillas (incluyendo las de la primera fase). En lo que respecta a las arcillas que son mezcla de varias se han estimado estas propiedades a partir de los resultados de las muestras individuales. De los nuevos ensayos, en esta tabla se indican el contenido en sólidos para el que se obtiene el mínimo de la curva de desfloculación en el intervalo de viscosidades comprendido entre 500 y 1000 cP así como el contenido en desfloculante correspondiente al mínimo de viscosidad. El resto de datos son el índice de plasticidad y los contenidos de materia orgánica y de sulfatos. Estos dos últimos datos son de gran importancia. En efecto, la materia orgánica puede conducir a la aparición de corazón negro. Este defecto, que aparece cuando el contenido de materia orgánica de la composición es elevado, no suele observarse (para composiciones de cocción blanca) cuando se emplean arcillas con contenidos inferiores al 0,5%. La otra impureza, los sulfatos, resulta muy perjudicial dado que empeoran considerablemente la desfloculación además de producir en ocasiones defectos en el vidriado. Para esta impureza se suele establecer el límite de un 0,2% como máximo.

Según los criterios establecidos pueden establecerse las siguientes observaciones para las diferentes arcillas:

Teruel:

- Dentro de las arcillas del Grupo 1, los altos contenidos de materia orgánica y principalmente de sulfatos de la mezcla Teruel-1, 2 y 3 hacen que no resulte adecuada para la fabricación de baldosas cerámicas.
- La otra arcilla del Grupo 1, la arcilla Teruel-13 presenta una plasticidad que se encuentra en la zona alta del intervalo de valores de las arcillas de Teruel empleadas actualmente. Su contenido en impurezas resulta aceptable y su comportamiento en la desfloculación también.
- Dentro de las arcillas del Grupo 2 la arcilla Teruel-10 se desestimó al obtener el resultado de la determinación del contenido de materia orgánica. El elevado valor obtenido condujo a que no se continuara con la caracterización. En el caso de la arcilla Teruel-8, aunque el contenido de impurezas era bajo, su baja plasticidad también hizo

que no se continuara con su caracterización.

- Con el resto de arcillas del Grupo 2 (Teruel-4 y 6) si que se completaron los ensayos de la segunda fase ya que su plasticidad, aun siendo baja no era tanto como la de la arcilla Teruel-8. El resto de resultados permiten establecer que estas arcillas presentan muy buen comportamiento en la desfloculación y un bajo contenido de materia orgánica. En lo que respecta a los sulfatos, el valor tan elevado de la arcilla Teruel-4 debe estar relacionado con compuestos insolubles ya que si fueran solubles conducirían a que el consumo de desfloculante fuera muy elevado, lo cual no se ha observado. Así, es de suponer que estos sulfatos (o una gran parte de ellos) son insolubles y, por tanto, no deben resultar un inconveniente para el empleo de esta arcilla en composiciones de soportes cerámicos.

Badajoz:

- La arcilla de Badajoz presenta una plasticidad similar a la de las arcillas de Teruel empleadas por el sector en la actualidad y un bajo contenido en materia orgánica. En lo que respecta al comportamiento en la desfloculación el contenido en sólidos es inferior al de las arcillas de Teruel pero su consumo de desfloculante es bajo. Esto hace suponer que el elevado valor de sulfatos obtenido debe estar relacionado con compuestos insolubles ya que si fueran solubles conducirían a que el consumo de desfloculante fuera muy alto.

Asturias:

- La mezcla de arcillas Asturias-1 y 2 presenta bajos contenidos de materia orgánica y de sulfatos pero como inconveniente muy baja plasticidad. El contenido en sólidos y el porcentaje de desfloculante son aceptables pero debe indicarse que a mayores contenidos en sólidos la arcilla presenta un comportamiento dilatante (la viscosidad aumenta con el gradiente de velocidad). Este comportamiento dilatante no debe en principio suponer un inconveniente dado que muchos caolines empleados en la fabricación de soportes de baldosas cerámicas también lo presentan y además si estas arcillas se introducen en una composición de soportes cerámicos probablemente deje de observarse este comportamiento dilatante.

A Coruña:

- La arcilla A Coruña-1 presenta elevada plasticidad (del orden de la de las arcillas procedentes de Ucrania). El contenido en materia orgánica es elevado, alcanzando el límite de lo que resulta aceptable. No se dispone de datos del contenido en sulfatos ni del comportamiento en la desfloculación dada la poca cantidad de muestra disponible, prefiriendo reservar el material restante para el

4. Resultados

estudio de formulación de composiciones (siguiente tarea del proyecto).

Zamora:

- La arcilla de Zamora presenta muy elevada plasticidad y muy mal comportamiento en la desfloculación. Estos dos factores se deben a que el mineral arcilloso de estas arcillas, ya empleadas en el sector (aunque no de forma mayoritaria), es de tipo montmorillonítico. Finalmente el contenido en impurezas es bajo.

Tabla 43 Resultados más relevantes de la caracterización de las arcillas Teruel-1+ 2+3, Teruel-13 y Badajoz-1.

Arcilla	Teruel-1+2+3	Teruel-13	Badajoz-1
Rechazo a 63 μm (%)	2,6	2,6	19,7
Carbonatos (%)	0,6	<0,5	<0,5
Carbono orgánico (%)	0,53	0,21	0,03
Sulfatos (%)	0,45	0,14	0,51
Índice de plasticidad (%)	18	23	20
Contenido en sólidos (%)	64	67	63
Porcentaje de desfloculante (%)	1,3	0,9	0,3
Densidad aparente en seco (g/cm^3)	2,015	2,018	1,970
Pérdida por calcinación (%)	7,52	6,05	6,50
Temperatura (A.a.= 2,5%) ($^{\circ}\text{C}$)	1250	1194	1204
Temperatura (A.a.= 10%) ($^{\circ}\text{C}$)	1120	1093	1124
L* (A.a.= 2,5%)	57,6	60,0	64,0
L* (A.a.= 10%)	71,2	73,0	76,5
b* (A.a.= 2,5%)	10,2	13,2	5,7
b* (A.a.= 10%)	14,1	17,0	7,7

Tabla 44 Resultados más relevantes de la caracterización de las arcillas Teruel-4, 6, 8 y 10.

Arcilla	Teruel-4	Teruel-6	Teruel-8	Teruel-10
Rechazo a 63 µm (%)	5,1	4	11,7	3,4
Carbonatos (%)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Carbono orgánico (%)	0,02	0,13	0,02	1,03
Sulfatos (%)	0,66	0,08	0,17	--
Índice de plasticidad (%)	15	16	13,5	--
Contenido en sólidos (%)	71	72	--	--
Porcentaje de desfloculante (%)	0,5	0,3	--	--
Densidad aparente en seco (g/cm ³)	2,030	2,000	1,901	1,826
Pérdida por calcinación (%)	5,46	5,65	11,68	11,29
Temperatura (A.a.= 2,5%) (°C)	1328	1289	-	-
Temperatura (A.a.= 10%) (°C)	1210	1156	1176	1210
L* (A.a.= 2,5%)	73,0	74,0	-	-
L* (A.a.= 10%)	81,0	83,5	76,5	80,0
b* (A.a.= 2,5%)	8,4	9,9	-	-
b* (A.a.= 10%)	12,8	12,7	7,5	12,7

Tabla 45 Resultados más relevantes de la caracterización de las arcillas Asturias-1+2, Zamora-1 y A Coruña-1.

Arcilla	Asturias-1+2	Zamora-1	A Coruña-1
Rechazo a 63 µm (%)	12,6	5,3	6,1
Carbonatos (%)	<0,5	0,6	<0,5
Carbono orgánico (%)	0,11	0,05	0,50
Sulfatos (%)	0,07	0,11	--
Índice de plasticidad (%)	12	46	32
Contenido en sólidos (%)	66	42	--
Porcentaje de desfloculante (%)	0,4	0,4	--
Densidad aparente en seco (g/cm ³)	1,962	1,814	1,867
Pérdida por calcinación (%)	4,16	10,42	8,30
Temperatura (A.a.= 2,5%) (°C)	-	1263	1140
Temperatura (A.a.= 10%) (°C)	1211	1156	--
L* (A.a.= 2,5%)	-	81,0	82,5
L* (A.a.= 10%)	83,0	87,0	--
b* (A.a.= 2,5%)	--	10,6	20,0
b* (A.a.= 10%)	10,9	11,6	--

4.4.5 Aplicación cerámica de las arcillas

Una vez finalizada la caracterización de las arcillas, para determinar su aplicación cerámica, se van a comparar sus propiedades con las de las arcillas empleadas mayoritariamente en el sector (procedentes de Teruel, Reino Unido y Ucrania) para la fabricación de soportes de cocción blanca (apartado 4.4.3 del presente documento).

4.4.5.1 Arcillas de Asturias

Estas arcillas presentan baja plasticidad, muy baja fundencia y elevada blancura. A pesar de su alta blancura no pueden utilizarse como alternativas directas a las arcillas de importación por su baja fundencia y plasticidad. Dado que el contenido en impurezas es bajo, si se utilizan en combinación con otras arcillas de alta plasticidad y fundencia pueden ser adecuadas para los soportes que requieran elevada blancura (gres porcelánico esmaltado de alta blancura y gres porcelánico no esmaltado). Para estos productos podrían utilizarse en porcentajes de hasta un 15% respecto al total de la fórmula.

4.4.5.2 Arcilla de A Coruña

La plasticidad de esta arcilla hace que sea comparable a las procedentes de Ucrania, lo cual es de gran importancia dada la hasta la fecha escasez a nivel nacional de arcillas de cocción blanca de elevada plasticidad.

Por otra parte, esta arcilla presenta un grado de fundencia superior incluso a las arcillas de Ucrania. Esta característica es especialmente relevante en la fabricación de azulejo dado que posiblemente su empleo disminuiría la expansión por humedad, reduciendo el riesgo de aparición de defectos tales como el cuarteo diferido. En estos productos podría introducirse como alternativa a las arcillas de importación (y por tanto en porcentajes de hasta un 20%).

Por otro lado, el alto grado de fundencia de la arcilla también es de gran interés para productos gresificados ya que permitiría reducir la proporción de feldespato, abaratando de esta manera el coste de la composición. La blancura de esta arcilla (similar en lo que respecta a la coordenada cromática L^* a las arcillas de importación pero con mayor tonalidad amarillenta) la hace adecuada para los soportes que requieran elevada blancura (gres porcelánico esmaltado de alta blancura y gres porcelánico no esmaltado). Para los productos gresificados podría utilizarse en porcentajes de hasta un 20% respecto al total de la fórmula. No debería superarse este porcentaje por el contenido de materia orgánica, que está en el límite de lo aceptable.

4.4.5.3 Arcilla de Badajoz

La arcilla de Badajoz presenta un comportamiento y propiedades similares a las arcillas de Teruel empleadas en la actualidad siendo especialmente destacable su fundencia, situada en la zona alta. Esto la hace adecuada para la fabricación de azulejos como alternativa a las arcillas de Teruel (y por tanto en porcentajes de hasta un 50% si se emplea en combinación con arcillas de alta plasticidad). Para productos de gres esmaltado y gres porcelánico esmaltado con bajos requerimientos de blancura puede emplearse en porcentajes de hasta un 30%.

4.4.5.4 Arcilla de Zamora

La arcilla de Zamora presenta una blancura similar a la de las arcillas de importación y una plasticidad muy superior como consecuencia de su contenido en montmorillonita. Sin embargo la presencia de este mineral, hace que su desfloculación sea problemática, por lo que puede emplearse como aporte de material de muy alta plasticidad y elevada blancura en cualquier tipo de producto pero en porcentajes no superiores al 10%.

4.4.5.5 Arcillas de Teruel

Dentro de esta serie se ha caracterizado una muestra (Teruel-13), que presenta un comportamiento y propiedades similares a las empleadas en la actualidad. Por tanto, esta arcilla puede emplearse en composiciones de azulejo en porcentajes de hasta un 50% y en productos gresificados de bajos requerimientos de blancura en porcentajes que no superen un 30%.

Como aspecto de gran interés por la proximidad geográfica, debe destacarse la existencia de arcillas (Teruel-4 y 6) de blancura intermedia entre la de las arcillas de esta zona empleadas actualmente y la de las arcillas de importación. Como inconveniente debe destacarse la baja plasticidad de estas arcillas y su también baja fundencia, limitando su uso a porcentajes inferiores al 20% para azulejos (siempre en combinación de arcillas de mayor plasticidad y fundencia elevada) y del 15% para productos gresificados (para cualquier requerimiento de blancura).

4.4.6 Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio permiten establecer que en las áreas geográficas estudiadas existen arcillas de diferentes niveles de blancura y plasticidad (los parámetros que constituyen las razones del uso de las arcillas de importación, tal como se ha indicado en el apartado 4.4.3 del presente documento). En la Tabla 46 se muestra un cuadro resumen en el que las arcillas se han clasificado en función de estas dos propiedades, indicando asimismo su fundencia por ser otra de las propiedades tecnológicas de gran importancia. El valor de la coordenada cromática L*

mediante el cual se han dividido en grupos corresponde al obtenido para una absorción de agua del 2,5%. Así las arcillas de blancura elevada son las equiparables (para este parámetro) a las arcillas de importación y las de blancura baja las equiparables a las arcillas de Teruel empleadas en la actualidad. La fundencia se ha evaluado como la temperatura a la que se obtiene una absorción de agua del 2,5%.

Tabla 46 Clasificación de las arcillas en función de su blancura, plasticidad y fundencia.

Blancura	Arcilla	Plasticidad	Fundencia	Principal inconveniente
Blancura elevada	Ucrania	ALTA	ALTA	
	A Coruña	ALTA	ALTA	Materia orgánica
	Asturias	MUY BAJA	MUY BAJA	Baja Plasticidad Refractariedad
	Zamora	MUY ALTA	ALTA	Mala desfloculación
Blancura media	Teruel-4 Teruel-6	BAJA	BAJA	Baja plasticidad Refractariedad
Blancura baja	Teruel habitual	MEDIA	MEDIA	
	Teruel-13	MEDIA	MEDIA	
	Badajoz	MEDIA	MEDIA	Coste transporte

Aunque ninguna de las arcillas reúne todas las características y propiedades de las arcillas de importación, hay mezclas de ellas que podrían resultar una alternativa ya que se han encontrado arcillas de blancura similar a las de importación y otras de plasticidad similar o incluso más alta. De esta forma resulta en principio posible formular composiciones de azulejo, gres y gres porcelánico esmaltado de blancura moderada con arcillas exclusivamente nacionales, aunque ello requiera la modificación de algunas variables del proceso de fabricación. El caso del gres porcelánico de elevada blancura presenta mayores problemas debido a la dificultad de compaginar una adecuada plasticidad de la composición, comportamiento reológico y blancura en el producto final.

Debe indicarse que las muestras caracterizadas provienen principalmente de permisos de investigación, por lo que no pueden considerarse totalmente representativas del área en la que se encuentran, es decir, cabe la posibilidad de que existan arcillas de mejores propiedades (más semejantes a las de importación) en el territorio nacional.

Estos resultados indican que las áreas que presentan una mayor probabilidad de existencia de arcillas de cocción blanca alternativas a las actuales son principalmente Asturias y A Coruña.

4.4.7 ANEXO

Propiedades físicas de la arcilla cocida a varias temperaturas

Muestra: Teruel-1

Rechazo a 63 μm	3,5 %
Humedad	5,5 %
Presión	300 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	2,035 g/cm^3
Carbonatos	1,5 %
Pérdida por calcinación a 1120 $^{\circ}\text{C}$	9,08 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	30 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1120	3,8	9,7	2,127
1220	7,3	2,9	2,396

Muestra: Teruel-2

Rechazo a 63 μm	3,9 %
Humedad	5,5 %
Presión	300 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	2,022 g/cm^3
Carbonatos	0,5 %
Pérdida por calcinación a 1120 $^{\circ}\text{C}$	5,29 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	30 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1120	1,8	10,9	2,047
1220	4,8	4,9	2,273

Propiedades físicas de la arcilla cocida a varias temperaturas

Muestra: **Teruel-3**

Rechazo a 63 µm	1,3 %
Humedad	5,5 %
Presión	300 kg/cm ²
Densidad aparente en seco	1,932 g/cm ³
Carbonatos	<0,5 %
Pérdida por calcinación a 1120 °C	8,14 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	30 minutos

Temperatura (°C)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm ³)
1120	4,5	9,3	2,097
1220	7,8	1,7	2,374

Muestra: **Teruel-4**

Rechazo a 63 µm	5,1 %
Humedad	5,5 %
Presión	300 kg/cm ²
Densidad aparente en seco	2,030 g/cm ³
Carbonatos	<0,5 %
Pérdida por calcinación a 1120 °C	5,46 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	30 minutos

Temperatura (°C)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm ³)
1120	0,9	12,9	1,982
1220	2,7	9,4	2,097
1320	5,8	3,0	2,330

Propiedades físicas de la arcilla cocida a varias temperaturasMuestra: **Teruel-5**

Rechazo a 63 μm	1,2 %
Humedad	5,5 %
Presión	300 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,966 g/cm^3
Carbonatos	1,5 %
Pérdida por calcinación a 1120 $^{\circ}\text{C}$	6,67 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	30 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1120	1,8	12,9	1,970
1220	4,9	6,2	2,195
1320	4,7	0,4	2,148

Muestra: **Teruel-6**

Rechazo a 63 μm	4 %
Humedad	5,5 %
Presión	300 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	2,000 g/cm^3
Carbonatos	<0,5 %
Pérdida por calcinación a 1120 $^{\circ}\text{C}$	5,65 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	30 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1120	1,7	11,6	2,013
1220	4,0	7,0	2,175
1320	6,6	0,4	2,401

Propiedades físicas de la arcilla cocida a varias temperaturasMuestra: **Teruel-7**

Rechazo a 63 μm	1,8 %
Humedad	5,5 %
Presión	300 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,950 g/cm^3
Carbonatos	<0,5 %
Pérdida por calcinación a 1120 $^{\circ}\text{C}$	7,62 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	30 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1120	4,1	9,8	2,092
1220	6,6	4,9	2,286
1320	8,1	0,0	2,413

Muestra: **Teruel-8**

Rechazo a 63 μm	11,7 %
Humedad	5,5 %
Presión	300 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,901 g/cm^3
Carbonatos	<0,5 %
Pérdida por calcinación a 1120 $^{\circ}\text{C}$	11,68 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	30 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1120	5,9	11,8	2,037
1220	9,9	5,9	2,339
1320	10,0	5,1	2,375

Propiedades físicas de la arcilla cocida a varias temperaturasMuestra: **Teruel-9**

Rechazo a 63 μm	8,2 %
Humedad	5,5 %
Presión	300 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,808 g/cm^3
Carbonatos	<0,5 %
Pérdida por calcinación a 1120 $^{\circ}\text{C}$	12,15 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	30 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1120	6,5	13,7	1,975
1220	10,3	7,8	2,254
1320	10,5	6,8	2,298

Muestra: **Teruel-10**

Rechazo a 63 μm	3,4 %
Humedad	5,5 %
Presión	300 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,826 g/cm^3
Carbonatos	<0,5 %
Pérdida por calcinación a 1120 $^{\circ}\text{C}$	11,29 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	30 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1120	4,1	16,2	1,862
1220	7,8	9,5	2,113
1320	8,6	8,4	2,159

Propiedades físicas de la arcilla cocida a varias temperaturas

Muestra: Teruel-11

Rechazo a 63 μm	13,7 %
Humedad	5,5 %
Presión	300 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,541 g/cm^3
Carbonatos	<0,5 %
Pérdida por calcinación a 1120 $^{\circ}\text{C}$	13,44 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	30 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1120	8,5	19,7	1,773
1220	18,1	3,3	2,476

Muestra: Teruel-12

Rechazo a 63 μm	2,4 %
Humedad	5,5 %
Presión	300 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	2,031 g/cm^3
Carbonatos	0,8 %
Pérdida por calcinación a 1120 $^{\circ}\text{C}$	6,68 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	30 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1120	3,1	9,1	2,130
1220	6,4	2,3	2,392

Propiedades físicas de la arcilla cocida a varias temperaturasMuestra: **Teruel-13**

Rechazo a 63 μm	2,6 %
Humedad	5,5 %
Presión	300 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	2,018 g/cm^3
Carbonatos	<0,5 %
Pérdida por calcinación a 1120 $^{\circ}\text{C}$	6,05 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	30 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1120	3,8	7,8	2,175
1220	6,7	0,6	2,418

Muestra: **Asturias-1**

Rechazo a 63 μm	13,7 %
Humedad	5,5 %
Presión	300 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,983 g/cm^3
Carbonatos	<0,5 %
Pérdida por calcinación a 1120 $^{\circ}\text{C}$	3,81 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	30 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1120	0,4	13,5	1,943
1220	1,7	11,0	2,029
1320	4,4	5,8	2,212

Propiedades físicas de la arcilla cocida a varias temperaturasMuestra: **Asturias-2**

Rechazo a 63 μm	11,5 %
Humedad	5,5 %
Presión	300 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,928 g/cm^3
Carbonatos	<0,5 %
Pérdida por calcinación a 1120 $^{\circ}\text{C}$	4,50 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	30 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1120	1,4	13,0	1,960
1220	4,3	7,8	2,149
1320	7,0	2,0	2,368

Muestra: **Zamora-1**

Rechazo a 63 μm	5,3 %
Humedad	5,5 %
Presión	300 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,814 g/cm^3
Carbonatos	0,6 %
Pérdida por calcinación a 1120 $^{\circ}\text{C}$	10,42 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	30 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1120	3,3	13,2	1,894
1220	7,1	4,8	2,234
1270	8,4	2,2	2,384

Propiedades físicas de la arcilla cocida a varias temperaturasMuestra: **Badajoz-1**

Rechazo a 63 μm	19,7 %
Humedad	5,5 %
Presión	300 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,970 g/cm^3
Carbonatos	<0,5 %
Pérdida por calcinación a 1120 $^{\circ}\text{C}$	6,50 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	30 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1120	1,9	10,3	2,039
1220	5,3	1,0	2,394

Muestra: **A Coruña-1**

Rechazo a 63 μm	6,1 %
Humedad	5,5 %
Presión	300 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,867 g/cm^3
Carbonatos	<0,5 %
Pérdida por calcinación a 1140 $^{\circ}\text{C}$	8,30 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	30 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1140	8,3	2,5	2,373

4. Resultados

Coordenadas cromáticas

Muestra: Teruel-1

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1120	66,1	8,4	14,0
1220	52,1	3,1	7,4

Muestra: Teruel-2

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1120	70,8	8,7	15,2
1220	60,9	4,0	10,8

Muestra: Teruel-3

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1120	75,2	7,6	16,3
1220	63,6	3,0	13,3

Muestra: Teruel-4

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1120	85,2	2,2	10,8
1220	79,9	1,6	12,8
1320	73,0	0,6	8,9

Muestra: Teruel-5

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1120	81,3	3,6	9,7
1220	71,4	2,8	10,1
1320	66,6	0,2	9,8

Muestra: Teruel-6

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1120	85,3	2,1	11,2
1220	80,6	1,4	14,3
1320	70,5	0,0	7,6

Coordenadas cromáticasMuestra: **Teruel-7**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1120	79,4	5,3	14,2
1220	72,5	2,9	15,3
1320	65,0	0,2	8,7

Muestra: **Teruel-8**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1120	80,1	4,0	7,0
1220	78,1	2,9	12,2
1320	78,6	6,2	22,7

Muestra: **Teruel-9**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1120	77,8	3,7	5,6
1220	75,3	2,6	10,5
1320	75,5	10,4	28,1

Muestra: **Teruel-10**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1120	82,5	1,6	6,2
1220	79,6	2,1	13,6
1320	74,3	5,7	23,1

Muestra: **Teruel-11**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1120	89,2	0,9	5,6
1220	82,3	1,7	12,6

Muestra: **Teruel-12**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1120	68,8	8,6	16,5
1220	55,4	2,5	8,8

Coordenadas cromáticas

Muestra: Teruel-13

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1120	68,8	9,5	19,3
1220	56,4	2,9	11,0

Muestra: Asturias-1

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1120	88,8	1,1	8,4
1220	85,5	1,3	11,3
1320	80,8	1,8	10,6

Muestra: Asturias-2

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1120	90,4	1,0	7,4
1220	85,2	1,3	11,6
1320	79,5	1,5	8,7

Muestra: Zamora-1

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1120	89,6	1,7	10,9
1220	82,5	0,1	12,2
1270	79,1	-0,4	7,7

Muestra: Badajoz-1

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1120	77,0	4,7	7,8
1220	61,3	2,6	5,3

Muestra: A Coruña-1

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1140	82,5	0,3	20,0

L* Coordenada negro-blanco

a* Coordenada verde-rojo

b* Coordenada azul-amarillo

Determinación realizada en espectrofotómetro COLOR EYE 7000 MACBETH

Plasticidad**Método de indentación****Muestra: Mezcla de Teruel-1, Teruel-2 y Teruel-3**

Límite líquido	39,0%
Límite plástico	21,0%
Indice de plasticidad	18,0%

Muestra: Teruel-4

Límite líquido	30,5%
Límite plástico	15,0%
Indice de plasticidad	15,5%

Muestra: Teruel-6

Límite líquido	36,0%
Límite plástico	20,0%
Indice de plasticidad	16,0%

Muestra: Teruel-8

Límite líquido	36,0%
Límite plástico	22,5%
Indice de plasticidad	13,5%

Muestra: Teruel-13

Límite líquido	41,5%
Límite plástico	18,5%
Indice de plasticidad	23,0%

Muestra: Zamora-1

Límite líquido	70,0%
Límite plástico	24,0%
Indice de plasticidad	46,0%

Plasticidad

Método de indentación

Muestra: Badajoz-1

Límite líquido	43,0%
Límite plástico	23,0%
Índice de plasticidad	20,0%

Muestra: A Coruña-1

Límite líquido	52,0%
Límite plástico	20,0%
Índice de plasticidad	32,0%

Muestra: Mezcla de Asturias-1 y Asturias-2

Límite líquido	34,5%
Límite plástico	22,5%
Índice de plasticidad	12,0%

Curva de desfloculaciónMuestra: Mezcla de **Teruel-1, Teruel-2 y Teruel-3**

Desfloculante utilizado: Tripolifosfato sódico / Metasilicato sódico (1/1)

Agua utilizada: destilada

Contenido en sólidos: 64,3%

Desfloculante añadido (%)	Viscosidad 1' (cP)	Tixotropía (dif °G)
0,80	7300	-
0,86	5050	-
0,91	3950	-
1,00	2650	-
1,10	1220	-
1,15	760	-
1,20	613	-
1,30	490	-
1,40	490	29
1,50	490	19

Muestra: **Teruel 4**Desfloculante utilizado: **Tripolifosfato sódico / Metasilicato sódico (1/1)**

Agua utilizada: destilada

Contenido en sólidos: 71,0%

Desfloculante añadido (%)	Viscosidad 1' (cP)	Tixotropía (dif °G)
0,40	3550	-
0,47	1050	-
0,53	575	-
0,59	600	14
0,65	700	-

Curva de desfloculación

Muestra: **Teruel 6**

Desfloculante utilizado: Tripolifosfato sódico / Metasilicato sódico (1/1)

Agua utilizada: destilada

Contenido en sólidos: 72,0%

Desfloculante añadido (%)	Viscosidad 1' (cP)
0,15	1260
0,20	538
0,30	525
0,40	900
0,45	1180

Muestra: **Teruel 13**

Desfloculante utilizado: Tripolifosfato sódico / Metasilicato sódico (1/1)

Agua utilizada: destilada

Contenido en sólidos: 67,5%

Desfloculante añadido (%)	Viscosidad 1' (cP)	Tixotropía (dif °G)
0,70	1360	-
0,72	1260	-
0,74	1200	-
0,78	1180	19
0,85	1100	14
0,90	1100	9
0,97	1100	4

Curva de desfloculaciónMuestra: **Zamora-1**

Desfloculante utilizado: Tripolifosfato sódico / Metasilicato sódico (1/1)

Agua utilizada: destilada

Contenido en sólidos: 41,8%

Desfloculante añadido (%)	Viscosidad 1' (cP)	Tixotropía (dif °G)
0,20	1880	-
0,25	1400	-
0,29	1075	-
0,34	875	-
0,39	760	-
0,43	760	44
0,47	760	50
0,54	888	54
0,62	1100	68

Muestra: **Badajoz-1**

Desfloculante utilizado: Tripolifosfato sódico / Metasilicato sódico (1/1)

Agua utilizada: destilada

Contenido en sólidos: 62,8%

Desfloculante añadido (%)	Viscosidad 1' (cP)	Tixotropía (dif °G)
0,25	1030	-
0,27	875	-
0,30	760	-
0,33	733	-
0,36	733	-
0,41	750	13
0,46	820	4

4. Resultados

Muestra: Mezcla de **Asturias-1 y Asturias-2**

Desfloculante utilizado: Tripolifosfato sódico / Metasilicato sódico (1/1)

Agua utilizada: destilada

Contenido en sólidos: 66,0%

Desfloculante añadido (%)	Viscosidad 1' (cP)	Tixotropía (dif °G)
0,23	1000	-
0,31	680	-
0,36	300	4
0,50	300	2
0,60	300	2

4.5 Tarea 3. Ensayos cerámicos sobre feldespatos

4.5.1 Antecedentes

En el presente apartado se exponen los resultados obtenidos en la caracterización de las arenas feldespáticas y feldespatos recibidos en el Instituto de Tecnología Cerámica (ITC) durante los meses de octubre y noviembre de 2006. Las muestras, que fueron suministradas por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), procedían de diferentes zonas de España. El objetivo de esta parte del estudio es localizar feldespatos a nivel nacional que presenten propiedades adecuadas para permitir la obtención de composiciones de soportes de cocción blanca.

Este estudio se encuadra en el proyecto “Materias primas nacionales alternativas para la fabricación de baldosas cerámicas”, que está enmarcado en la línea de proyectos de especial relevancia para centros de investigación en colaboración con empresas, con la referencia GVEMP06/023 y financiado por la Generalitat Valenciana por medio de la Conselleria d’Empresa, Universitat i Ciència.

Las referencias asignadas a las muestras, así como la zona de la que proceden, se enumeran a continuación.

Guadalajara:

- Guadalajara-1. Arena feldespática procedente de una explotación en Poveda de la Sierra. Mineral en estado bruto.
- Guadalajara-2. Arena feldespática procedente de una explotación en Poveda de la Sierra. Producto final (sometido a procesos de beneficio).
- Guadalajara-3. Arena feldespática procedente de otra explotación en Poveda de la Sierra.

Orense:

- Orense-1. Feldespato procedente de una explotación en Sarreaus. Mineral en estado bruto.
- Orense-2. Feldespato procedente de una explotación en Sarreaus. Producto final.
- Orense-3. Arena feldespática procedente de Xinzo de Limia. Mineral en estado bruto.

Madrid:

- Madrid-1. Feldespato procedente de una explotación en El Vellón. Mineral en estado bruto.

Ávila:

- Ávila-1. Feldespato procedente de la zona del Puerto de Villatoro. Mineral en estado bruto.
- Ávila-2 y Ávila-3. Feldespatos procedentes de la zona del Sistema Central. Minerales en estado bruto.

Salamanca:

- Salamanca-1. Feldespato procedente de una explotación en La Fregeneda. Mineral en estado bruto.

Lugo:

- Lugo-1. Feldespato procedente de una explotación en Barreiros. Material Todo-Uno.
- Lugo-2. Feldespato procedente de una explotación en Barreiros. Producto final.

Córdoba:

- Córdoba-1 y Córdoba-2. Feldespatos procedentes de Fuenteovejuna. Minerales en estado bruto.

Sevilla:

- Sevilla-1. Feldespato procedente de una explotación en Cazalla de la Sierra. Mineral en estado bruto.
- Sevilla-2. Feldespato procedente de una explotación en Cazalla de la Sierra. Producto final.

4.5.2 Ensayos realizados

El trabajo se desarrolló en dos fases consecutivas, las cuales se comentan a continuación.

En una primera fase se realizó un programa de ensayos básicos con el propósito de desestimar aquellas muestras que no reúnan los requisitos mínimos para ser utilizadas en la fabricación de baldosas cerámicas. Los ensayos realizados en esta primera fase fueron los siguientes:

- Ensayo de fusión.
- Color de cocción.
- Evaluación de la presencia de impurezas.

Estos resultados proporcionan la información necesaria para seleccionar las muestras que presentan las características más idóneas para su empleo en la obtención de composiciones de soportes cerámicos de cocción blanca (fundencia y blancura). Una vez finalizada la primera fase, en la segunda

fase se completó la caracterización de las muestras seleccionadas mediante los ensayos que se indican a continuación:

- Análisis químico.
- Composición mineralógica (de algunas de las muestras).
- Separación de impurezas magnéticas mediante imán permanente y ensayo de fusión del producto obtenido tras la separación. Únicamente de los minerales recibidos en estado bruto.
- Tratamientos de beneficio: separación magnética de barrera y enriquecimiento en álcalis (flotación). Únicamente de los minerales recibidos en estado bruto cuando no se disponía del producto final al no tratarse de una explotación.

A continuación se describen brevemente los métodos utilizados para la preparación de las muestras y la realización de los ensayos anteriormente mencionados.

4.5.2.1 *Ensayo de fusión*

Las muestras de feldespato se molturaron, por vía húmeda con acetona, en un molino de bolas de laboratorio hasta alcanzar un residuo sobre tamiz de 75 μm comprendido entre el 2 y el 3%, secándose la barbotina obtenida en lámparas de infrarrojos.

En el caso de las muestras Ávila-2 y Ávila-3, al recibirse en forma de bloques de más de 10 cm de arista, fue necesario triturarlos previamente a su molienda vía húmeda.

Con el polvo conseguido se conformaron probetas cilíndricas de aproximadamente 5 cm de diámetro y 7 mm de altura por prensado unidireccional. Estas probetas se cocieron en un horno eléctrico de laboratorio a una temperatura máxima de 1280°C durante 6 minutos. La velocidad de calentamiento fue de 300°C/hr y el enfriamiento se llevó a cabo por convección natural.

Sobre las probetas cocidas se examinó visualmente su aspecto; color, presencia de impurezas, forma, etc.

4.5.2.2 *Análisis químico*

La determinación de la composición química se ha llevado a cabo por espectrometría de fluorescencia de rayos X por dispersión de longitudes de onda, utilizando patrones de referencia que garantizan la trazabilidad de las medidas.

4.5.2.3 Identificación de estructuras cristalinas

La identificación de estructuras cristalinas se realizó por difracción de rayos X de la muestra en polvo, usando un difractómetro BRUKER Theta-Theta modelo D8 Advance.

La técnica consiste en hacer incidir un haz de rayos X, de longitud de onda conocida, sobre una muestra en polvo. El haz de rayos se difracta y se refleja con ángulos característicos de los planos de los cristales, obteniéndose el correspondiente difractograma, a partir del cual se identifican las especies mineralógicas presentes utilizando las fichas JCPDS para fases cristalinas puras.

4.5.2.4 Separación magnética mediante imán permanente

Para la determinación de partículas magnéticas, se realizó un tratamiento magnético al objeto de proceder a su separación. La separación magnética se realizó vía húmeda mediante un imán permanente de alta intensidad (12000 GAUSS).

4.5.2.5 Tratamientos de beneficio

Los minerales brutos que resultaron seleccionados tras la primera fase se enviaron a las instalaciones de tratamiento de minerales que posee el IGME (Instituto Geológico Minero de España).

Las muestras se sometieron a dos procesos:

- Flotación, para la separación del mineral en sus dos componentes: Feldespato y Cuarzo.
- Separación magnética, para la depuración de los productos finales.

Las pruebas de flotación se realizaron en una celda DENVER de laboratorio de 2,5 l de capacidad.

Las condiciones de operación de la flotación fueron las siguientes:

Parámetro	Flotación feldespato
Tiempo acondicionamiento (min)	10
Sólidos en el acondicionamiento (%)	10-20
Reactivos y dosificación (g/t)	Ácido fluorhídrico 1000 Colector Aero 3100 500 Queroseno 1000 Aerofroth 65 1000
pH	2-3

Las pruebas de separación magnética se realizaron en el equipo Frantz. Las condiciones de trabajo del equipo han sido las siguientes:

- Inclinación lateral 15°
- Intensidad de corriente 0,25, 0,30, 0,5, 1, 1,5 y 1,8 A
- Pendiente longitudinal 15°
- Caudal máximo 50 g/h

4.5.3 Feldespatos empleados actualmente en la fabricación de soportes de baldosas cerámicas

Los feldespatos desempeñan principalmente el papel de fundentes en las composiciones empleadas para la fabricación de pavimentos cerámicos, proveyendo las primeras fases líquidas que aparecen durante la cocción en cuyo seno tienen lugar importantes fenómenos de disolución y precipitación. La adición de estos materiales facilita la fusión y reactividad de la mezcla de materias primas, siendo más efectiva la acción del feldespato sódico que la del potásico. Por otro lado, los feldespatos actúan como desgrasantes, mejorando la compacidad de las piezas conformadas.

Para poder determinar la aplicación cerámica de las muestras caracterizadas en este documento resulta necesario describir los feldespatos que se emplean en la actualidad en la fabricación de soportes cerámicos así como su composición química. Esta información se encuentra en el apartado 4.2 (páginas 98 a 118), mostrándose a continuación los datos de mayor interés para esta parte del estudio. Con esta información será posible comparar sus propiedades con las de las muestras caracterizadas en este estudio y de esta forma determinar la viabilidad de empleo (para cada tipo de soportes) y estimar en que porcentajes.

Debe indicarse que el criterio que se ha utilizado en el presente documento para agrupar las muestras ha sido el basado en la composición química. De esta forma se denomina feldespato sódico al que contiene más de un 5% en peso de Na_2O , feldespato potásico aquel que contiene más de un 10% en peso de K_2O y feldespato mixto sódico-potásico aquel en el que la suma de Na_2O y K_2O es mayor de un 7%. Finalmente también existen feldespatos mixtos que contienen además de Na_2O y K_2O otros óxidos alcalinos (Li_2O) o alcalinotérreos (CaO y/o MgO).

Los feldespatos alcalinos son los más empleados por la industria cerámica. El resto de los feldespatos son poco utilizados debido a las impurezas que presentan y/o a su escasez. En la Tabla 47 se detallan los análisis químicos de los principales feldespatos importados, usados en España para la fabricación de baldosas cerámicas. La inmensa mayoría son feldespatos sódicos (Turquía y Marruecos) ó sódico-potásicos (Francia), incluyendo alguno de ellos otros elementos como el calcio y magnesio (Cerdeña). También debe indicarse que en los últimos años han aparecido en el mercado algunos productos bajo el nombre de feldespato que en realidad

son mezclas de feldespatos y otros minerales que suelen incorporar óxidos alcalinotérreos para aumentar su fundencia, como carbonatos y talco.

Tabla 47 Composición química de los feldespatos importados consumidos en España (% en peso).

Óxido	Turquía	Cerdeña	Francia
SiO ₂	69-71	66	73-77
Al ₂ O ₃	18,5-19,5	18	14-21
Fe ₂ O ₃	0,05-0,20	0,5	0,15-1,5
CaO	0,5	1,2	0,5-1,5
MgO	0,1	3,0	0,1-3,5
Na ₂ O	9,5-10,5	8,0	5,0-9,0
K ₂ O	0,3	0,3	0,5-8,0
TiO ₂	0,10-0,30	0,5	0,05-0,8
ppc	0,3	1,8	0,1-1,3

4.5.4 Resultados de la caracterización de las muestras

Los resultados obtenidos se detallan en el anexo. A partir de los resultados se han confeccionado una serie de figuras y tablas que se comentan a continuación.

4.5.4.1 Fase 1. Caracterización básica

En las Figuras 38 a 44 se muestran las probetas obtenidas en el ensayo de fusión.

Guadalajara:

En el caso de las muestras procedentes de Guadalajara al obtenerse las probetas de fusión de los productos finales (Figura 38) y observar que se trataba de arenas feldespáticas (como puede observarse, muy bajo grado de fusión a la temperatura ensayada) no se realizó la caracterización del mineral en bruto (Guadalajara-1) sino que sólo se continuó con los productos finales, determinando la composición química. La razón estriba en que las arenas feldespáticas son un producto de procedencia nacional utilizado mayoritariamente por el sector por lo que no es objeto del presente estudio.



Figura 38 Imagen de las probetas obtenidas tras el ensayo de fusión de una arena feldespática procedente de la comunidad valenciana y de las muestras Guadalajara-2 y 4.

Orense:

En la Figura 39 se muestran las probetas de fusión obtenidas con las muestras Orense-1 y 2 así como, con fines comparativos, la probeta obtenida con un feldespato potásico consumido en la actualidad en los sectores de fabricación de fritas y de porcelana, procedente de Segovia. La muestra Orense-3 no se caracterizó mediante este ensayo sino que únicamente se determinó su composición química (como se verá en el apartado siguiente) para confirmar que se trataba de una arena feldespática (información suministrada por la empresa propietaria del permiso de investigación).

El motivo de comparar la muestra Orense-2 con un feldespato potásico es porque, como puede observarse, la probeta obtenida con esta muestra presentaba un aspecto similar a las existentes en el ITC de este tipo de feldespatos. Esta suposición se vio confirmada al determinar su composición química, como se verá en el apartado siguiente.

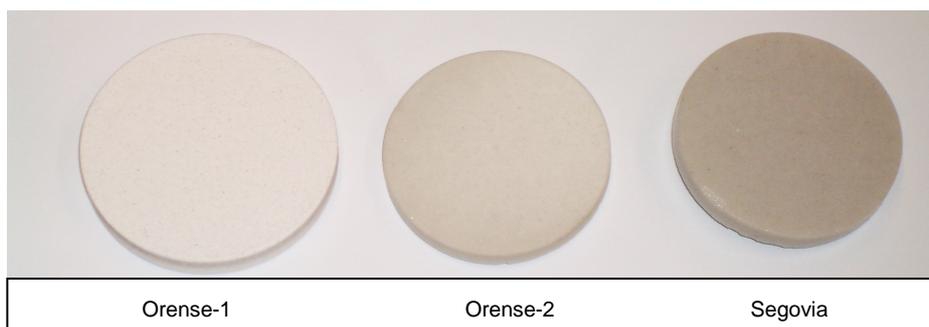


Figura 39 Imagen de las probetas obtenidas tras el ensayo de fusión de las muestras Orense-1 y 2 y de un feldespato potásico procedente de Segovia.

Madrid y Sevilla:

En la Figura 40 se muestran las probetas de fusión obtenidas con las muestras Madrid-1 y Sevilla-2 (la probeta obtenida con el mineral bruto, Sevilla-1 era similar aunque con menor grado de fusión) así como, con fines comparativos, las probetas obtenidas con feldespatos mixtos consumidos en la actualidad en el sector azulejero, procedentes de Francia y de Cáceres. El motivo de comparar con feldespatos mixtos (sódico-potásicos) se debe a que las probetas obtenidas con los feldespatos de Sevilla y Madrid presentaban un aspecto similar a las existentes en el ITC de este tipo de feldespatos. Esta suposición se vio confirmada en el caso de la muestra Madrid-1 al determinar su composición química, como se verá en el apartado siguiente. En cambio, como también se verá a continuación, en el caso de la muestra Sevilla-2 el bajo grado de fusión se debe a un mayor contenido de cuarzo ya que en realidad se trata de un feldespato de tipo sódico.

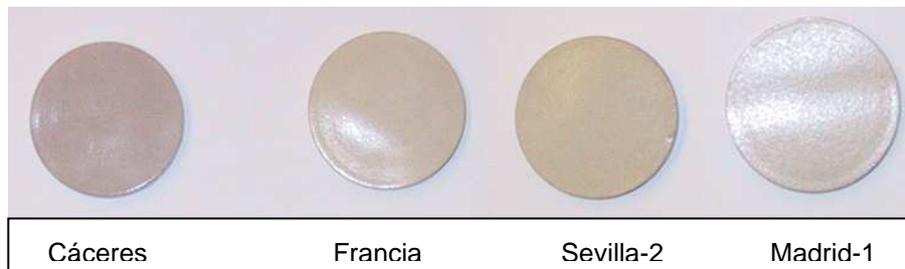


Figura 40 Imagen de las probetas obtenidas tras el ensayo de fusión de feldespatos mixtos procedentes de Francia y de Cáceres y de las muestras Madrid-1 y Sevilla-2.

Córdoba:

En la Figura 41 se muestran las probetas de fusión obtenidas con las muestras Córdoba-1 y Córdoba-2 y al igual que con las muestras de Madrid y Sevilla, con fines comparativos se incluyen las probetas obtenidas con feldespatos mixtos consumidos en la actualidad en el sector azulejero, procedentes de Francia y de Cáceres. Puede observarse que las probetas obtenidas presentan un aspecto similar a las existentes en el ITC de este tipo de feldespatos, aunque con un grado de blancura diferente.

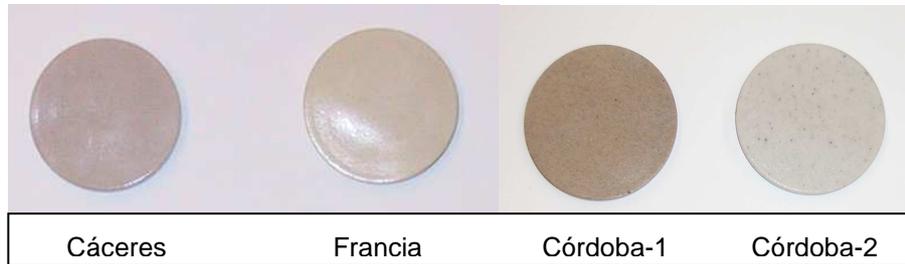


Figura 41 Imagen de las probetas obtenidas tras el ensayo de fusión de feldespatos mixtos procedentes de Francia y de Cáceres y de las muestras Córdoba-1 y Córdoba-2.

Lugo y Salamanca:

En la Figura 42 se muestran las probetas de fusión obtenidas con las muestras Lugo-2 (la probeta obtenida con el mineral bruto, Lugo-1 era similar aunque con menor grado de fusión) y Salamanca-1 así como, con fines comparativos, las probetas obtenidas con el feldespato sódico procedente de Turquía (calidad media) y con un feldespato que contiene litio procedente de Salamanca, ambos consumidos por el sector azulejero. El motivo de comparar con estos feldespatos es porque, como puede observarse, las probetas obtenidas con los dos feldespatos de Salamanca (tanto el de referencia como el caracterizado en este estudio) presentaban un aspecto similar tanto en lo que respecta a la blancura, que es muy elevada, como en fundencia, también alta. Como se verá en el apartado siguiente su composición química es similar. Por otro lado, puede apreciarse la elevada fundencia y la tonalidad tan oscura del feldespato de Lugo, utilizado por algunas empresas del sector para productos de bajos requerimientos de blancura.



Figura 42 Imagen de las probetas obtenidas tras el ensayo de fusión de feldespatos procedentes de Turquía (calidad media) y de Salamanca y de las muestras Salamanca-1 y Lugo-2.

Ávila:

En la Figura 43 se muestran las probetas de fusión obtenidas con las muestras Ávila-1, 2 y 3. En primer lugar debe recordarse que estas muestras

proceden de indicios, no siendo explotadas en la actualidad. El hecho de no estar sometidas a ningún tipo de tratamiento de separación magnética es la causa de su tonalidad tan oscura. Por otro lado se aprecia un alto grado de fusión de la muestra Ávila-1, revelando su superficie irregular una elevada formación de gases a alta temperatura. Esto podría deberse a la presencia de impurezas como minerales arcillosos y/o de micas, materiales que pueden presentarse como productos de alteración dentro de las partículas de los feldespatos y que contribuyen a formar gases a alta temperatura por la descomposición de los grupos OH que contienen. Las muestras 2 y 3, procedentes de la misma zona, presentan un aspecto similar, con gran cantidad de impurezas (puntos más claros) y con un menor grado de vitrificación respecto a la muestra 1.



Figura 43 Imagen de las probetas obtenidas tras el ensayo de fusión de las muestras Ávila-1, 2 y 3.

4.5.4.2 Fase 2. Caracterización complementaria

A continuación se van a enumerar las muestras seleccionadas para la segunda fase, según los resultados obtenidos en la primera fase del estudio.

- Guadalajara-2. Arena feldespática procedente de una explotación en Poveda de la Sierra. Producto final (sometido a procesos de beneficio).
- Guadalajara-3. Arena feldespática procedente de otra explotación en Poveda de la Sierra.
- Orense-2. Feldespato procedente de una explotación en Sarreaus. Producto final.
- Orense-3. Arena feldespática procedente de Xinzo de Limia. Mineral en estado bruto.
- Madrid-1. Feldespato procedente de una explotación en El Vellón. Mineral en estado bruto.
- Ávila-1. Feldespato procedente de la zona del Puerto de Villatoro. Mineral en estado bruto.

- Mezcla de las muestras Ávila-2 y Ávila-3. Feldespatos procedentes de la zona del Sistema Central. Minerales en estado bruto.
- Salamanca-1. Feldespato procedente de una explotación en La Fregeneda. Mineral en estado bruto.
- Lugo-2. Feldespato procedente de una explotación en Barreiros. Producto final.
- Córdoba-1 y Córdoba-2. Feldespatos procedentes de Fuenteovejuna. Minerales en estado bruto.
- Sevilla-2. Feldespato procedente de una explotación en Cazalla de la Sierra. Producto final.

Por tanto es evidente que las muestras con las que no se continuó fueron Orense-1, Lugo-1 y Sevilla-1 por ser minerales en bruto y disponerse de los productos finales (Orense-2, Lugo-2 y Sevilla-2).

Los resultados de la caracterización complementaria de las muestras seleccionadas se van a exponer a continuación agrupándolos por tipo de mineral.

4.5.4.2.1 Arenas feldespáticas de Guadalajara y de Orense

En la Tabla 48 se muestran los porcentajes de los óxidos más relevantes de las arenas feldespáticas caracterizadas, comparándolos con los de la arena de referencia (procedente de la Comunidad Valenciana). Puede observarse que las muestras procedentes de Guadalajara son muy parecidas entre ellas y también respecto a la de referencia. En cambio la muestra de Orense presenta un mayor contenido de feldespato (como se desprende del contenido de alúmina y de óxido de potasio) pero también una elevada proporción de Fe_2O_3 , consecuencia de que es una muestra no tratada.

Tal como se ha indicado en la introducción la búsqueda y caracterización de arenas que contienen exclusivamente feldespato potásico no es uno de los objetivos principales del estudio ya que las que se consumen actualmente son de procedencia nacional, aunque siempre es de interés de cara al futuro conocer otras áreas donde existan estos materiales que se introducen en mayor o menor medida en todas las composiciones de soportes de cocción blanca. Por todo ello con estas muestras no se realizaron más ensayos.

Tabla 48 Composición química de las arenas feldespáticas caracterizadas y de una procedente de la Comunidad Valenciana consumida por el sector (% en peso).

Óxido	Comunidad Valenciana	Guadalajara-2	Guadalajara-3	Orense-3
SiO ₂	91,0	89,6	88,2	83,2
Al ₂ O ₃	5,0	6,0	6,8	9,0
Fe ₂ O ₃	0,12	0,12	0,10	1,21
CaO	0,10	0,08	0,18	0,10
MgO	0,01	0,03	0,04	0,12
Na ₂ O	0,10	0,05	0,05	0,71
K ₂ O	2,50	2,20	2,61	4,01
TiO ₂	0,08	0,07	0,06	0,14
ppc	1,10	1,46	1,79	1,38

4.5.4.2.2 Feldespatos potásicos

En la Tabla 49 se muestran los porcentajes de los óxidos más relevantes del feldespato Orense-2 y del feldespato potásico empleado como referencia (procedente de Segovia). Puede observarse que la muestra de Orense presenta una mayor proporción de óxido de potasio y menor de sodio, lo cual resulta muy interesante para su empleo en la fabricación de fritas cerámicas aunque como inconveniente está la superior proporción de TiO₂ y de Fe₂O₃.

Tabla 49 Composición química del feldespato Orense-2 y del feldespato potásico empleado como referencia (procedente de Segovia) (% en peso).

Óxido	Segovia	Orense-2
SiO ₂	69	65,9
Al ₂ O ₃	17	18,7
Fe ₂ O ₃	0,13	0,18
CaO	0,54	0,08
MgO	0,06	0,07
Na ₂ O	2,1	1,14
K ₂ O	10,1	12,4
TiO ₂	0,03	0,09
ppc	0,4	1,02

Tal como se ha indicado en la introducción la búsqueda y caracterización de feldespatos potásicos no es uno de los objetivos principales del estudio ya que no suelen emplearse en las composiciones de soportes de cocción blanca por su menor fundencia respecto a los feldespatos sódicos y mixtos

(observada claramente en las probetas del ensayo de fusión). Por todo ello con estas muestras no se realizaron más ensayos.

4.5.4.2.3 Feldespatos mixtos (Na-K)

En la Tabla 50 se muestran los porcentajes de los óxidos más relevantes de los feldespatos Madrid-1, Córdoba-1, Córdoba-2 y de los feldespatos sódico-potásicos empleados mayoritariamente por el sector (procedentes de Cáceres y de Francia). Puede observarse que la muestra de Madrid presenta una composición química muy parecida a la procedente de Francia tanto en lo que respecta a los óxidos alcalinos como a los óxidos cromóforos. Únicamente cabe destacar una proporción ligeramente más alta de sílice. El caso de las muestras procedentes de Córdoba es similar en lo que respecta a la proporción de sílice. Estas muestras, pese a proceder de la misma zona presentan variaciones importantes de la proporción relativa de los óxidos de sodio y potasio, siendo la segunda muestra de mayor interés por su superior proporción de óxido de sodio y menor contenido de óxidos cromóforos. El alto interés que suscitan estas muestras por la escasez a nivel nacional de feldespatos sódicos y mixtos es el motivo por el cual se decidió someter estos materiales a un proceso de beneficio (apartados 4.5.2.4 y 4.5.2.5). En el caso de la muestra Córdoba-1, al no disponerse de cantidad suficiente para estos tratamientos no fue posible continuar. Los resultados de este proceso de beneficio se mostrarán en el apartado 4.5.4.3.

Tabla 50 Composición química de los feldespatos Madrid-1 y Córdoba-1 y 2 y de los feldespatos sódico-potásicos empleados como referencia (procedentes de Cáceres y de Francia) (% en peso).

Óxido	Cáceres	Francia	Madrid-1	Córdoba-1	Córdoba-2*
SiO ₂	68,0	76,0	77,7	74,8	79,3
Al ₂ O ₃	18,0	15,0	12,8	14,3	12,1
Fe ₂ O ₃	0,15	0,27	0,26	1,19	0,21
CaO	0,4-0,8	0,70	0,89	0,61	1,17
MgO	<0,10	-	0,27	0,20	<0,10
Na ₂ O	3-4,5	6,0	5,86	3,73	5,20
K ₂ O	5-7	1,50	1,16	3,71	0,96
TiO ₂	<0,05	0,10	0,15	0,13	0,03
ppc	<0,1	0,70	0,92	1,25	0,96

* Composición química determinada por el IGME.

4.5.4.2.4 Feldespatos mixtos (Na-K) de la zona de Ávila

El motivo de tratar estos feldespatos de forma diferenciada es el hecho de que estas muestras procedan de indicios, no habiendo sido seleccionadas de ninguna forma (como ocurre habitualmente en las explotaciones existentes) ni habiendo estado sometidas a proceso alguno de beneficio.

Esta es la causa, como ya se ha comentado, del aspecto tan diferente en el ensayo de fusión respecto al resto de muestras. El desconocimiento de la naturaleza de estas muestras condujo a la necesidad de determinar tanto su composición química como los minerales que las componen. Así en la Tabla 51 se muestran los porcentajes de los óxidos más relevantes de los feldespatos Ávila-1 y del feldespato Ávila-3 (no se determinó la del feldespato Ávila-2 por ser muy parecido a la muestra Ávila-2 y de la misma procedencia). Puede apreciarse que ambos contienen cantidades apreciables de los dos óxidos alcalinos (sodio y potasio), altos contenidos de óxidos cromóforos (principalmente la muestra Ávila-1) y en el caso de esta muestra una proporción apreciable de óxidos alcalinotérreos (principalmente de Ca). Esto último, unido a la más baja proporción de sílice son algunas de las razones de la mayor fundencia de esta muestra respecto al feldespato Ávila-3 (Figura 43).

Tabla 51 Composición química de los feldespatos Ávila-1 y Ávila-3 (% en peso).

Óxido	Ávila-1	Ávila-3
SiO ₂	67,9	72,6
Al ₂ O ₃	15,8	14,3
Fe ₂ O ₃	2,87	1,37
CaO	2,32	0,51
MgO	0,77	0,32
Na ₂ O	3,35	2,86
K ₂ O	4,50	5,80
TiO ₂	0,52	0,18
ppc	1,35	1,52

Las fases identificadas mediante difracción de rayos X en la muestra Ávila-1 fueron algunas de las habituales de los feldespatos mixtos (cuarzo y feldespato potásico) pero además se detectaron fases tales como la biotita y lizardita (con hierro y magnesio) y albita cálcica (fase con la estructura de la albita pero en la que una parte del sodio se encuentra reemplazado por calcio. En el caso de la muestra Ávila-3 además de las fases habituales de los feldespatos mixtos (cuarzo, albita y feldespato potásico) se detectaron micas y minerales arcillosos (illita y caolinita).

Resulta evidente la necesidad de someter estos materiales a un proceso de beneficio (apartados 4.5.2.4 y 4.5.2.5). Los resultados de este proceso, al igual que con las muestras de Madrid y de Córdoba, se mostrarán en el apartado 4.5.4.3.

4.5.4.2.5 Feldespatos mixtos con Li

En la Tabla 52 se muestran los porcentajes de los óxidos más relevantes del feldespato Salamanca-1 y del feldespato de este tipo empleado como referencia (procedente asimismo de Salamanca). Puede observarse que la muestra caracterizada presenta un mayor contenido de albita (a juzgar por la mayor proporción de óxido de sodio y de alúmina), un mayor contenido de óxido de litio y menor contenido de óxido de hierro.

Ambas muestras presentan un elevado grado de fusión y de blancura (Figura 42) por lo que resultan muy adecuadas para la fabricación de soportes de baja absorción de agua con altos requerimientos de blancura.

Tabla 52 Composición química del feldespato Salamanca-1 y del feldespato de este tipo empleado como referencia (procedente también de Salamanca) (% en peso).

Óxido	Salamanca Referencia	Salamanca-1*
SiO ₂	73,5	70,0
Al ₂ O ₃	16,5	18,5
Fe ₂ O ₃	0,27	0,15
CaO	0,3	0,59
MgO	0,1	0,03
Na ₂ O	3,7	5,06
K ₂ O	2,8	2,99
Li ₂ O	1,0	1,27
TiO ₂	0,02	0,03
ppc	1,30	1,41

* Composición química proporcionada por la empresa que explota el material.

4.5.4.2.6 Feldespatos sódicos

En la Tabla 53 se muestran los porcentajes de los óxidos más relevantes de los feldespatos Sevilla-2 y Lugo-2 y del feldespato sódico (procedente de Turquía) mayoritariamente empleado por el sector (la información corresponde a la calidad media).

Tabla 53 Composición química de los feldespatos Sevilla-2 y Lugo-2 y del feldespato sódico empleado como referencia (procedente de Turquía) (% en peso).

Óxido	Turquía	Sevilla-2*	Lugo-2*
SiO ₂	70,0	76,5	68,0
Al ₂ O ₃	18,0	13,9	18,0
Fe ₂ O ₃	0,14	0,15	1,1
CaO	0,5	0,06	0,4
MgO	0,10	0,02	0,8
Na ₂ O	9,7	8,2	9,0
K ₂ O	1,0	0,17	0,5
TiO ₂	0,3	0,16	1,0
ppc	0,5	0,6	1,0

* Composición química proporcionada por la empresa que explota el material.

Puede observarse que la muestra de Sevilla presenta una mayor proporción de sílice y menor de óxido de sodio y de alúmina, lo cual indica un mayor contenido de cuarzo y menor de albita, justificando este hecho su menor fundencia respecto al feldespato turco. Recordemos que inicialmente (cuando no se disponía de su composición química) se había clasificado como feldespato mixto por su bajo grado de fusión (respecto a los de tipo sódico). En principio este menor grado de fusión no debe ser un inconveniente insalvable ya que mediante procesos de flotación es posible enriquecer este material en feldespato, como se verá en el apartado siguiente con otros materiales del estudio.

Por otro lado el caso del feldespato de Lugo es diferente ya que si que contiene una alta proporción de albita (por su elevado contenido de óxido de sodio) pero presenta una coloración muy oscura como consecuencia de su altísimo contenido en óxidos cromóforos, teniendo la peculiaridad de que no es fácilmente eliminable (estos óxidos no están presentes de forma mayoritaria como compuestos con carácter magnético).

4.5.4.3 Tratamientos de beneficio

4.5.4.3.1 Separación de impurezas magnéticas mediante imán permanente

En la Figura 44 se muestra la imagen de las probetas obtenidas en el ensayo de fusión de las muestras Córdoba-2 y Ávila-1 y 3 tanto en su estado inicial como habiendo sido sometidas a una separación magnética con imán de alta intensidad (12000 GAUSS).

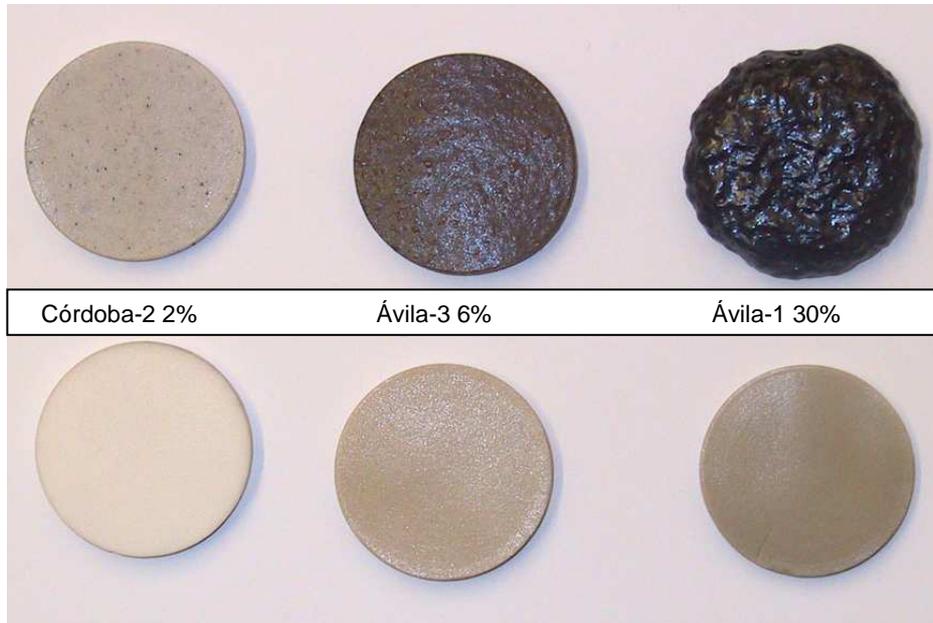


Figura 44 Imagen de las probetas obtenidas tras el ensayo de fusión de las muestras Córdoba-2, Ávila-1 y 3. Fila superior muestras originales, fila inferior muestras sometidas a separación magnética. Los porcentajes son la proporción de impurezas separadas.

Tal como se avanzaba, el cambio de color tras el proceso de separación magnética es muy notable. Así, en el caso de la muestra Córdoba-2 se obtiene una considerable blancura (similar a la de los feldespatos de Salamanca e incluso superior a la de los feldespatos sódicos procedentes de Turquía de mayor calidad).

Dentro de las muestras de Ávila el cambio más acusado es el observado con la muestra Ávila-1 pasando de un color prácticamente negro en la muestra original a un color pardo tras la separación magnética, operación con la que se ha eliminado un 30% en peso de impurezas. El cambio de color en la muestra Ávila-3, aun no siendo de tanta magnitud, también es de consideración. Puede concluirse que tras someterse a este tratamiento magnético las dos muestras de Ávila proporcionan colores similares a los obtenidos con algunos de los feldespatos mixtos empleados en el sector cerámico.

4.5.4.3.2 Tratamientos de flotación + separación magnética

Tal como se ha indicado anteriormente, algunas de las muestras caracterizadas presentan contenidos apreciables de cuarzo, micas y/o minerales arcillosos, los cuales son susceptibles de ser separados mediante ensayos de flotación.

Así, dado que el IGME dispone de instalaciones de tratamiento de minerales, algunas de las muestras caracterizadas en el estudio se enviaron para ser sometidas a este proceso de beneficio. Concretamente se enviaron las siguientes muestras: Madrid-1, Ávila-1, Ávila-3 y finalmente Córdoba-2.

Los tratamientos realizados se describen en el apartado 4.5.2.5, consistiendo en una flotación seguida de una separación magnética del feldespato flotado. Esto es cierto para todas las muestras excepto Ávila-1, en la cual antes de la flotación fue necesaria una separación magnética como consecuencia del alto contenido de impurezas con carácter magnético. En las figuras 45 a 48 se muestran las probetas obtenidas en los ensayos de fusión de las diferentes muestras en su estado original, sometidas al tratamiento magnético del apartado anterior (4.5.4.3.1) y tras el proceso de beneficio.



Figura 45 Imagen de las probetas obtenidas tras el ensayo de fusión de la muestra Madrid-1. Izquierda muestra original, derecha feldespato beneficiado.



Figura 46 Imagen de las probetas obtenidas tras el ensayo de fusión de la muestra Ávila-1. Izquierda muestra original, centro muestra sometida a separación magnética con imán permanente, derecha feldespato beneficiado.



Figura 47 Imagen de las probetas obtenidas tras el ensayo de fusión de la muestra Ávila-3. Izquierda muestra original, centro muestra sometida a separación magnética con imán permanente, derecha feldespato beneficiado.



Figura 48 Imagen de las probetas obtenidas tras el ensayo de fusión de la muestra Córdoba-2. Izquierda muestra original, centro muestra sometida a separación magnética con imán permanente, derecha feldespato beneficiado.

En las Tablas 54 y 55 se muestran las composiciones químicas del material original y del feldespato obtenido tras el proceso de beneficio.

Tabla 54 Composición química de las muestras Madrid-1 y Córdoba-2 tanto de las muestras originales como de los feldespatos beneficiados (% en peso).

Óxido	Madrid-1 original	Madrid-1 beneficiado	Córdoba-2 original	Córdoba-2 beneficiado
SiO ₂	77,7	70,1	79,3	67,2
Al ₂ O ₃	12,8	18,5	12,1	20,4
Fe ₂ O ₃	0,26	0,11	0,21	0,15
CaO	0,89	0,61	1,17	0,98
MgO	0,27	<0,1	0,08	<0,1
Na ₂ O	5,86	9,1	5,20	9,3
K ₂ O	1,16	1,16	0,96	1,27
TiO ₂	0,15	0,03	0,03	0,02
ppc	0,92	0,46	0,96	0,54

Tabla 55 Composición química de las muestras Ávila-1 y Ávila-3 tanto de las muestras originales como de los feldespatos beneficiados (% en peso).

Óxido	Ávila-1 original	Ávila-1 beneficiado	Ávila-3 original	Ávila-3 beneficiado
SiO ₂	67,9	62,4	72,6	68,6
Al ₂ O ₃	15,8	22,5	14,3	16,5
Fe ₂ O ₃	2,87	0,27	1,37	0,25
CaO	2,32	5,11	0,51	0,47
MgO	0,77	<0,1	0,32	<0,1
Na ₂ O	3,35	5,97	2,86	5,01
K ₂ O	4,50	2,97	5,80	8,75
TiO ₂	0,52	0,06	0,18	0,04
ppc	1,35	0,49	1,52	0,47

Los resultados obtenidos permiten establecer las siguientes conclusiones:

- El proceso de beneficio del feldespato Madrid-1 da lugar a una muestra de considerable fundencia (similar a la de los feldespatos procedentes de Turquía) y muy alta blancura (superior a la de estos feldespatos). Ello es consecuencia del enriquecimiento en albita y eliminación de óxido de hierro.
- El proceso de beneficio del feldespato Córdoba-2 da lugar a una muestra de características parecidas a la muestra anterior (Madrid-1). En este caso también se ha producido un aumento del contenido de albita y una disminución del óxido de hierro.
- El proceso de beneficio del feldespato Ávila-1 da lugar a una muestra de fundencia y blancura similares a los feldespatos mixtos (Cáceres y Francia). Este proceso disminuye notablemente el contenido en óxido de hierro, aumenta el de Na₂O y CaO y disminuye el de K₂O.
- Resulta interesante el caso del feldespato Ávila-3, el cual tras el proceso de beneficio presenta un contenido muy elevado de óxidos alcalinos y una fundencia similar al feldespato mixto de Francia.

4.5.5 Aplicación cerámica de los feldespatos

Una vez finalizada la caracterización de los feldespatos se va a establecer su aplicación cerámica.

4.5.5.1 Arenas feldespáticas de Guadalajara y de Orense

En este apartado simplemente se va a indicar que estas arenas presentan características similares a las empleadas en mayoritariamente en el sector azulejero (procedentes de la Comunidad Valenciana) excepto por el contenido en óxidos cromóforos de la muestra de Orense, como consecuencia de proceder de un permiso de investigación y no ser un producto tratado. Por tanto, con esta salvedad corregible mediante una separación magnética, resulta posible su empleo como alternativas a las arenas empleadas en la actualidad (en todo tipo de composiciones de soportes de cocción blanca).

4.5.5.2 Feldespato potásico de Orense

El feldespato Orense-2 presenta incluso mayor proporción de óxido de potasio respecto a los feldespatos potásicos empleados en la actualidad, lo cual resulta muy interesante para su empleo en la fabricación de fritas cerámicas aunque como inconveniente está la superior proporción de TiO_2 y de Fe_2O_3 . Debe indicarse que, como se ha demostrado, el contenido en estos óxidos generalmente es fácilmente reducible mediante procesos de separación magnética.

Tal como se ha indicado en la introducción la búsqueda y caracterización de feldespatos potásicos no es uno de los objetivos principales del estudio ya que no suelen emplearse en las composiciones de soportes de cocción blanca por su menor fundencia respecto a los feldespatos sódicos y mixtos.

4.5.5.3 Feldespatos mixtos (Na-K) de Madrid, Córdoba y Ávila

Si atendemos a la composición química y propiedades de las muestras originales de Madrid y Córdoba, puede establecerse que presentan características similares (aunque su fundencia es ligeramente más baja) respecto a los feldespatos mixtos empleados en el sector azulejero (procedentes mayoritariamente de Cáceres y de Francia). Por tanto resulta viable su empleo en composiciones de gres esmaltado, gres porcelánico esmaltado y gres porcelánico no esmaltado, siempre en combinación con otros feldespatos de fundencia más alta. En el caso de las muestras de Córdoba para productos con altos requerimientos de blancura será necesario un proceso de separación magnética.

En el caso de las muestras de Ávila la discusión se va a realizar en base a los productos obtenidos tras los tratamientos de beneficio. Estos productos presentan una fundencia similar a los feldespatos mixtos empleados en el sector azulejero aunque con tonalidades más oscuras. Por tanto resulta

viable su empleo en composiciones de gres esmaltado y de gres porcelánico esmaltado de blancura moderada, siempre en combinación con otros feldespatos de fundencia más alta.

4.5.5.4 *Feldespatos con litio*

Puede concluirse que el feldespato con litio caracterizado en el estudio presenta respecto al de referencia un mayor contenido de albita, un mayor contenido de óxido de litio y menor contenido de óxido de hierro.

Ambas muestras presentan un elevado grado de fusión y de blancura por lo que resultan muy adecuadas para la fabricación de soportes de gres porcelánico (esmaltado y no esmaltado) con altos requerimientos de blancura.

4.5.5.5 *Feldespatos sódicos de Madrid (tras proceso de beneficio), Córdoba (tras proceso de beneficio), Sevilla y Lugo*

Si atendemos a la composición química y propiedades de las muestras de Madrid y Córdoba tras los procesos de beneficio, puede establecerse que presentan una fundencia similar a las de los feldespatos sódicos empleados en el sector azulejero (procedentes mayoritariamente de Turquía) y una blancura incluso superior. Con toda probabilidad el feldespato de Sevilla presentaría las mismas características si se sometiera a un proceso de flotación. Por tanto, en el caso de que estos procesos fueran viables a escala industrial, los productos obtenidos resultan muy adecuados para la fabricación de soportes de gres porcelánico (esmaltado y no esmaltado) con altos requerimientos de blancura.

Caso de que el feldespato de Sevilla se utilizara sin someterse a un proceso de beneficio, resultaría similar a los feldespatos descritos en el apartado 4.5.5.3 por lo que debería emplearse en combinación con otros feldespatos de mayor fundencia.

Por otro lado el caso del feldespato de Lugo es diferente ya que presenta una fundencia elevada pero coloración muy oscura, la cual no es fácilmente eliminable (los óxidos cromóforos no están presentes de forma mayoritaria como compuestos con carácter magnético). De esta forma este material puede emplearse en composiciones de gres esmaltado y gres porcelánico esmaltado de bajos requerimientos de blancura.

4.5.6 Conclusiones

A diferencia de lo que ocurre con las arcillas de cocción blanca, donde no se han encontrado áreas en las que existan materiales de alta plasticidad y blancura, el territorio nacional es relativamente rico en feldespatos. Así, los resultados obtenidos en este estudio permiten establecer que en las áreas geográficas estudiadas existen feldespatos de diferentes niveles de blancura y fundencia.

En la Tabla 56 se muestra un cuadro resumen en el que los feldespatos se han clasificado en función de estas dos propiedades. Asimismo se incluyen las composiciones en las que resulta viable su utilización. Con fines comparativos se incluyen los feldespatos empleados como referencia en el presente documento (empleados actualmente en la fabricación de soportes de baldosas cerámicas de cocción blanca). Por los motivos comentados anteriormente no se incluyen ni las arenas feldespáticas ni los feldespatos potásicos.

Tabla 56 Clasificación de los feldespatos en función de su fundencia y blancura. Se incluyen asimismo (GE, gres esmaltado; GPB, gres porcelánico esmaltado de baja blancura; GPA, gres porcelánico esmaltado de alta blancura y GP, gres porcelánico no esmaltado).

Feldespato	Fundencia	Blancura	Uso
Salamanca	MUY ALTA	MUY ALTA	GE, GPB, GPA, GP
Turquía	ALTA	MEDIO-ALTA	GE, GPB, GPA, GP
Sevilla, Madrid y Córdoba beneficiados	ALTA	ALTA	GE, GPB, GPA, GP
Lugo	ALTA	BAJA	GE, GPB
Cáceres	MEDIA	MEDIA	GE, GPB, GPA
Francia	MEDIA	ALTA	GE, GPB, GPA, GP
Ávila beneficiados	MEDIA	MEDIA	GE, GPB
Sevilla y Madrid	BAJA	ALTA	GE, GPB, GPA
Córdoba	BAJA	BAJA	GE, GPB

De esta forma resulta en principio posible formular composiciones de gres, gres porcelánico esmaltado y no esmaltado con feldespatos exclusivamente nacionales, aunque en algunos casos estos feldespatos deben someterse a procesos de beneficio para eliminar impurezas y aumentar el contenido en álcalis. Por tanto, debe comprobarse la viabilidad técnica y económica de implantar estos procesos a escala industrial.

Las zonas alternativas a las actuales en las que se han encontrado feldespatos válidos para su utilización en la fabricación de soportes cerámicos han sido, por tanto: Córdoba, Ávila, Madrid y Orense.

4.5.7 ANEXO

Análisis químico

Muestra: **Guadalajara-2**

SiO ₂	89,6 %
Al ₂ O ₃	6,0 %
Fe ₂ O ₃	0,12 %
CaO	0,08 %
MgO	0,03 %
Na ₂ O	0,05 %
K ₂ O	2,20 %
TiO ₂	0,07 %
BaO	0,04 %
SrO	<0,01 %
P ₂ O ₅	0,02 %
MnO	<0,01 %
ZrO ₂	0,01 %
Pérdida por calcinación a 1025°C	1,46 %

Muestra: **Guadalajara-3**

SiO ₂	88,2 %
Al ₂ O ₃	6,8 %
Fe ₂ O ₃	0,10 %
CaO	0,18 %
MgO	0,04 %
Na ₂ O	0,05 %
K ₂ O	2,61 %
TiO ₂	0,06 %
BaO	0,05 %
SrO	<0,01 %
P ₂ O ₅	0,03 %
MnO	<0,01 %
ZrO ₂	<0,01 %
Pérdida por calcinación a 1025°C	1,79 %

Muestra: **Ávila-1**

SiO ₂	67,9 %
Al ₂ O ₃	15,8 %
Fe ₂ O ₃	2,87 %
CaO	2,32 %
MgO	0,77 %
Na ₂ O	3,35 %
K ₂ O	4,50 %
TiO ₂	0,52 %
BaO	0,12 %
SrO	0,01 %
P ₂ O ₅	0,19 %
MnO	0,03 %
ZrO ₂	0,03 %
Pérdida por calcinación a 1025°C	1,35 %

Muestra: **Ávila-3**

SiO ₂	72,6 %
Al ₂ O ₃	14,3 %
Fe ₂ O ₃	1,37 %
CaO	0,51 %
MgO	0,32 %
Na ₂ O	2,86 %
K ₂ O	5,80 %
TiO ₂	0,18 %
BaO	0,04 %
SrO	<0,01 %
P ₂ O ₅	0,23 %
MnO	0,02 %
ZrO ₂	0,02 %
Pérdida por calcinación a 1025°C	1,52 %

Muestra: **Orense-3**

SiO ₂	83,2 %
Al ₂ O ₃	9,0 %
Fe ₂ O ₃	1,21 %
CaO	0,10 %
MgO	0,12 %
Na ₂ O	0,71 %
K ₂ O	4,01 %
TiO ₂	0,14 %
BaO	0,04 %
SrO	<0,01 %
P ₂ O ₅	0,09 %
Pérdida por calcinación a 1025°C	1,38 %

4. Resultados

Muestra: **Córdoba-1**

SiO ₂	74,8 %
Al ₂ O ₃	14,3 %
Fe ₂ O ₃	1,19 %
CaO	0,61 %
MgO	0,20 %
Na ₂ O	3,73 %
K ₂ O	3,71 %
TiO ₂	0,13 %
BaO	0,01 %
SrO	<0,01 %
P ₂ O ₅	0,12 %
Pérdida por calcinación a 1025°C	1,25 %

Muestra: **Orense-2**

SiO ₂	65,9 %
Al ₂ O ₃	18,7 %
Fe ₂ O ₃	0,18 %
CaO	0,08 %
MgO	0,07 %
Na ₂ O	1,14 %
K ₂ O	12,4 %
TiO ₂	0,09 %
BaO	0,10 %
SrO	0,01 %
P ₂ O ₅	0,17 %
Pérdida por calcinación a 1025°C	1,02 %

Muestra: **Madrid-1**

SiO ₂	77,7 %
Al ₂ O ₃	12,8 %
Fe ₂ O ₃	0,26 %
CaO	0,89 %
MgO	0,27 %
Na ₂ O	5,86 %
K ₂ O	1,16 %
TiO ₂	0,15 %
BaO	0,01 %
SrO	0,01 %
P ₂ O ₅	0,02 %
Pérdida por calcinación a 1025°C	0,92 %

Identificación de estructuras cristalinas

A continuación se indican las fases identificadas mediante difracción de rayos X en las muestras:

Muestra: **Feldespatos Ávila-1**

Q = Cuarzo (SiO_2)

Ab = Albita cálcica ($(\text{Na,Ca})(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$)

Fto K = Feldespato potásico (KAlSi_3O_8)

Bi = Biotita ($\text{KFeMg}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$)

Liz = Lizardita ($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)

Muestra: **Feldespatos Ávila-3**

Q = Cuarzo (SiO_2)

Ab = Albita ($\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$)

Fto K = Feldespato potásico (KAlSi_3O_8)

I/M = Illita/Moscovita ($\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$)

K = Caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)

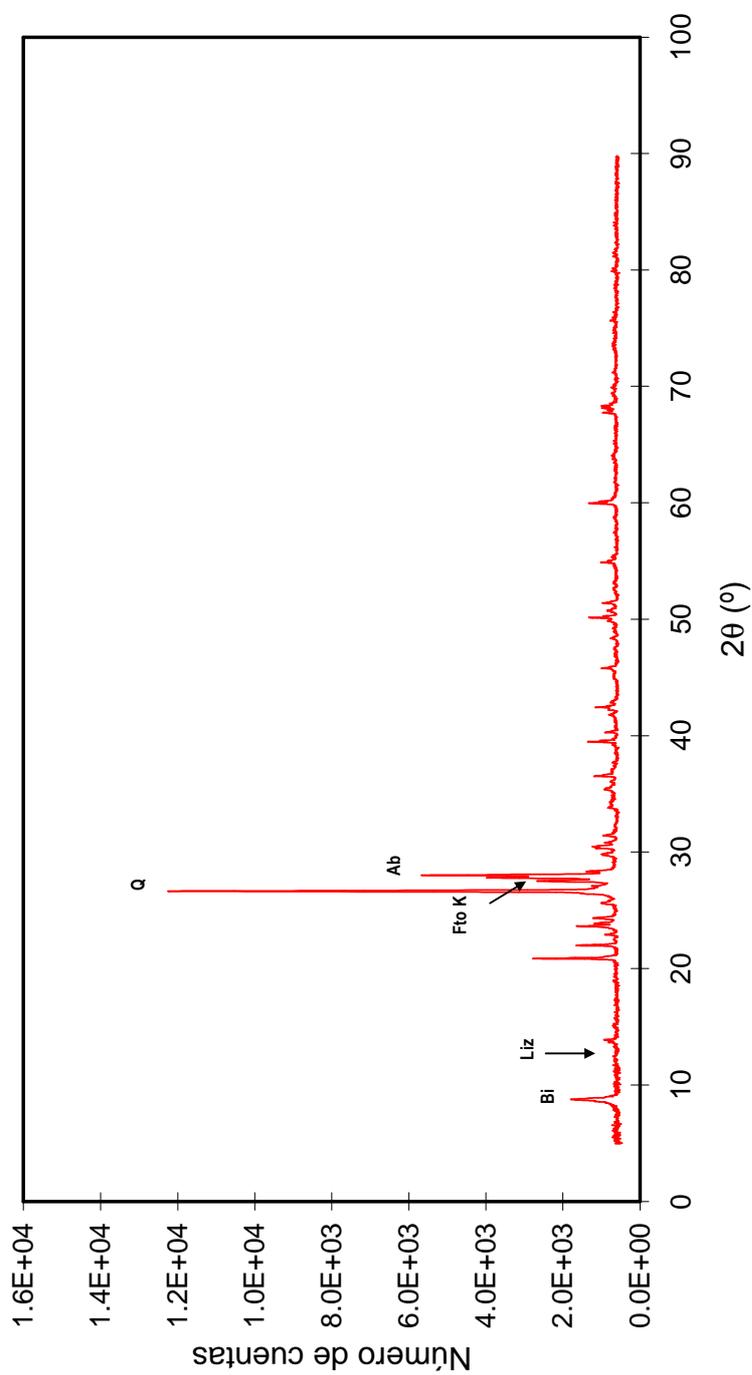


Figura A.1 Difracción de rayos X. Muestra: "Ávila-1".

Tabla A.1 Difracción de rayos X. Muestra: "Ávila-1".

Tubo: Cu

Voltaje: 30 kV

Intensidad: 40 mA

Monocromador: no

Rendija de divergencia: 0,6 mm

Rendija receptora: 0,6 mm

Constante de tiempo: 1 s

Desde $2\theta = 5^\circ$ hasta $2\theta = 90^\circ$

Tiempo de barrido: 20 min

$2\theta(^\circ)$	$d(\text{Å})$	Intensidad relativa (%)	Estructura posible
8,76	10,095	18,3	Biotita
12,24	7,231	2,92	Lizardita
13,87	6,384	4,24	Albita
15,05	5,886	1,45	Feldespatopotasico; Albita
18,92	4,689	0,49	Albita
20,89	4,252	12,8	Cuarzo; Feldespatopotasico
22,01	4,039	8,40	Albita
22,53	3,947	0,66	Feldespatopotasico; Biotita
22,93	3,878	2,56	Feldespatopotasico; Lizardita; Albita
23,72	3,752	4,24	Feldespatopotasico; Albita
23,88	3,726	5,30	Feldespatopotasico; Albita
24,35	3,656	5,34	Feldespatopotasico; Biotita; Albita
25,62	3,476	3,62	Feldespatopotasico; Albita
26,65	3,345	100,0	Cuarzo; Feldespatopotasico; Biotita; Albita
27,52	3,241	18,4	Feldespatopotasico
28,01	3,185	42,9	Albita
29,81	2,997	3,54	Feldespatopotasico; Albita
30,47	2,934	5,55	Feldespatopotasico; Biotita; Albita
30,82	2,902	2,55	Feldespatopotasico
31,43	2,846	3,03	Lizardita; Albita
32,30	2,772	0,48	Feldespatopotasico; Albita
33,83	2,650	1,88	Biotita; Lizardita; Albita
34,24	2,619	1,51	Feldespatopotasico; Biotita
35,42	2,535	2,86	Feldespatopotasico; Biotita; Albita
36,06	2,491	1,42	Lizardita; Albita
36,57	2,457	4,19	Cuarzo; Albita
37,05	2,427	1,29	Feldespatopotasico; Albita
37,72	2,385	0,90	Albita
39,50	2,281	4,96	Cuarzo; Feldespatopotasico; Biotita; Albita
40,32	2,237	2,14	Cuarzo; Albita
41,80	2,161	1,70	Feldespatopotasico; Biotita; Albita
42,46	2,129	4,11	Cuarzo; Lizardita; Albita
42,89	2,109	1,23	Feldespatopotasico; Biotita; Albita
45,14	2,009	0,78	Biotita; Albita

Continuación tabla A.1.

2 θ (°)	d(Å)	Intensidad relativa (%)	Estructura posible
45,82	1,981	3,21	Cuarzo; Feldespato potasico; Albita
47,49	1,915	0,54	Feldespato potasico; Biotita; Albita
48,38	1,881	1,03	Feldespato potasico; Albita
49,15	1,854	0,63	Feldespato potasico; Albita
50,16	1,819	4,67	Cuarzo; Feldespato potasico; Albita
50,75	1,799	2,19	Cuarzo; Feldespato potasico; Albita
51,41	1,777	2,97	Feldespato potasico; Albita
52,62	1,739	0,60	Feldespato potasico; Biotita; Lizardita; Albita
53,14	1,724	0,62	Feldespato potasico; Biotita; Albita
54,90	1,672	2,93	Cuarzo; Feldespato potasico; Biotita; Albita
55,36	1,660	0,90	Cuarzo; Feldespato potasico; Lizardita
57,42	1,605	0,36	Cuarzo; Albita
58,72	1,572	0,51	Biotita; Lizardita; Albita
59,98	1,542	5,76	Cuarzo; Biotita; Albita
62,01	1,497	0,24	Biotita; Lizardita; Albita
64,04	1,454	0,93	Cuarzo; Albita
67,84	1,380	1,87	Cuarzo; Lizardita
68,17	1,376	2,85	Cuarzo; Biotita
69,38	1,355	0,90	Biotita
69,97	1,345	0,64	Albita
71,28	1,323	0,47	Biotita
73,46	1,288	0,89	Cuarzo
74,82	1,269	0,62	Biotita; Lizardita
75,88	1,253	0,72	Cuarzo; Biotita; Lizardita
78,55	1,218	0,31	Biotita
80,01	1,199	0,49	Cuarzo; Biotita
81,16	1,184	0,66	Cuarzo
81,48	1,180	0,92	Cuarzo; Biotita

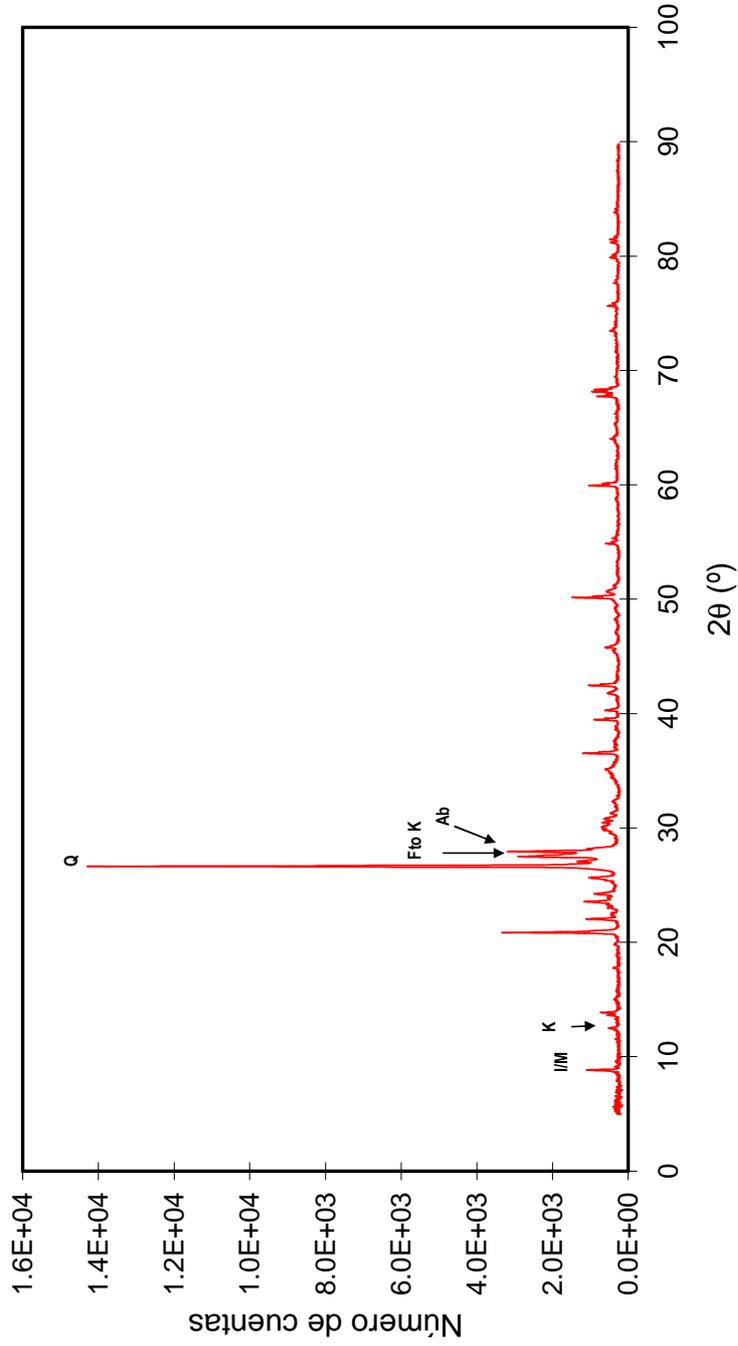


Figura A.2 Difracción de rayos X. Muestra: "Ávila-3".

4. Resultados

Tabla A.2 Difracción de rayos X. Muestra: "Ávila-3".

Tubo: Cu
 Voltaje: 30 kV
 Intensidad: 40 mA
 Monocromador: no
 Rendija de divergencia: 0,6 mm
 Rendija receptora: 0,6 mm
 Constante de tiempo: 1 s
 Desde $2\theta = 5^\circ$ hasta $2\theta = 90^\circ$
 Tiempo de barrido: 20 min

$2\theta(^\circ)$	$d(\text{Å})$	Intensidad relativa (%)	Estructura posible
8,82	10,022	5,59	Illita/M.Moscovita
12,50	7,081	1,80	Caolinita
13,76	6,434	1,53	Albita; Feldespato potasico
15,03	5,896	0,71	Albita; Feldespato potasico
15,78	5,618	0,11	Albita; Caolinita
17,77	4,993	0,96	Caolinita; Illita/M.Moscovita
19,83	4,477	0,73	Caolinita; Illita/M.Moscovita
20,88	4,255	20,4	Feldespato potasico; Cuarzo
22,04	4,033	6,15	Albita
22,49	3,953	1,47	Feldespato potasico; Illita/M.Moscovita
23,04	3,861	1,96	Albita; Feldespato potasico; Caolinita; Illita/M.Moscovita
23,56	3,776	6,83	Albita; Feldespato potasico
24,24	3,673	4,76	Albita; Caolinita
25,66	3,472	5,75	Albita; Feldespato potasico
26,65	3,345	100,0	Albita; Feldespato potasico; Cuarzo; Caolinita; Illita/M.Moscovita
27,08	3,293	8,25	Feldespato potasico; Caolinita
27,50	3,243	20,1	Feldespato potasico; Caolinita
27,95	3,193	22,1	Albita; Caolinita; Illita/M.Moscovita
28,19	3,166	6,12	Albita
29,85	2,993	2,82	Feldespato potasico; Caolinita;
30,08	2,971	3,12	Illita/M.Moscovita
30,79	2,904	2,88	Albita; Feldespato potasico; Caolinita
31,28	2,859	1,66	Albita; Feldespato potasico
32,33	2,769	1,18	Albita; Caolinita; Illita/M.Moscovita
35,13	2,554	2,60	Albita; Feldespato potasico; Caolinita
36,57	2,457	5,48	Albita; Feldespato potasico; Cuarzo; Caolinita; Illita/M.Moscovita
37,04	2,427	0,82	Albita; Feldespato potasico;
37,56	2,395	0,70	Illita/M.Moscovita

Continuación tabla A.2.

2 θ (°)	d(Å)	Intensidad relativa (%)	Estructura posible
38,63	2,331	0,49	Albita; Feldespato potasico; Caolinita; Illita/M.Moscovita
38,88	2,316	0,52	Albita; Caolinita
39,49	2,282	3,34	Albita; Feldespato potasico; Cuarzo; Caolinita; Illita/M.Moscovita
40,31	2,237	2,14	Albita; Cuarzo; Caolinita; Illita/M.Moscovita
41,77	2,162	2,10	Albita; Feldespato potasico; Caolinita; Illita/M.Moscovita
42,48	2,128	3,91	Albita; Cuarzo; Caolinita; Illita/M.Moscovita
45,47	1,995	0,99	Albita; Feldespato potasico; Caolinita
45,81	1,981	2,19	Albita; Feldespato potasico; Cuarzo; Caolinita; Illita/M.Moscovita
47,07	1,931	0,49	Feldespato potasico; Caolinita; Illita/M.Moscovita
48,25	1,886	0,61	Albita; Caolinita; Illita/M.Moscovita
49,14	1,854	0,65	Albita; Feldespato potasico; Caolinita; Illita/M.Moscovita
50,16	1,819	6,13	Albita; Cuarzo; Caolinita
50,72	1,800	2,29	Albita; Cuarzo; Caolinita; Illita/M.Moscovita
51,18	1,785	0,96	Albita; Caolinita
53,25	1,720	0,26	Albita; Caolinita; Illita/M.Moscovita
54,89	1,673	2,02	Albita; Cuarzo; Caolinita; Illita/M.Moscovita
55,32	1,661	1,11	Albita; Cuarzo; Caolinita; Illita/M.Moscovita
58,77	1,571	0,51	Albita; Caolinita; Illita/M.Moscovita
59,97	1,543	4,83	Cuarzo; Caolinita; Illita/M.Moscovita
61,81	1,501	0,55	Albita; Caolinita; Illita/M.Moscovita
64,06	1,454	1,14	Albita; Cuarzo; Caolinita; Illita/M.Moscovita
65,31	1,429	0,56	Albita; Illita/M.Moscovita
66,30	1,410	0,26	Illita/M.Moscovita
67,75	1,383	3,65	Cuarzo
68,33	1,373	3,89	Cuarzo; Illita/M.Moscovita
69,63	1,350	0,27	Illita/M.Moscovita
73,47	1,288	1,28	Cuarzo; Illita/M.Moscovita
75,66	1,256	1,82	Cuarzo; Illita/M.Moscovita
77,89	1,225	0,59	Cuarzo
80,09	1,197	1,09	Cuarzo
81,17	1,184	1,27	Cuarzo
83,82	1,153	0,74	Cuarzo

4.6 Tarea 4. Formulación de nuevas composiciones cerámicas

4.6.1 Objetivos

La existencia de arcillas de cocción roja de características muy adecuadas en las proximidades del área de Castellón, donde se concentra el 98% de la producción de baldosas cerámicas, ha motivado que la mayor parte de la producción de baldosas se fabriquen con soportes de cocción roja. De hecho, aunque en los últimos años el sector cerámico de Castellón ha duplicado prácticamente la producción de baldosas de cocción blanca, la proporción de baldosas de cocción roja aún se sitúa en torno al 70 %, mientras que la de cocción blanca es del 30 %.

Algunas de las composiciones con las que se fabrican las baldosas de cocción blanca permiten reducir fácilmente la porosidad de las piezas hasta valores prácticamente nulos, lo que asegura su resistencia a la helada. Esta es una de las ventajas de este tipo de productos, que ha posibilitado su comercialización en países de alto nivel adquisitivo como Estados Unidos y Europa. Este es uno de los motivos por los que la producción de baldosas de cocción blanca se ha duplicado en los últimos años. El inconveniente principal que presentan estas composiciones es la necesidad de emplear en porcentajes elevados materias primas de importación (arcillas y feldespatos), las cuales presentan un coste de hasta 10 veces el de las arcillas de cocción roja nacionales.

Como consecuencia de lo anterior se ha planteado el presente estudio cuyo objetivo es intentar minimizar la dependencia del sector de las materias primas procedentes del extranjero.

4.6.2 Plan de trabajo

El estudio se ha dividido en cuatro fases. En la primera fase se han formulado composiciones de azulejo blanco con arcillas exclusivamente nacionales. En este tipo de composiciones intervienen como materias primas importadas las arcillas de cocción blanca, que proporcionan a las piezas una adecuada resistencia mecánica e incrementan ligeramente la blancura del producto (el resto de componentes de estas fórmulas, carbonato cálcico, arena y en ocasiones caolín siempre proceden de territorio nacional).

En una segunda fase se ha trabajado en la definición de las materias primas arcillosas empleadas en la obtención de los soportes de gres porcelánico esmaltado de bajos requerimientos de blancura. En esta parte del trabajo se han utilizado arcillas nacionales y dos de los feldespatos habitualmente empleados en la industria (Turquía y Cerdeña).

En la tercera fase se ha trabajado sobre la mezcla de feldespatos para conocer la fundencia y blancura que aportan a los soportes de gres porcelánico esmaltado, tanto los de blancura moderada como los de elevada blancura. El objetivo es determinar las diferencias de fundencia y blancura

de estos feldespatos dentro de una composición estándar respecto a los feldespatos empleados en la actualidad.

Finalmente, en la cuarta fase del estudio se proponen fórmulas de gres porcelánico esmaltado de moderada y alta blancura en las que las materias primas utilizadas son de procedencia nacional.

4.6.3 Materias primas seleccionadas

En los apartados 4.4 y 4.5 se caracterizaron las arcillas y feldespatos localizados durante el desarrollo del proyecto. A continuación se muestran de forma resumida las arcillas y feldespatos susceptibles de ser empleados en composiciones de soportes cerámicos.

En la Tabla 57 se muestra un cuadro resumen en el que las arcillas se han clasificado en función de su blancura y plasticidad (los parámetros que constituyen las razones del uso de las arcillas de importación), indicando asimismo su fundencia por ser otra de las propiedades tecnológicas de gran importancia. Así las arcillas de blancura elevada son las equiparables (para este parámetro) a las arcillas de importación y las de blancura baja las equiparables a las arcillas de Teruel empleadas en la actualidad. En negrita se indican las arcillas utilizadas actualmente.

Tabla 57 Clasificación de las arcillas en función de su blancura, plasticidad y fundencia.

Blancura	Arcilla	Plasticidad	Fundencia	Principal inconveniente
Blancura elevada	Ucrania	ALTA	ALTA	
	A Coruña	ALTA	ALTA	Materia orgánica
	Asturias	MUY BAJA	MUY BAJA	Baja plasticidad Refractariedad
	Zamora	MUY ALTA	ALTA	Mala desfloculación
Blancura media	Teruel-4 Teruel-6	BAJA	BAJA	Baja plasticidad Refractariedad
Blancura baja	Teruel	MEDIA	MEDIA	
	Teruel-13	MEDIA	MEDIA	-
	Badajoz	MEDIA	MEDIA	Coste transporte

Aunque ninguna de las arcillas nacionales reúne todas las características y propiedades de las arcillas de importación, hay mezclas de ellas que podrían

resultar una alternativa ya que existen arcillas de blancura similar a las de importación y otras de plasticidad similar o incluso más alta.

En la Tabla 58 se muestra un cuadro resumen en el que los feldespatos se han clasificado en función de sus propiedades tecnológicas más importantes (fundencia y blancura). Con fines comparativos se incluyen en negrita los feldespatos empleados como referencia en el presente documento (empleados actualmente en la fabricación de soportes de baldosas cerámicas de cocción blanca).

Tabla 58 Clasificación de los feldespatos en función de su fundencia y blancura.

Feldespato	Fundencia	Blancura
Salamanca	MUY ALTA	MUY ALTA
Turquía	ALTA	MEDIO-ALTA
Sevilla, Madrid y Córdoba beneficiados	ALTA	ALTA
Lugo	ALTA	BAJA
Cáceres	MEDIA	MEDIA
Francia	MEDIA	ALTA
Ávila beneficiados	MEDIA	MEDIA
Sevilla y Madrid	BAJA	ALTA
Córdoba	BAJA	BAJA

De esta forma resulta en principio posible formular composiciones de gres, gres porcelánico esmaltado y no esmaltado con feldespatos exclusivamente nacionales, aunque en algunos casos estos feldespatos deben someterse a procesos de beneficio para eliminar impurezas y aumentar el contenido en álcalis.

4.6.4 Formulación y caracterización de composiciones de azulejo blanco

4.6.4.1 Formulación de composiciones

En la Tabla 59 se muestran las composiciones formuladas. La composición AZ-STD es una composición típica usada en la industria cerámica para la fabricación de polvo atomizado de azulejo de cocción blanca. Puede observarse que la única materia prima procedente del extranjero es la arcilla de Ucrania, la cual se introduce para aportar plasticidad. De las arcillas caracterizadas en el apartado 4.4 (Tabla 57), las que presentan las características físico-químicas que las hacen susceptibles de ser utilizadas en composiciones de azulejo de cocción blanca son la arcilla Zamora-1 y la arcilla A Coruña-1. Así, en la composición AZ-1 se ha sustituido la arcilla de Ucrania por una mezcla de arcilla de Teruel y arcilla de Zamora (recordemos

que es una arcilla extremadamente plástica con mal comportamiento en la desfloculación). En la composición AZ-2 la arcilla de Ucrania se ha sustituido directamente por la arcilla de A Coruña.

Tabla 59 Composiciones formuladas (% en peso).

Composición	AZ-STD	AZ-1	AZ-2
Arcilla Teruel	40	45	40
Arcilla Ucrania	10	-	-
Arcilla Zamora-1	-	5	-
Arcilla A Coruña-1	-	-	10
Caolín	10	10	10
Carbonato cálcico	15	15	15
Arena feldespática	25	25	25

4.6.4.2 Ensayos realizados

Los ensayos realizados para caracterizar las composiciones formuladas fueron los siguientes:

Comportamiento en la molienda:

- Residuo sobre tamiz de 63 μm .
- Curva de desfloculación. Contenido en sólidos y porcentaje de desfloculante críticos.

Comportamiento en la etapa de prensado:

- Diagrama de compactación. Densidad aparente a una humedad y tres presiones.

Propiedades en seco:

- Resistencia mecánica a la flexión en seco.

Comportamiento en la cocción:

- Pérdida por calcinación.
- Contracción lineal, absorción de agua y densidad aparente a tres temperaturas de cocción.

Propiedades del producto:

- Coordenadas cromáticas a tres temperaturas de cocción.
- Expansión por humedad.

Estos ensayos son los adecuados para evaluar el comportamiento de las composiciones durante las diferentes etapas del proceso de fabricación de baldosas cerámicas así como las propiedades que confieren al producto acabado.

A continuación se describen brevemente los métodos utilizados para la preparación de las muestras y la realización de los ensayos anteriormente mencionados.

Preparación de las composiciones

Previamente a la preparación de las composiciones las arcillas se molturaron vía seca con un tamiz salida de 1 mm. Posteriormente se desliaron vía húmeda en una mezcla acetona-agua (95-5%) con un desleidor de coronas concéntricas (IKA, modelo Ultra Turrax T50) operando a la velocidad de 3000 r.p.m. Finalmente se mezclaron las distintas materias primas en los porcentajes adecuados (Tabla 59) y se molturaron vía húmeda con acetona hasta alcanzar un residuo sobre tamiz de 63 μ m comprendido entre el 2 y el 3%. Las suspensiones obtenidas se secaron en lámparas de infrarrojos.

Curvas de desfloculación. Contenido en sólidos y desfloculante críticos

Para la realización de las curvas de desfloculación se prepararon suspensiones a partir de las muestras molturadas vía húmeda, determinándose la variación que experimentaba la viscosidad con el porcentaje de desfloculante añadido. La medida de la viscosidad se realizó con un viscosímetro GALLEMKAMP de hilo de torsión del nº 30 utilizando un cilindro de 1,75 cm de diámetro. El objetivo del ensayo consiste en determinar el contenido en sólidos y de desfloculante que proporciona un mínimo de la curva viscosidad – contenido de desfloculante, situado en un valor próximo a los 500 cP (viscosidad habitual de las barbotinas de pastas cerámicas en el sector). Para ello se prepara en primer lugar una suspensión a un determinado contenido en sólidos sobre la que se añade sucesivamente desfloculante hasta que con al menos 2 adiciones el valor de la viscosidad es igual o superior al anterior valor medido o bien se obtiene un valor inferior al deseado. Esto último significa que el contenido en sólidos es inferior al requerido, por lo que se realiza una adición de material sólido para aumentar su valor. El proceso se repite hasta alcanzar el mínimo de la curva en la zona de viscosidad requerida. El desfloculante empleado fue una mezcla compuesta por un 25% de tripolifosfato sódico y un 75% de metasilicato sódico.

Diagrama de compactación

Para determinar el diagrama de compactación, se conformaron probetas cilíndricas (de 4 cm de diámetro y aproximadamente 7 mm de espesor) a una humedad del 5,5% (base seca) y a diferentes presiones de prensado.

Las probetas se secaron a 110°C en una estufa eléctrica de laboratorio, con recirculación de aire. Posteriormente, se pesaron y se determinó su densidad aparente en seco por el método de inmersión en mercurio.

Conformado de probetas para el resto de ensayos

Para eliminar la influencia de la densidad aparente sobre las propiedades de la composición, el resto de ensayos se realizaron con probetas conformadas por prensado unidireccional, a una humedad de prensado del 5,5% (b.s.) y a la presión necesaria para obtener una densidad aparente en seco de 1,95 g/cm³.

Resistencia mecánica en seco

La resistencia mecánica en seco se determinó mediante flexión por tres puntos de apoyo. Para ello se moldearon probetas prismáticas de 80 mm de longitud, 20 mm de anchura y aproximadamente 7 mm de espesor. Las probetas fueron secadas en una estufa eléctrica de laboratorio con recirculación de aire a 110°C. Posteriormente, se pesaron de nuevo y se determinó su densidad aparente por el método de inmersión en mercurio.

Antes de la realización de los ensayos las probetas se introdujeron en un desecador a vacío el tiempo necesario para que alcanzasen la temperatura ambiente (15 minutos aproximadamente), con el objeto de que su hidratación fuese mínima.

Los ensayos se realizaron en una máquina de ensayos mecánicos (Instron) a una velocidad de deformación constante de 1 cm/min.

El dispositivo de flexión mediante tres puntos de apoyo consta de dos bordes de apoyo inferiores (soportes) por lo general cilíndricos, sobre los que se sitúa la probeta, y un apoyo superior, también cilíndrico, mediante el cual se aplica la carga. La resistencia mecánica a la tracción de una pieza sometida a un ensayo de flexión por tres puntos de apoyo viene dada por la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{3 \cdot F_{\max} \cdot L}{2 \cdot b \cdot e^2}$$

donde:

σ : resistencia mecánica en seco (kg/cm²).

F_{\max} : fuerza máxima antes de la rotura o carga de rotura (kgf).

L : distancia entre apoyos (cm).

b : anchura de la probeta (cm).

e : espesor de la probeta (cm).

Comportamiento en la cocción

Con el polvo de prensas conseguido se conformaron probetas cilíndricas de 4 cm de diámetro y aproximadamente 7 mm de espesor.

Las probetas se secaron a 110°C en una estufa eléctrica de laboratorio, con recirculación de aire. Posteriormente, se pesaron, se midió su diámetro y se determinó su densidad aparente por el método de inmersión en mercurio, tras lo cual se cocieron a diferentes temperaturas en un horno eléctrico de laboratorio con un ciclo rápido de cocción y un tiempo de permanencia a la máxima temperatura de 6 minutos. La velocidad de calentamiento fue de 25°C/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 introducirlas en agua en ebullición por un período de dos horas.

Coordenadas cromáticas

Las coordenadas cromáticas (L^* , a^* , b^*) se determinaron en un espectrofotómetro de reflectancia difusa, utilizando un iluminante tipo D65 y un observador standard a 10°.

Expansión por humedad

La expansión por humedad se determinó midiendo la expansión que experimentaban probetas cocidas a 1140°C tras permanecer en autoclave durante 5 horas con una presión de vapor de agua de 10 kg/cm².

Para ello se conformaron probetas prismáticas, de 80 mm de longitud, 20 mm de anchura y aproximadamente 7 mm de espesor. Las probetas se secaron a 110°C en una estufa eléctrica de laboratorio, con recirculación de aire. Posteriormente se cocieron en un horno eléctrico de laboratorio con un ciclo rápido de cocción y un tiempo de permanencia a la máxima temperatura de 6 minutos. La velocidad de calentamiento fue de 25°C/min. Finalmente se calculó la expansión por humedad (EH) mediante la siguiente expresión:

$$EH = \frac{l_h - l_c}{l_c} \cdot 1000$$

siendo:

l_h : longitud de la probeta hidratada

l_c : longitud de la probeta cocida

4.6.4.3 Resultados

Los resultados obtenidos se detallan en el anexo. A partir de los resultados se han confeccionado una serie de figuras y tablas que se comentan a continuación.

Comportamiento en la molienda:

En la Figura 49 y Tabla 60 se muestra el comportamiento de las composiciones durante la desfloculación. Para optimizar el coste económico de las etapas de molienda y secado por atomización es interesante que el contenido en sólidos de la suspensión sea lo más elevado posible (ya que se traducirá en una menor cantidad de agua a evaporar) y que el consumo de desfloculante sea lo más bajo posible (por el alto coste de estos aditivos). Los resultados obtenidos permiten establecer que la composición AZ-1 presenta peor comportamiento en la desfloculación respecto a la AZ-STD. Esto se debe a que como se ha comentado anteriormente, la arcilla de Zamora presenta un alto contenido en mineral arcilloso montmorillonítico, lo que se traduce en una alta plasticidad y un mal comportamiento en la desfloculación. La sustitución de la arcilla de Ucrania por la arcilla de A Coruña proporciona un comportamiento reológico similar, aunque es necesario aumentar el contenido de desfloculante. En ambos casos se dificulta el proceso de desfloculación, aunque técnicamente es viable la desfloculación de las nuevas composiciones ya que los contenidos en sólidos son elevados y los consumos de desfloculante bajos. Debe indicarse que el empleo de agua destilada en este ensayo conduce a la obtención de mayores contenidos en sólidos y menores consumos de desfloculante respecto a los de las suspensiones de soportes cerámicos producidas industrialmente, por lo que no son directamente trasladables. Sin embargo las diferencias observadas entre composiciones sí que son equiparables a las que se producirían a escala industrial.

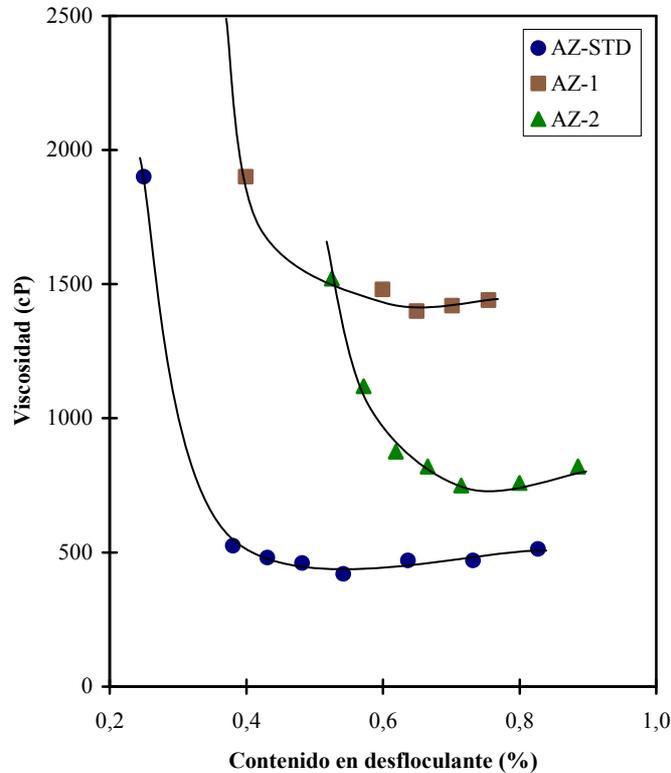


Figura 49 Curvas de desfloculación de las composiciones.

Tabla 60 Comportamiento en la desfloculación.

Composición	AZ-STD	AZ-1	AZ-2
Contenido en sólidos (%)	70,9	69,4	72,5
Contenido en desfloculante (%)	0,54	0,65	0,71
Viscosidad mínima (cP)	420	1400	750

Comportamiento en la etapa de prensado y propiedades en seco:

En la Figura 50 se han representado los diagramas de compactación de las composiciones, a partir de los cuales se han determinado las presiones necesarias para alcanzar una densidad aparente en seco de 1,95 g/cm³ (representativa de las condiciones industriales de conformado de los

soportes de azulejo de cocción blanca). Estos valores así como el resto de propiedades en crudo se detallan en la Tabla 61.

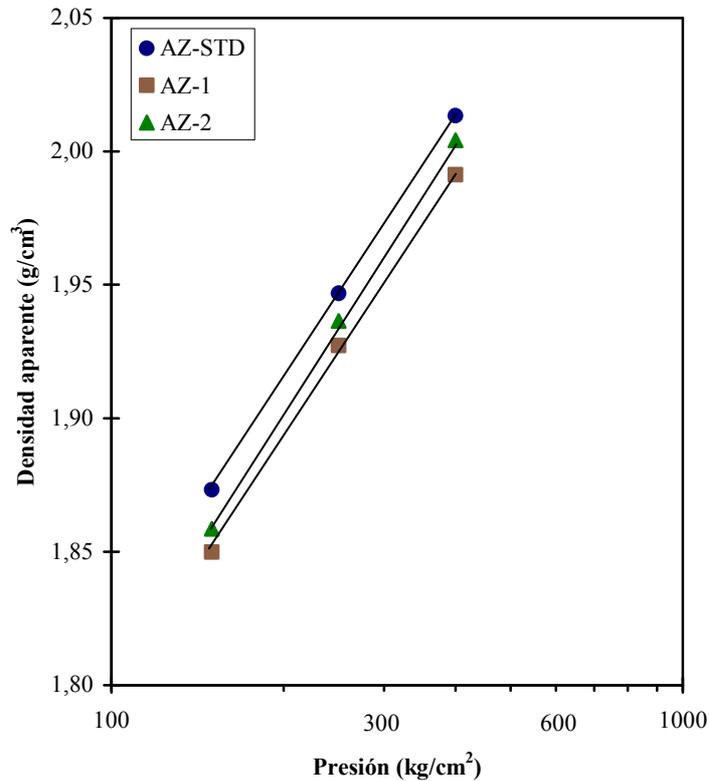


Figura 50 Evolución de la densidad aparente en seco con la presión.

Tabla 61 Propiedades en crudo de las composiciones.

Composición	AZ-STD	AZ-1	AZ-2
Rechazo a 63 μm (%)	2,0	2,2	2,1
Humedad (%)	5,5	5,5	5,5
Presión (kg/cm ²)	265	295	285
Densidad aparente en seco (g/cm ³)	1,952	1,946	1,950
Resistencia mecánica en seco (kg/cm ²)	21 \pm 1	22 \pm 1	21 \pm 1

Los resultados obtenidos permiten establecer lo siguiente:

- La sustitución de la arcilla ucraniana por la mezcla de arcilla de Zamora y arcilla de Teruel en la composición AZ-1 no afecta al comportamiento en el prensado, por lo que no se modifica apreciablemente la presión de prensado requerida para alcanzar la misma densidad aparente que con la composición de referencia (AZ-STD).
- Se observa la misma tendencia en la composición AZ-2, por lo que puede establecerse que la sustitución de la arcilla ucraniana por la arcilla de A Coruña en composiciones de azulejo no modifica el comportamiento en la etapa de conformado.
- De la misma forma, la resistencia mecánica en seco de las tres composiciones es muy parecida. Esto es consecuencia de que la plasticidad de la arcilla de A Coruña es muy parecida a la de la arcilla de Ucrania y lo mismo ocurre con la mezcla de arcilla de Zamora y de Teruel.
- Debe indicarse que como consecuencia del método de preparación de las composiciones (a escala de laboratorio) los valores de resistencia mecánica que se obtienen son más bajos que los que se obtendrían con polvos atomizados pero las diferencias observadas entre composiciones son trasladables al método de preparación industrial.
- Por otra parte el valor de resistencia mecánica de la composición con arcilla de Zamora es ligeramente más alto respecto al de la composición referencia, lo que indica que existe un ligero exceso en el contenido de arcilla de Zamora. La disminución del porcentaje de esta arcilla repercutirá favorablemente sobre el comportamiento reológico de la composición AZ-1.

Comportamiento en la cocción:

Una de las propiedades que se les exige a las baldosas de azulejo es que presenten una alta estabilidad dimensional. Esto se consigue mediante bajas contracciones de cocción (inferiores al 1 %), lo cual va unido a una alta porosidad, que además supone una mayor facilidad en su colocación.

La estabilidad dimensional y la alta porosidad se consiguen con la introducción de carbonatos cálcicos y/o magnésicos en la composición. Los óxidos de calcio y magnesio reaccionan con las fases amorfas provenientes de la deshidroxilación de los minerales arcillosos para formar silicatos y silicoaluminatos cálcicos y/o magnésicos. Estas fases evitan la sinterización, obteniéndose de esta forma las bajas contracciones y altas porosidades esperadas.

En la Figura 51 se ha representado la variación de la contracción lineal y de la absorción de agua con la temperatura de cocción. Los resultados

obtenidos evidencian claramente que las composiciones formuladas presentan un similar comportamiento en la cocción.

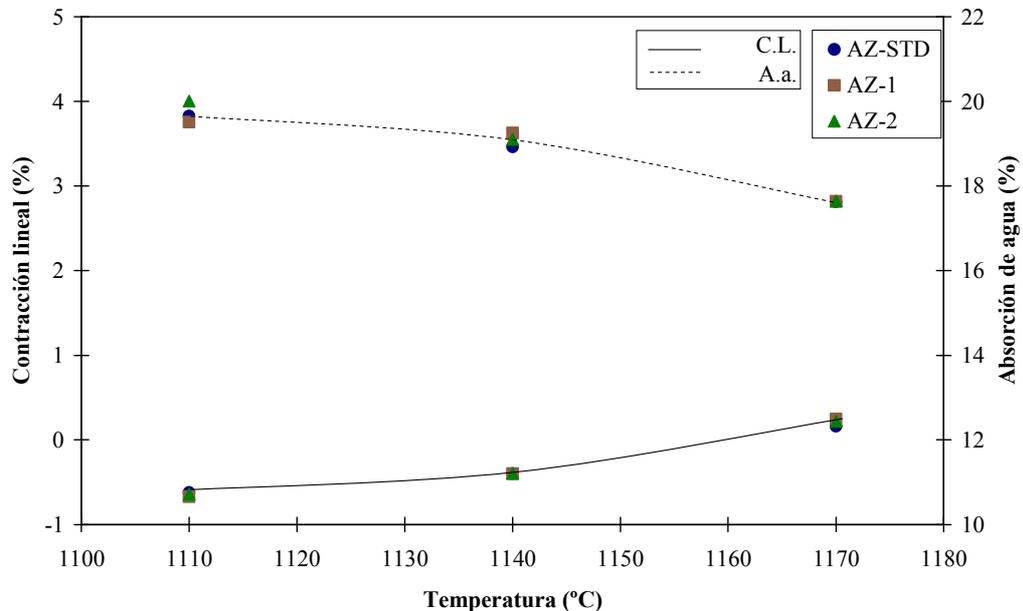


Figura 51 Evolución de la contracción lineal y de la absorción de agua con la temperatura.

Propiedades del producto cocido:

La elevada porosidad de los soportes de azulejo cocido conduce a que la pieza sea muy accesible por el agua, hidratándose las fases amorfas y vítreas presentes. Ello implica un aumento del tamaño del soporte cocido que puede llegar a producir curvaturas de las piezas e incluso cuarteos en la capa vidriada. Debido a esto, es necesario que las piezas cocidas presenten una elevada proporción de fases cristalinas con una mínima presencia de fases amorfas, para conseguir una baja expansión por humedad (igual o inferior a 1 ‰). En la Tabla 62 se muestran los valores de expansión por humedad de las diferentes composiciones así como el resto de propiedades del producto para la temperatura de 1140°C (aun existiendo variabilidad entre empresas, esta temperatura se puede considerar representativa de las condiciones industriales de cocción de las baldosas de azulejo de cocción blanca). Los resultados obtenidos permiten establecer que la sustitución de la arcilla de Ucrania por la arcilla de A Coruña o la mezcla de arcillas de Zamora y Teruel en composiciones de azulejo no supone cambios apreciables ni en el comportamiento en la cocción ni en las propiedades del producto cocido (tendencia a expandirse por acción de la humedad y coordenadas cromáticas).

Tabla 62 Propiedades a la temperatura de 1140°C.

Composición	AZ-STD	AZ-1	AZ-2
Contracción lineal (%)	-0,4	-0,4	-0,4
Absorción de agua (%)	18,9	19,2	19,1
Pérdida por calcinación (%)	10,40	10,62	10,53
Densidad aparente (g/cm ³)	1,744	1,736	1,739
L*	78,4	77,9	78,3
a*	5,4	5,6	5,5
b*	12,9	13,0	13,8
Expansión por humedad (‰)	1,0	0,9	1,0

Así, puede establecerse que la arcilla de A Coruña resulta una alternativa interesante a la arcilla de Ucrania para este tipo de composiciones, mientras que la arcilla de Zamora debe introducirse en menores porcentajes al objeto de no repercutir desfavorablemente sobre el comportamiento reológico de la suspensión. Esto, como ya se ha comentado, no supone un obstáculo insalvable ya que para obtener los valores de viscosidad requeridos (entorno a 500 cP), tanto el contenido en sólidos como el consumo de desfloculante son aceptables. Por tanto puede concluirse que es técnicamente viable formular composiciones de azulejo de cocción blanca con materias primas de procedencia exclusivamente nacional.

4.6.5 Mezclas de arcillas para composiciones de gres porcelánico esmaltado de blancura moderada

4.6.5.1 Formulación de composiciones

En la Tabla 63 se muestran las composiciones formuladas. La composición GPB-STD es una composición típica usada en la industria cerámica actual para la formulación de polvo atomizado de gres porcelánico esmaltado de bajos requerimientos de blancura. Estos bajos requerimiento de blancura son la razón de que se utilicen arcillas de la zona de Teruel (aunque en menor proporción que en las composiciones de gres y de azulejo). En las composiciones GPB-1, GPB-2 y GPB-3 se ha sustituido totalmente la arcilla de Ucrania por las arcillas seleccionadas en los trabajos anteriores con las características físico-químicas que las hacen susceptibles de ser utilizadas en composiciones de gres porcelánico esmaltado de baja blancura: la arcilla Zamora-1 en combinación bien con una mezcla de las arcillas de Asturias (GPB-1) o con una mezcla de las arcillas Teruel-4 y 6 (GPB-2) y directamente por la arcilla A Coruña-1 (GPB-3). Puede observarse por comparación con las fórmulas de azulejo del apartado anterior que en las composiciones GPB-1 y 2 se ha introducido un porcentaje muy superior de arcilla de Zamora. Esto se debe por un lado a la necesidad de aportar

plasticidad a la composición (ya que la plasticidad de las arcillas de Teruel de alta blancura y de las de Asturias es muy baja) y a que estas últimas presentan muy buen comportamiento en la desfloculación.

Tabla 63 Composiciones formuladas (% en peso).

Composición	GPB-STD	GPB-1	GPB-2	GPB-3
Arcilla Teruel	20	20	20	20
Arcilla Ucrania	25	-	-	-
Arcilla Zamora-1	-	17	16	-
Arcillas Asturias-1 + 2	-	8	-	-
Arcillas Teruel alta blancura (Teruel-4 + 6)	-	-	9	-
Arcilla A Coruña-1	-	-	-	25
Feldespatos Turquía calidad STD (blancura media)	20	20	20	20
Feldespatos Cerdeña	25	25	25	25
Arena feldespática	10	10	10	10

4.6.5.2 Ensayos realizados

Los ensayos realizados para caracterizar las composiciones formuladas fueron los siguientes:

Comportamiento en la molienda:

- Residuo sobre tamiz de 63 μm .

Comportamiento en la etapa de prensado:

- Diagrama de compactación. Densidad aparente a una humedad y tres presiones.

Propiedades en seco:

- Resistencia mecánica a la flexión en seco.

Comportamiento en la cocción:

- Pérdida por calcinación.
- Diagrama de gresificación. Contracción lineal, absorción de agua y densidad aparente a varias temperaturas de cocción.

Propiedades del producto:

- Coordenadas cromáticas a varias temperaturas de cocción.

A continuación se describen brevemente los métodos utilizados para la preparación de las muestras y la realización de los ensayos anteriormente mencionados.

Preparación de las composiciones

Previamente a la preparación de las composiciones las arcillas se molturaron vía seca con un tamiz salida de 1 mm. Posteriormente se deslieron vía húmeda en una mezcla acetona-agua (95-5%) con un desleidor de coronas concéntricas (IKA, modelo Ultra Turrax T50) operando a la velocidad de 3000 r.p.m. Finalmente se mezclaron las distintas materias primas en los porcentajes adecuados (Tabla 63) y se molturaron vía húmeda con acetona hasta alcanzar un residuo sobre tamiz de 63 μm comprendido entre el 1,5 y 2,0 %. Las suspensiones obtenidas se secaron en lámparas de infrarrojos.

Diagrama de compactación

Para determinar el diagrama de compactación, se conformaron probetas cilíndricas (de 4 cm de diámetro y aproximadamente 7 mm de espesor) a una humedad del 5,5% (base seca) y a diferentes presiones de prensado.

Las probetas se secaron a 110°C en una estufa eléctrica de laboratorio, con recirculación de aire. Posteriormente, se pesaron y se determinó su densidad aparente en seco por el método de inmersión en mercurio.

Conformado de probetas para el resto de ensayos

Para eliminar la influencia de la densidad aparente sobre las propiedades de la composición, el resto de ensayos se realizaron con probetas conformadas por prensado unidireccional, a una humedad de prensado del 5,5% (b.s.) y a la presión necesaria para obtener una densidad aparente en seco de 1,95 g/cm^3 excepto en la composición GBP-1, en la que no fue posible llegar a dicho valor de densidad aparente y se moldearon probetas a la presión necesaria para obtener una densidad aparente en seco de 1,91 g/cm^3 .

Resistencia mecánica en seco

La resistencia mecánica en seco se determinó mediante flexión por tres puntos de apoyo. Para ello se moldearon probetas prismáticas de 80 mm de longitud, 20 mm de anchura y aproximadamente 7 mm de espesor. Las probetas fueron secadas en una estufa eléctrica de laboratorio con recirculación de aire a 110°C. Posteriormente, se pesaron de nuevo y se determinó su densidad aparente por el método de inmersión en mercurio.

Antes de la realización de los ensayos las probetas se introdujeron en un desecador a vacío el tiempo necesario para que alcanzasen la temperatura ambiente (15 minutos aproximadamente), con el objeto de que su hidratación fuese mínima.

Los ensayos se realizaron en una máquina de ensayos mecánicos (Instron) a una velocidad de deformación constante de 1 cm/min.

El dispositivo de flexión mediante tres puntos de apoyo consta de dos bordes de apoyo inferiores (soportes) por lo general cilíndricos, sobre los que se sitúa la probeta, y un apoyo superior, también cilíndrico, mediante el cual se aplica la carga. La resistencia mecánica a la tracción de una pieza sometida a un ensayo de flexión por tres puntos de apoyo viene dada por la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{3 \cdot F_{\max} \cdot L}{2 \cdot b \cdot e^2}$$

donde:

σ : resistencia mecánica en seco (kg/cm^2).

F_{\max} : fuerza máxima antes de la rotura o carga de rotura (kgf).

L : distancia entre apoyos (cm).

b : anchura de la probeta (cm).

e : espesor de la probeta (cm).

Diagrama de gresificación

Con el polvo de prensas conseguido se conformaron probetas cilíndricas (de 4 cm de diámetro y aproximadamente 7 mm de espesor. Las probetas se secaron a 110°C en una estufa eléctrica de laboratorio, con recirculación de aire. Posteriormente, se pesaron, se midió su diámetro y se determinó su densidad aparente por el método de inmersión en mercurio, tras lo cual se cocieron a diferentes temperaturas en un horno eléctrico de laboratorio con un ciclo rápido de cocción y un tiempo de permanencia a la máxima temperatura de 6 minutos. La velocidad de calentamiento fue de 25°C/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 introducirlas en agua en ebullición por un período de dos horas.

Coordenadas cromáticas

Las coordenadas cromáticas (L^* , a^* , b^*) se determinaron en un espectrofotómetro de reflectancia difusa, utilizando un iluminante tipo D65 y un observador standard a 10°.

4.6.5.3 Resultados

Los resultados obtenidos se detallan en el anexo. A partir de los resultados se han confeccionado una serie de figuras y tablas que se comentan a continuación.

Comportamiento en el prensado y propiedades en seco

En la Figura 52 se muestra como varía la compacidad de las muestras al aumentar la presión de prensado, en el rango habitual de trabajo dentro de la industria cerámica. A partir de esta figura se han determinado las presiones necesarias para alcanzar una densidad aparente en seco de $1,95 \text{ g/cm}^3$ (representativa de las condiciones industriales de conformado de los soportes de gres porcelánico esmaltado). En la Tabla 64 se detallan estos valores así como la resistencia mecánica en seco de las probetas conformadas a partir de las diferentes composiciones.

Se observa que la composición GPB-1, en la que la arcilla de Ucrania se ha sustituido por una mezcla de arcilla de Zamora y de Asturias, proporciona valores de la densidad aparente apreciablemente más bajos respecto a la composición STD, no siendo posible alcanzar en el intervalo de presiones habitual la densidad aparente deseada. Esto se debe a la baja compacidad que presenta la arcilla de Asturias cuando se moltura a un residuo sobre tamiz de $63 \mu\text{m}$ reducido, como es el caso de este tipo de composiciones. A esto hay que añadir la baja proporción de partículas pequeñas de esta arcilla. Las otras dos composiciones formuladas presentan un comportamiento en la etapa de prensado más parecido al de la composición STD.

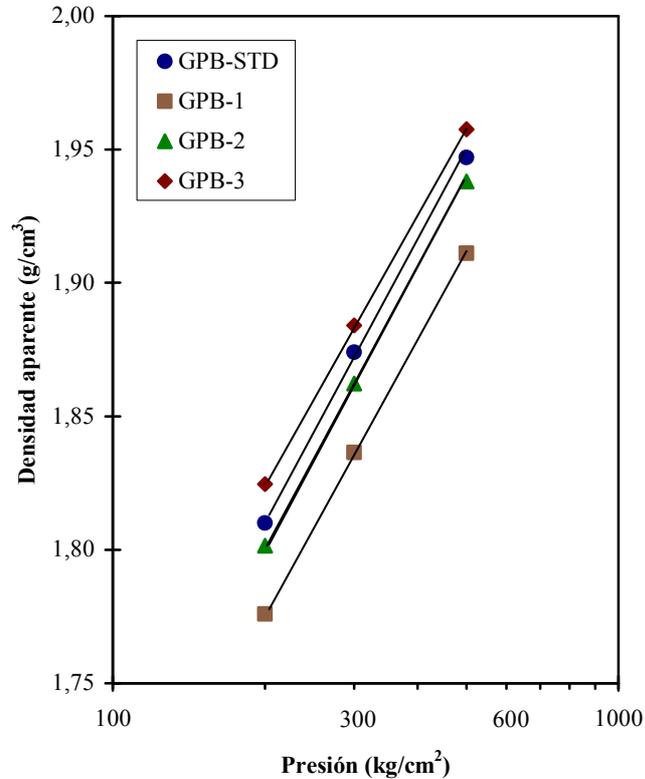


Figura 52 Evolución de la densidad aparente en seco con la presión.

Como cabía esperar por los valores similares de plasticidad de las mezclas de arcillas empleadas en las diferentes composiciones, la resistencia mecánica de las piezas secas (Tabla 64) de la composición STD no varía excesivamente respecto a las formuladas en el estudio, siendo todos los valores obtenidos elevados. Debe tenerse en cuenta que, como se indicaba en el apartado 4.6.4.3, los valores de resistencia mecánica que se obtienen son más bajos que los que se obtendrían con polvos atomizados como consecuencia del método de preparación de las composiciones (a escala de laboratorio). Los resultados indican que es posible reducir el contenido de arcilla de Zamora dado que los valores de resistencia mecánica son elevados. De este modo se mejoraría el previsible mal comportamiento en la desfloculación de estas composiciones.

Tabla 64 Propiedades en crudo de las composiciones.

Composición	GPB-STD	GPB-1	GPB-2	GPB-3
Rechazo a 63 μm (%)	1,9	1,9	1,6	1,5
Humedad (%)	5,5	5,5	5,5	5,5
Presión (kg/cm^2)	500	500	550	480
Densidad aparente en seco (g/cm^3)	1,948	1,915	1,949	1,953
Resistencia mecánica en seco (kg/cm^2)	27 ± 1	26 ± 1	29 ± 1	25 ± 1

Comportamiento en la cocción y propiedades del producto cocido:

En la Figura 53 se han representado los diagramas de gresificación de las composiciones. Por otro lado, en la Tabla 65 se resumen las propiedades de dichas composiciones para una absorción de agua del 0,5%, representativa de las condiciones industriales de cocción del gres porcelánico esmaltado.

Al observar el diagrama de gresificación de las composiciones, se debe tener en cuenta que la densidad aparente en seco de la composición GBP-1 es inferior al resto de composiciones (la porosidad inicial de la muestra es mayor), lo que motiva que los valores de la contracción de cocción sean superiores. En lo que respecta a la fundencia, la totalidad de las composiciones alcanzan la absorción de agua requerida en torno a 1180°C, temperatura de cocción de la composición STD. Esto se traduce en que las temperaturas a las que se alcanza la absorción de agua del 0,5% (Tabla 65) no varían excesivamente de una composición a otra. Por tanto puede concluirse que la arcilla de A Coruña y las mezclas de arcillas de Zamora y Asturias o Teruel de alta blancura proporcionan una fundencia similar a la arcilla de Ucrania en composiciones de gres porcelánico.

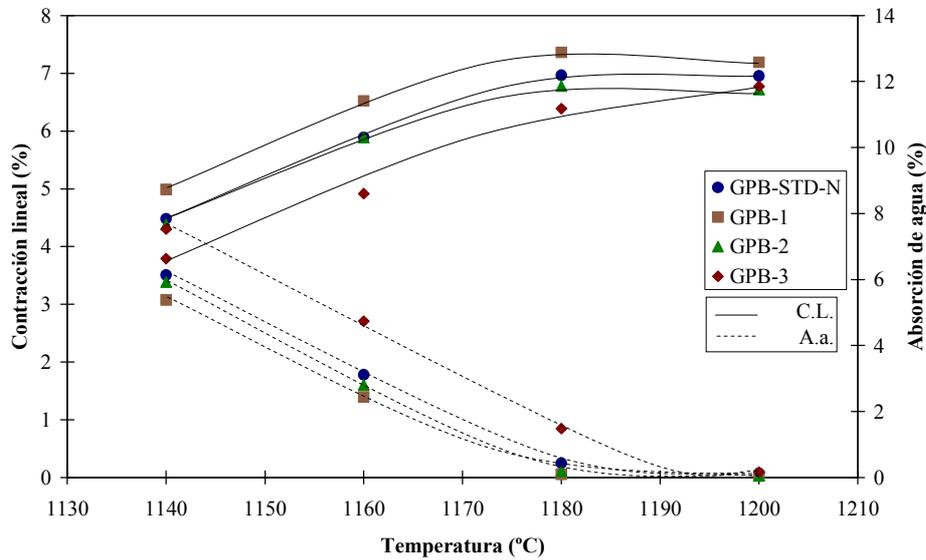


Figura 53 Evolución de la contracción lineal y de la absorción de agua con la temperatura.

Del resto de parámetros de la Tabla 65, resulta positivo el hecho de que la contracción de cocción disminuya en las composiciones GPB-2 y 3 respecto a la STD. Esto se debe a la menor densidad aparente en cocido de las probetas obtenidas con estas composiciones.

Los valores de las coordenadas cromáticas para la absorción de agua del 0,5% se detallan en la Tabla 65. En dicha tabla se pone de manifiesto la semejanza en el color en cocido de las diferentes composiciones formuladas respecto a la STD salvo la composición con arcilla de Galicia, que presenta una blancura ligeramente más baja (menor valor de la coordenada cromática L*).

Tabla 65 Propiedades para una absorción de agua del 0,5%.

Composición	GPB-STD	GPB-1	GPB-2	GPB-3
Temperatura (°C)	1180	1173	1175	1188
Densidad aparente (g/cm ³)	2,400	2,400	2,384	2,384
Contracción lineal (%)	7,0	7,2	6,7	6,7
Pérdida por calcinación (%)	3,64	3,96	3,95	3,89
L*	63,2	63,5	63,5	61,1
a*	3,7	4,3	4,1	3,0
b*	10,7	10,2	10,3	10,5

Así, puede concluirse que la arcilla de A Coruña es una alternativa interesante a la arcilla de Ucrania para este tipo de composiciones, dado que presenta un buen comportamiento en el prensado, proporciona una adecuada resistencia mecánica en seco y su fundencia es similar a la de la arcilla de Ucrania.

Las composiciones formuladas con arcilla de Zamora (como aporte de material de alta plasticidad) y arcillas de Teruel de alta blancura y de Asturias (para aportar blancura) presentan como principal inconveniente su comportamiento reológico, lo que indica que el porcentaje a introducir en este tipo de composiciones (con arcillas de baja plasticidad) no debe superar el 10%. El resto de propiedades (compacidad, resistencia mecánica y fundencia) se consideran adecuadas para la fabricación de estos soportes.

Toda esta información se utilizará en el apartado 4.6.7 para proponer fórmulas para soportes de gres porcelánico con materias primas exclusivamente nacionales.

4.6.6 Mezclas de feldespatos para composiciones de gres porcelánico esmaltado de blancura moderada y alta

4.6.6.1 Formulación de composiciones

En esta parte del trabajo se han estudiado composiciones con mezclas de feldespatos y arcilla de Ucrania al objeto de definir los feldespatos a utilizar en la última fase del trabajo. Su utilización vendrá determinada por la fundencia que aporte el feldespato a la composición (capacidad de obtener bajos valores de la absorción de agua a temperaturas moderadas) y por el color en cocido.

Por tanto, el objetivo de esta tercera fase del estudio es determinar la influencia del tipo de feldespato empleado sobre la fundencia de la composición y el color del producto cocido. Para ello se han preparado mezclas constituidas por un 50% en peso de arcilla de Ucrania y un 50% en peso de algunos de los feldespatos empleados en el sector para la fabricación de gres porcelánico esmaltado: Turquía calidad STD (blancura media), Francia y Cáceres así como de los feldespatos que en el apartado 4.5 se estableció que eran adecuados para este tipo de composiciones (descritos en el apartado 4.6.3). En la Tabla 66 se muestran las composiciones formuladas. Puede observarse que no se han preparado composiciones con los feldespatos resultantes del proceso de beneficio en las instalaciones del IGME (Madrid, Córdoba y los dos de Ávila) por no disponer de la cantidad suficiente de muestra para estos ensayos, prefiriendo emplearlos en la última fase del estudio.

Tabla 66 Composiciones formuladas (% en peso).

Composición	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Arcilla Ucrania	50	50	50	50	50	50
Feldespatos Turquía calidad STD	50	-	-	-	-	-
Feldespatos Salamanca-1	-	50	-	-	-	-
Feldespatos Francia	-	-	50	-	-	-
Feldespatos Cáceres	-	-	-	50	-	-
Feldespatos Madrid-1	-	-	-	-	50	-
Feldespatos Sevilla-2	-	-	-	-	-	50

4.6.6.2 Ensayos realizados

Los ensayos realizados para caracterizar las composiciones formuladas fueron los siguientes:

Comportamiento en la molienda:

- Residuo sobre tamiz de 63 μm .

Comportamiento en la etapa de prensado:

- Diagrama de compactación. Densidad aparente a una humedad y tres presiones.

Comportamiento en la cocción:

- Pérdida por calcinación.
- Diagrama de gresificación. Contracción lineal, absorción de agua y densidad aparente a diferentes temperaturas de cocción.

Propiedades del producto:

- Coordenadas cromáticas a diferentes temperaturas de cocción.

Los métodos utilizados para la preparación de las muestras y la realización de los ensayos anteriormente mencionados son los mismos que se describen en el apartado 4.6.5.2.

4.6.6.3 Resultados

Los resultados obtenidos se detallan en el anexo.

Dado que el objetivo de esta fase del estudio era determinar la influencia del tipo de feldespatos empleado sobre la fundencia de la composición y el color del producto cocido, únicamente se van a mostrar los resultados relacionados con estas propiedades. Así, en la Tabla 67 se muestra la

temperatura a la que se alcanza una absorción de agua del 1% y las propiedades de las piezas a esta temperatura.

Los resultados permiten establecer la enorme influencia del tipo de feldespato sobre la fundencia de la composición y el hecho en principio sorprendente de que el color del producto no depende en gran medida del tipo de feldespato.

En lo que respecta a la fundencia es destacable la disminución tan acusada que se produce de la temperatura de cocción con el feldespato de Salamanca (composición M2) respecto a los feldespatos de Turquía, Francia y Cáceres (composiciones M1, M3 y M4 respectivamente). De la misma forma resulta notable la refractariedad de las composiciones con los feldespatos de Madrid y Sevilla (composiciones M5 y M6 respectivamente), aunque esto es explicable si se tiene en cuenta la composición química de estos feldespatos, que se muestra en la Tabla 68 comparándola con la del feldespato de Cáceres (composición M4). Puede apreciarse que los feldespatos de Madrid y Sevilla contienen proporciones mucho más altas de sílice y más bajas de alúmina que el feldespato de Cáceres, indicando un mayor contenido de cuarzo en los primeros. El cuarzo es un mineral de elevada refractariedad, lo cual explica las diferencias de fundencia observadas.

Finalmente la comparación de los contenidos de óxidos cromóforos de la arcilla de Ucrania (1,1% de Fe_2O_3 y 1,2% de TiO_2) con respecto a los de los feldespatos empleados (ver por ejemplo los de la Tabla 68) explica la escasa influencia del tipo de feldespato sobre el color del producto. En efecto, la arcilla contiene proporciones mucho más elevadas de ambos óxidos por lo que el color del producto obtenido con estas composiciones viene determinado en gran medida por esta materia prima.

Tabla 67 *Propiedades para una absorción de agua del 1%.*

Composición	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Temperatura (°C)	1180	1146	1170	1180	1208	1208
Densidad aparente (g/cm ³)	2,380	2,294	2,382	2,368	2,346	2,356
Contracción lineal (%)	6,4	5,7	6,7	6,4	6,3	6,4
Pérdida por calcinación (%)	3,25	3,56	3,44	3,28	3,51	3,43
L*	75,8	75,5	74,7	75,2	75,2	75,8
a*	2,9	3,6	4,2	4,3	2,1	2,0
b*	12,4	11,5	12,6	12,1	11,9	12,6

Tabla 68 Composición química de los feldespatos Madrid-1 y Sevilla-2 y del feldespato procedente de Cáceres (% en peso).

Óxido	Madrid-1	Sevilla-2	Cáceres
SiO ₂	77,70	76,50	68,0
Al ₂ O ₃	12,80	13,90	18,0
Fe ₂ O ₃	0,26	0,15	0,15
CaO	0,89	0,06	0,4-0,8
MgO	0,27	0,02	<0,10
Na ₂ O	5,86	8,20	3-4,5
K ₂ O	1,16	0,17	5-7
TiO ₂	0,15	0,16	<0,05
ppc	0,92	0,60	<0,1

Por tanto, puede concluirse en esta parte del estudio que los feldespatos de Madrid y Sevilla sin someterse a procesos de beneficio no resultan una alternativa directa a los feldespatos empleados en la actualidad en composiciones de gres porcelánico como consecuencia de su menor fundencia, aunque pueden emplearse junto con otros feldespatos de mayor fundencia.

4.6.7 Formulación y caracterización de composiciones de gres porcelánico esmaltado de blancura moderada y alta con materias primas nacionales

4.6.7.1 Formulación de composiciones

En las Tablas 69 y 70 se muestran las composiciones formuladas. Las composiciones GPB-STD y GPA-STD muestran composiciones típicas usadas en la industria cerámica actual para la formulación de polvos atomizados de gres porcelánico esmaltado de moderados y elevados requerimientos de blancura respectivamente. La composición GPB-4 muestra la mezcla formulada para obtener soportes de gres porcelánico esmaltado de blancura moderada. La composición GPA-1 muestra la composición formulada para obtener soportes de gres porcelánico esmaltado de elevada blancura. Puede observarse por comparación con las fórmulas del apartado 4.6.5 que en estas composiciones se ha introducido un porcentaje mucho más bajo de arcilla de Zamora para mejorar el comportamiento en la desfloculación. El resto de arcillas introducidas son las mismas del apartado 4.6.5, eliminándose la arcilla de Teruel estándar (una de las empleadas habitualmente por el sector) en la composición con la que se desea obtener una elevada blancura. En lo que respecta a los feldespatos, en la composición de baja blancura se han introducido los de

4. Resultados

Ávila sometidos a desmagnetización mediante imán permanente y los resultantes del proceso de beneficio de las muestras de Madrid y de Córdoba. En la composición de alta blancura únicamente se han introducido estos últimos por el color más blanco que proporcionan tras la cocción respecto a los anteriores.

Debe indicarse que no se ha introducido arcilla de A Coruña en estas composiciones por razones de disponibilidad de material y a que ya se ha establecido en el apartado 4.6.5 que es una alternativa adecuada a la arcilla de Ucrania. Por otro lado el feldespatos de Sevilla si se sometiera a un proceso de beneficio (con enriquecimiento en álcalis) resultaría también adecuado tanto para productos de alta blancura como de blancura moderada.

Tabla 69 Composiciones formuladas para la obtención de soporte de blancura moderada (% en peso).

Composición	GPB-STD	GPB-4
Arcilla Teruel	20	25
Arcilla Ucrania	25	--
Arcilla Zamora-1	--	5
Arcillas Asturias	--	5
Arcillas Teruel alta blancura	--	10
Feldespatos Turquía calidad STD (blancura media)	20	--
Feldespatos Cerdeña	25	--
Feldespatos Ávila-1 desmagnetizado	--	10
Feldespatos Ávila-3 desmagnetizado	--	10
Feldespatos Madrid + Córdoba flotados y desmagnetizados	--	35
Arena feldespática	10	--

Tabla 70 Composiciones formuladas para la obtención de soportes de alta blancura (% en peso).

Composición	GPA-STD	GPA-1
Arcilla Ucrania	37,0	--
Caolín	6,5	--
Arcilla Zamora-1	--	5
Arcillas Asturias	--	10
Arcillas Teruel alta blancura	--	30
Feldespatos Turquía calidad Extra (alta blancura)	30,0	--
Feldespatos Cerdeña	20,0	--
Feldespatos Madrid + Córdoba flotados y desmagnetizados	--	45
Arena feldespática	6,5	10

4.6.7.2 Ensayos realizados

Los ensayos realizados para caracterizar las composiciones formuladas fueron los siguientes:

Comportamiento en la molienda:

- Residuo sobre tamiz de 63 μm .
- Curva de desfloculación.

Comportamiento en la etapa de prensado:

- Diagrama de compactación. Densidad aparente a una humedad y tres presiones.

Propiedades en seco:

- Resistencia mecánica a la flexión en seco.

Comportamiento en la cocción:

- Pérdida por calcinación.
- Diagrama de gresificación. Contracción lineal, absorción de agua y densidad aparente a varias temperaturas de cocción.

Propiedades del producto:

- Coordenadas cromáticas a varias temperaturas de cocción.

Los métodos utilizados para la preparación de las muestras y la realización de los ensayos anteriormente mencionados son los mismos que se describen en el apartado 4.6.5.2 salvo por el hecho de que las composiciones se molturaron hasta un rechazo a 63 μm del 4% para intentar mejorar el comportamiento en el prensado, que previsiblemente no iba a ser muy bueno. Finalmente indicar que la curva de desfloculación se determinó a un contenido en sólidos del 69% siguiendo la metodología descrita en el apartado 4.6.4.2.

4.6.7.3 Resultados

Los resultados obtenidos se detallan en el anexo. A partir de los resultados se han confeccionado una serie de figuras y tablas que se comentan a continuación.

Comportamiento en la molienda:

En las Tablas 71 y 72 se muestra el comportamiento de las composiciones durante la desfloculación para un contenido en sólidos del 69% (se considera que este valor es adecuado desde el punto de vista del consumo energético en la etapa de atomización). Puede observarse que las dos composiciones formuladas proporcionan mínimos de viscosidad muy bajos para pequeños consumos de desfloculante. Por tanto puede concluirse que las dos composiciones formuladas presentan un buen comportamiento en la desfloculación, similar o incluso mejor que el de las composiciones de referencia.

Tabla 71 *Comportamiento en la desfloculación de las composiciones de blancura moderada.*

Composición	GPB-STD	GPB-4
Contenido en sólidos (%)	69	69
Contenido en desfloculante (%)	0,1	0,2
Viscosidad mínima (cP)	200	330

Tabla 72 *Comportamiento en la desfloculación de las composiciones de elevada blancura.*

Composición	GPA-STD	GPA-1
Contenido en sólidos (%)	69	69
Contenido en desfloculante (%)	0,4	0,1
Viscosidad mínima (cP)	800	268

Comportamiento en el prensado y propiedades en seco:

En las Tablas 73 y 74 se muestran las condiciones de conformado de las composiciones y los valores de resistencia mecánica en seco. Los altos valores de resistencia mecánica (para el método de preparación empleado) obtenidos con las composiciones STD se deben a la alta plasticidad de la arcilla de Ucrania, aunque ya se ha indicado anteriormente que no se consideran necesarios para las condiciones típicas de producción. En lo que respecta a este parámetro el valor obtenido con la composición GPB-4 se encuentra en el límite de lo aceptable (teniendo en cuenta el método de preparación de las composiciones) y el valor obtenido con la composición GPA-1 resulta demasiado bajo. Esto se debe a la mayor proporción en esta composición de arcillas de baja plasticidad (Teruel alta blancura y Asturias). La obtención de bajos valores de resistencia mecánica en seco con las composiciones formuladas no debe resultar excesivamente preocupante dado que en la actualidad existen numerosos sistemas ligantes que en pequeños porcentajes aumentan considerablemente esta propiedad. Además, dado que el comportamiento en la desfloculación de las composiciones formuladas ha sido muy bueno, podría aumentarse ligeramente el porcentaje de arcilla de Zamora (sin superar el 10% en peso), incrementándose de esta forma la resistencia mecánica en seco.

Los elevados valores de la presión de prensado también se deben en parte al método de preparación (como se desprende del hecho de que las composiciones STD también requieran valores parecidos), siendo superiores a los que requerirían estas composiciones procesadas mediante molienda con agua y secado por atomización.

Tabla 73 *Propiedades en crudo de las composiciones de blancura moderada.*

Composición	GPB-STD	GPB-4
Rechazo a 63 μm (%)	1,9	4,0
Humedad (%)	5,5	5,5
Presión (kg/cm^2)	500	500
Densidad aparente en seco (g/cm^3)	1,948	1,949
Resistencia mecánica en seco (kg/cm^2)	27 ± 1	20 ± 1

Tabla 74 Propiedades en crudo de las composiciones de elevada blancura.

Composición	GPA-STD	GPA-1
Rechazo a 63 μm (%)	2,0	4,1
Humedad (%)	5,5	5,5
Presión (kg/cm^2)	480	550
Densidad aparente en seco (g/cm^3)	1,956	1,949
Resistencia mecánica en seco (kg/cm^2)	30 \pm 1	18 \pm 1

Comportamiento en la cocción y propiedades del producto cocido:

En las Figuras 54 y 55 se han representado los diagramas de gresificación de las composiciones. Por otro lado, en las Tablas 75 y 76 se resumen las propiedades de dichas composiciones para una absorción de agua del 0,5%, representativa de las condiciones industriales de cocción del gres porcelánico esmaltado. Los resultados obtenidos permiten establecer lo siguiente:

- Tanto la fundencia como el color del producto cocido de la composición de blancura moderada formulada con materias primas nacionales se consideran adecuados.
- La fundencia de la composición de alta blancura formulada con materias primas nacionales es más baja de lo recomendable, como se desprende de la alta temperatura de cocción requerida para obtener la absorción de agua del 0,5% en comparación con la composición de referencia.
- Esto se debe a la alta refractariedad de las arcillas de Teruel de alta blancura y de Asturias, que no es compensada por la fundencia de los feldespatos de Madrid y Córdoba beneficiados. Una forma de aumentar la fundencia sería introducir en la fórmula los feldespatos de Salamanca, que como se concluyó en la tercera fase del estudio son los de mayor fundencia.
- La blancura del producto obtenido con la composición GPA-1 resulta adecuada para este tipo de productos, aun no siendo tan elevada como la que proporcionan algunos polvos atomizados del sector.

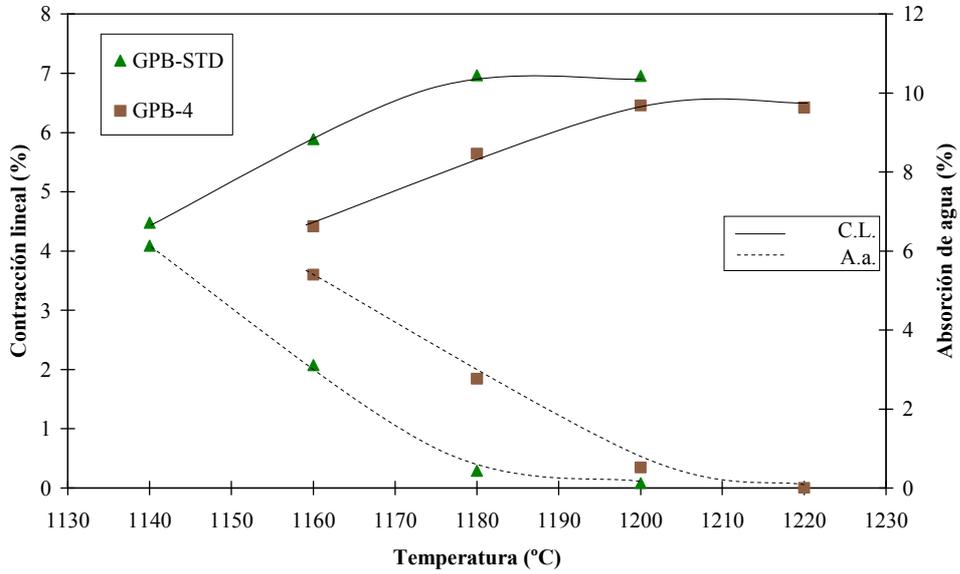


Figura 54 Evolución de la contracción lineal y de la absorción de agua con la temperatura para las composiciones de blancura moderada.

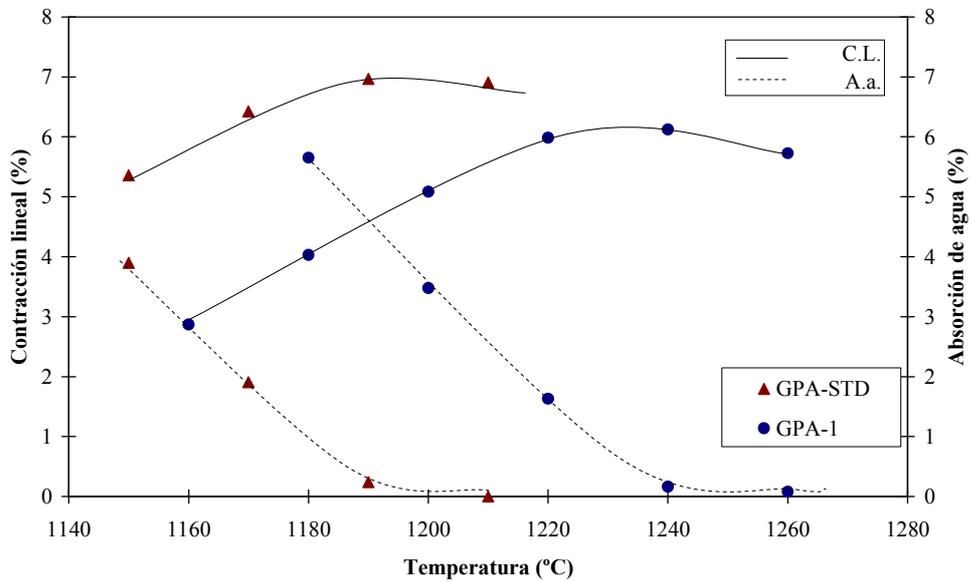


Figura 55 Evolución de la contracción lineal y de la absorción de agua con la temperatura para las composiciones de elevada blancura.

4. Resultados

Tabla 75 *Propiedades de las composiciones de blancura moderada para una absorción de agua del 0,5%.*

Composición	GPB-STD	GPB-4
Temperatura (°C)	1180	1200
Densidad aparente (g/cm ³)	2,400	2,380
Contracción lineal (%)	7,0	6,5
Pérdida por calcinación (%)	3,64	3,22
L*	63,2	63,0
a*	3,7	3,7
b*	10,7	9,3

Tabla 76 *Propiedades de las composiciones de elevada blancura para una absorción de agua del 0,5%.*

Composición	GPA-STD	GPA-1
Temperatura (°C)	1183	1231
Densidad aparente (g/cm ³)	2,406	2,358
Contracción lineal (%)	6,9	6,1
Pérdida por calcinación (%)	4,01	2,81
L*	74,1	73,0
a*	2,7	1,3
b*	11,9	10,1

Por tanto puede concluirse en esta parte del estudio que resulta técnicamente viable formular composiciones de gres porcelánico esmaltado (de moderada y alta blancura) con materias primas de procedencia exclusivamente nacional, aunque ello implica el empleo de feldspatos beneficiados y puede ser necesario utilizar sistemas ligantes en pequeños porcentajes para aportar resistencia mecánica a las piezas crudas.

Debe indicarse que no se han observado problemas de baja compacidad con las composiciones formuladas porque la molienda de las mismas ha sido menos energética de lo habitual, aun siendo técnicamente aceptable. Si se hubiera realizado con la misma intensidad que con las composiciones STD el comportamiento en el prensado hubiera sido peor.

Por tanto, la obtención de composiciones de gres porcelánico no esmaltado con arcillas nacionales no parece viable técnicamente ya que las

composiciones formuladas una vez molidas hasta los tamaños de partícula habituales presentarían mal comportamiento en la etapa de prensado. En efecto, en este tipo de productos las composiciones necesariamente deben molturarse de forma muy enérgica para conseguir la microestructura en crudo adecuada para que la resistencia a las manchas del producto pulido sea elevada (y este tipo de distribuciones de tamaños conducen a la obtención de bajas compacidades).

4.6.8 Conclusiones

Se han formulado composiciones para la obtención de soportes de cocción blanca (gres porcelánico esmaltado y azulejo) a partir de materias primas de origen exclusivamente nacional. La caracterización de estas composiciones en comparación con las fabricadas actualmente en España indica lo siguiente:

- Es posible obtener composiciones de soportes de azulejo con materias primas nacionales debido principalmente a que únicamente se utilizan arcillas de importación en porcentajes bajos (en torno al 10%). Estas arcillas aportan principalmente resistencia mecánica en seco a las piezas, por lo que es posible conseguir esta propiedad mediante la utilización de la arcilla de A Coruña, pequeños porcentajes de la arcilla de Zamora o la utilización de ligantes.
- La obtención de soportes de gres porcelánico de moderada blancura presenta como principal inconveniente la inexistencia de arcillas plásticas, de elevada blancura y buena desfloculación en el territorio nacional. No obstante, la utilización de mezclas de arcilla de Zamora, Asturias y Teruel de alta blancura (muy silícea) puede permitir la fabricación de soportes de blancura moderada aunque ello requerirá la modificación de algunas variables del proceso.
- La obtención de soportes de porcelánico de alta blancura con materias primas nacionales es compleja debido principalmente a la inexistencia de arcillas con las características adecuadas. La mezcla Zamora/Asturias/Teruel proporciona un comportamiento en el prensado aceptable cuando el residuo de molienda es elevado, aunque la resistencia mecánica en seco y la fundencia de las piezas es baja como consecuencia del elevado contenido en cuarzo que presentan. En este caso, además de utilizar ligantes para mejorar la resistencia mecánica de las piezas en seco, se deberían utilizar feldespatos de elevada fundencia para compensar la refractariedad de estas arcillas.
- La obtención de soportes de gres porcelánico no esmaltado resulta muy compleja, debido a la dificultad de compaginar una adecuada plasticidad de la composición, comportamiento reológico y blancura en el producto final y a los problemas asociados a una baja

compacidad originados por los bajos residuos de molienda que se utilizan.

Estos resultados permiten establecer las siguientes conclusiones generales del trabajo:

- El principal problema que plantea la fabricación de soportes cerámicos con materias primas nacionales es la inexistencia de arcillas de cocción blanca que puedan sustituir directamente a las importadas de Ucrania e Inglaterra, aunque existen nuevas zonas con arcillas potencialmente utilizables en la fabricación de soportes cerámicos (Asturias y Galicia).
- Se han encontrado zonas con feldespatos de características similares a los actualmente utilizados, aunque es necesario realizar procesos de beneficio para eliminar las impurezas colorantes y aumentar el contenido en álcalis (Madrid, Ávila y Córdoba).
- Es posible fabricar soportes de cocción blanca para la fabricación de baldosas esmaltadas únicamente con materias primas de procedencia nacional, siendo más compleja su fabricación a medida que se requieren mayores grados de blancura y menor porosidad. No obstante, ello requiere modificar las variables del proceso de fabricación y utilizar aditivos para mejorar algunas propiedades.
- Estas conclusiones están basadas en las muestras analizadas. La viabilidad técnica y económica de utilización de estas materias primas requiere un estudio geológico-minero detallado de cada una de las áreas indicadas.
- Existen nuevos indicios de la presencia de arcillas y feldespatos en otras áreas geográficas que no han podido estudiarse en el marco del presente proyecto.

4.6.9 ANEXO**Curva de desfloculación**Muestra: **AZ-STD**

Desfloculante utilizado: Tripolifosfato sódico / Metasilicato sódico (1/3)

Agua utilizada: destilada

Contenido en sólidos: 70,9%

Desfloculante añadido (%)	Viscosidad 1' (cP)
0,38	525
0,43	480
0,48	460
0,54	420
0,64	470
0,73	470
0,83	513

Muestra: **AZ-1**

Desfloculante utilizado: Tripolifosfato sódico / Metasilicato sódico (1/3)

Agua utilizada: destilada

Contenido en sólidos: 69,4%

Desfloculante añadido (%)	Viscosidad 1' (cP)
0,30	6800
0,40	1900
0,60	1480
0,65	1400
0,70	1420
0,75	1440

Curva de desfloculación

Muestra: **AZ-2**

Desfloculante utilizado: Tripolifosfato sódico / Metasilicato sódico (1/3)

Agua utilizada: destilada

Contenido en sólidos: 72,5%

Desfloculante añadido (%)	Viscosidad 1' (cP)
0,53	1520
0,57	1120
0,62	875
0,67	820
0,71	750
0,80	760
0,89	820

Muestra: **GPB-STD**

Desfloculante utilizado: Tripolifosfato sódico / Metasilicato sódico (1/3)

Agua utilizada: destilada

Contenido en sólidos: 69%

Desfloculante añadido (%)	Viscosidad 1' (cP)
0,10	200
0,20	450
0,30	600

Muestra: **GPB-4**

Desfloculante utilizado: Tripolifosfato sódico / Metasilicato sódico (1/3)

Agua utilizada: destilada

Contenido en sólidos: 69%

Desfloculante añadido (%)	Viscosidad 1' (cP)
0,10	2250
0,20	330
0,30	450
0,40	600

Curva de desfloculaciónMuestra: **GPA-STD**

Desfloculante utilizado: Tripolifosfato sódico / Metasilicato sódico (1/3)

Agua utilizada: Destilada

Contenido en sólidos: 69%

Desfloculante añadido (%)	Viscosidad 1' (cP)
0,30	1280
0,40	800
0,45	940
0,50	1120

Muestra: **GPA-1**

Desfloculante utilizado: Tripolifosfato sódico / Metasilicato sódico (1/3)

Agua utilizada: destilada

Contenido en sólidos: 69%

Desfloculante añadido (%)	Viscosidad 1' (cP)
0,10	268
0,20	345
0,30	500

Diagrama de compactación**Muestra AZ-STD**

Humedad (%)	Presión (kg/cm ²)	Densidad aparente en seco (g/cm ³)
5,5	150	1,873
	250	1,947
	400	2,013

Muestra AZ-1

Humedad (%)	Presión (kg/cm ²)	Densidad aparente en seco (g/cm ³)
5,5	150	1,850
	250	1,927
	400	1,991

Muestra AZ-2

Humedad (%)	Presión (kg/cm ²)	Densidad aparente en seco (g/cm ³)
5,5	150	1,859
	250	1,936
	400	2,004

Muestra GPB-STD

Humedad (%)	Presión (kg/cm ²)	Densidad aparente en seco (g/cm ³)
5,5	200	1,874
	300	1,925
	500	1,992

Muestra GPB-1

Humedad (%)	Presión (kg/cm ²)	Densidad aparente en seco (g/cm ³)
5,5	200	1,776
	300	1,836
	500	1,911

Diagrama de compactación**Muestra GPB-2**

Humedad (%)	Presión (kg/cm ²)	Densidad aparente en seco (g/cm ³)
5,5	200	1,802
	300	1,862
	500	1,938

Muestra GPB-3

Humedad (%)	Presión (kg/cm ²)	Densidad aparente en seco (g/cm ³)
5,5	200	1,825
	300	1,884
	500	1,958

Muestra GPB-4

Humedad (%)	Presión (kg/cm ²)	Densidad aparente en seco (g/cm ³)
5,5	200	1,824
	300	1,880
	500	1,948

Muestra GPA-STD

Humedad (%)	Presión (kg/cm ²)	Densidad aparente en seco (g/cm ³)
5,5	200	1,826
5,5	300	1,884
5,5	500	1,957

Muestra GPA-1

Humedad (%)	Presión (kg/cm ²)	Densidad aparente en seco (g/cm ³)
5,5	200	1,811
	300	1,865
	500	1,936

Diagrama de compactación

Muestra M1

Humedad (%)	Presión (kg/cm ²)	Densidad aparente en seco (g/cm ³)
5,5	200	1,915
	300	1,971
	500	2,039

Muestra M2

Humedad (%)	Presión (kg/cm ²)	Densidad aparente en seco (g/cm ³)
5,5	200	1,898
	300	1,938
	500	2,005

Muestra M3

Humedad (%)	Presión (kg/cm ²)	Densidad aparente en seco (g/cm ³)
5,5	200	1,808
	300	1,874
	500	1,941

Muestra M4

Humedad (%)	Presión (kg/cm ²)	Densidad aparente en seco (g/cm ³)
5,5	200	1,859
	300	1,913
	500	1,983

Muestra M5

Humedad (%)	Presión (kg/cm ²)	Densidad aparente en seco (g/cm ³)
5,5	200	1,913
	300	1,955
	500	2,019

Diagrama de compactación

Muestra M6

Humedad (%)	Presión (kg/cm ²)	Densidad aparente en seco (g/cm ³)
5,5	200	1,879
	300	1,931
	500	1,993

Resistencia mecánica en seco

Muestra: **AZ-STD**

Humedad	5,5 %
Presión	240 kg/cm ²
Densidad aparente	1,954 g/cm ³
Resistencia a la flexión	21±1 kg/cm ²

Muestra: **AZ-1**

Humedad	5,5 %
Presión	270 kg/cm ²
Densidad aparente	1,956 g/cm ³
Resistencia a la flexión	22±1 kg/cm ²

Muestra: **AZ-2**

Humedad	5,5 %
Presión	250 kg/cm ²
Densidad aparente	1,947 g/cm ³
Resistencia a la flexión	21±1 kg/cm ²

Muestra: **GPB-STD**

Humedad	5,5 %
Presión	330 kg/cm ²
Densidad aparente	1,952 g/cm ³
Resistencia a la flexión	27±1 kg/cm ²

Muestra: **GPB-1**

Humedad	5,5 %
Presión	440 kg/cm ²
Densidad aparente	1,922 g/cm ³
Resistencia a la flexión	26±1 kg/cm ²

Resistencia mecánica en seco**Muestra: GPB-2**

Humedad	5,5 %
Presión	530 kg/cm ²
Densidad aparente	1,947 g/cm ³
Resistencia a la flexión	29±1 kg/cm ²

Muestra: GPB-3

Humedad	5,5 %
Presión	460 kg/cm ²
Densidad aparente	1,943 g/cm ³
Resistencia a la flexión	25±1 kg/cm ²

Muestra: GPB-4

Humedad	5,5 %
Presión	500 kg/cm ²
Densidad aparente	1,948 g/cm ³
Resistencia a la flexión	20±1 kg/cm ²

Muestra: GPA-STD

Humedad	5,5 %
Presión	480 kg/cm ²
Densidad aparente	1,956 g/cm ³
Resistencia a la flexión	30±1 kg/cm ²

Muestra: GPA-1

Humedad	5,5 %
Presión	550 kg/cm ²
Densidad aparente	1,951 g/cm ³
Resistencia a la flexión	18±1 kg/cm ²

Propiedades físicas de la composición cocida a varias temperaturas

Muestra: **AZ-STD**

Rechazo a 63 μm	2,0 %
Humedad	5,5 %
Presión	265 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,952 g/cm^3
Pérdida por calcinación a 1140 $^{\circ}\text{C}$	10,40 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	6 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1110	-0,6	19,7	1,729
1140	-0,4	18,9	1,744
1170	0,2	17,6	1,777

Muestra: **AZ-1**

Rechazo a 63 μm	2,2 %
Humedad	5,5 %
Presión	295 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,946 g/cm^3
Pérdida por calcinación a 1140 $^{\circ}\text{C}$	10,62 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	6 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1110	-0,7	19,5	1,724
1140	-0,4	19,2	1,736
1170	0,2	17,6	1,775

Propiedades físicas de la composición cocida a varias temperaturas

Muestra: **AZ-2**

Rechazo a 63 μm	2,1 %
Humedad	5,5 %
Presión	285 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,950 g/cm^3
Pérdida por calcinación a 1140 $^{\circ}\text{C}$	10,53 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	6 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1110	-0,6	20,0	1,721
1140	-0,4	19,1	1,739
1170	0,2	17,6	1,778

Muestra: **GPB-STD**

Rechazo a 63 μm	1,9 %
Humedad	5,5 %
Presión	350 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,948 g/cm^3
Pérdida por calcinación a 1180 $^{\circ}\text{C}$	3,64 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	6 minutos

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1140	4,5	6,1	2,203
1160	5,9	3,1	2,315
1180	7,0	0,4	2,402
1200	7,0	0,1	2,397

Propiedades físicas de la composición cocida a varias temperaturas

Muestra: **GPB-1**

Rechazo a 63 μm	1,9 %
Humedad	5,5 %
Presión	500 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,915 g/cm^3
Pérdida por calcinación a 1160°C	3,97 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	6 minutos

Temperatura (°C)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1140	5,0	5,4	2,212
1160	6,5	2,4	2,346
1180	7,4	0,1	2,412
1200	7,2	0,0	2,389

Muestra: **GPB-2**

Rechazo a 63 μm	1,6 %
Humedad	5,5 %
Presión	550 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,949 g/cm^3
Pérdida por calcinación a 1160°C	3,95 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	6 minutos

Temperatura (°C)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1140	4,4	5,9	2,201
1160	5,9	2,8	2,326
1180	6,8	0,2	2,408
1200	6,7	0,0	2,395

Propiedades físicas de la composición cocida a varias temperaturas

Muestra: **GPB-3**

Rechazo a 63 μm	1,5 %
Humedad	5,5 %
Presión	480 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,953 g/cm^3
Pérdida por calcinación a 1180°C	3,89 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	6 minutos

Temperatura (°C)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1140	3,8	7,5	2,146
1160	4,9	4,7	2,247
1180	6,4	1,5	2,369
1200	6,8	0,2	2,396

Muestra: **GPB-4**

Rechazo a 63 μm	4,0 %
Humedad	5,5 %
Presión	500 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,949 g/cm^3
Pérdida por calcinación a 1200°C	3,22 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	6 minutos

Temperatura (°C)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1160	4,4	5,4	2,216
1180	5,6	2,8	2,315
1200	6,5	0,5	2,380
1220	6,4	0,0	2,368

Propiedades físicas de la composición cocida a varias temperaturas

Muestra: **GPA-STD**

Rechazo a 63 μm	2,0 %
Humedad	5,5 %
Presión	480 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,956 g/cm^3
Pérdida por calcinación a 1170°C	4,01 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	6 minutos

Temperatura (°C)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1150	5,4	3,9	2,277
1170	6,4	1,9	2,364
1190	7,0	0,2	2,411

Muestra: **GPA-1**

Rechazo a 63 μm	4,1 %
Humedad	5,5 %
Presión	550 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,949 g/cm^3
Pérdida por calcinación a 1220°C	2,81 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	6 minutos

Temperatura (°C)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1160	2,9	8,2	2,099
1180	4,0	5,7	2,191
1200	5,1	3,5	2,273
1220	6,0	1,6	2,346
1240	6,1	0,2	2,352
1260	5,7	0,1	2,323

Propiedades físicas de la composición cocida a varias temperaturas

Muestra: **M1**

Rechazo a 63 μm	1,5 %
Humedad	5,5 %
Presión	270 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,951 g/cm^3
Pérdida por calcinación a 1170°C	3,25 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	6 minutos

Temperatura (°C)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1150	4,5	5,6	2,214
1170	5,6	2,9	2,326
1190	6,6	0,3	2,393

Muestra: **M2**

Rechazo a 63 μm	1,9 %
Humedad	5,5 %
Presión	340 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,959 g/cm^3
Pérdida por calcinación a 1130°C	3,56 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	6 minutos

Temperatura (°C)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1130	5,5	1,7	2,281
1150	5,8	0,8	2,297
1170	5,6	0,3	2,286
1190	5,2	0,2	2,251

Propiedades físicas de la composición cocida a varias temperaturas

Muestra: **M3**

Rechazo a 63 μm	1,6 %
Humedad	5,5 %
Presión	510 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,948 g/cm^3
Pérdida por calcinación a 1150°C	3,44 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	6 minutos

Temperatura (°C)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1150	6,1	2,4	2,338
1170	6,7	0,9	2,385
1190	6,9	0,2	2,399

Muestra: **M4**

Rechazo a 63 μm	2,0 %
Humedad	5,5 %
Presión	410 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,956 g/cm^3
Pérdida por calcinación a 1170°C	3,28 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	6 minutos

Temperatura (°C)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1150	5,0	4,1	2,257
1170	6,0	2,0	2,335
1190	6,6	0,3	2,395

Propiedades físicas de la composición cocida a varias temperaturas

Muestra: **M5**

Rechazo a 63 μm	1,9 %
Humedad	5,5 %
Presión	270 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,945 g/cm^3
Pérdida por calcinación a 1190°C	3,51 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	6 minutos

Temperatura (°C)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1150	4,3	5,7	2,189
1170	5,1	4,1	2,255
1190	5,9	2,6	2,325
1210	6,3	0,7	2,346

Muestra: **M6**

Rechazo a 63 μm	2,1 %
Humedad	5,5 %
Presión	350 kg/cm^2
Densidad aparente en seco	1,946 g/cm^3
Pérdida por calcinación a 1190°C	3,43 %
Tiempo de permanencia a temperatura máxima	6 minutos

Temperatura (°C)	Contracción lineal (%)	Absorción de agua (%)	Densidad aparente (g/cm^3)
1150	4,1	6,1	2,182
1170	5,0	4,2	2,247
1190	5,9	2,3	2,325
1210	6,4	0,8	2,358

Expansión por humedad

Método de permanencia en autoclave

Muestra: **AZ-STD**

Temperatura (°C)	Agua adsorbida (‰)	Expansión por humedad (‰)
1140	1,8	1,0

Muestra: **AZ-1**

Temperatura (°C)	Agua adsorbida (‰)	Expansión por humedad (‰)
1140	1,7	0,9

Muestra: **AZ-2**

Temperatura (°C)	Agua adsorbida (‰)	Expansión por humedad (‰)
1140	2,0	1,0

Coordenadas cromáticasMuestra: **AZ-STD**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1110	79,0	6,2	14,2
1140	78,4	5,4	12,9
1170	77,8	4,3	13,1

Muestra: **AZ-1**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1110	78,3	6,5	15,5
1140	77,9	5,6	13,0
1170	74,0	4,6	13,4

Muestra: **AZ-2**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1110	79,0	6,1	14,9
1140	78,3	5,5	13,8
1170	75,0	4,3	13,7

Muestra: **GPB-STD**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1140	74,1	5,3	12,4
1160	68,8	4,8	12,1
1180	62,9	3,6	10,6
1200	61,2	2,9	10,0

Muestra: **GPB-1**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1140	73,4	5,4	12,3
1160	67,4	4,8	11,2
1180	61,4	3,8	9,6
1200	60,9	3,1	9,0

L* Coordenada negro-blanco

a* Coordenada verde-rojo

b* Coordenada azul-amarillo

Determinación realizada en espectrofotómetro COLOR EYE 7000 MACBETH.

Coordenadas cromáticas

Muestra: **GPB-2**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1140	73,5	5,5	12,8
1160	67,7	4,9	11,7
1180	62,0	3,7	9,8
1200	60,3	3,0	9,1

Muestra: **GPB-3**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1140	74,5	5,0	14,3
1160	69,5	4,6	13,5
1180	62,8	3,4	11,3
1200	59,7	2,6	9,9

Muestra: **GPB-4**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1160	74,3	5,4	11,4
1180	68,9	4,9	11,1
1200	63,0	3,7	9,3
1220	61,2	2,9	9,0

Muestra: **GPA-STD**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1150	80,7	3,6	11,7
1170	76,4	3,1	11,9
1190	72,8	2,5	11,5

L* Coordenada negro-blanco

a* Coordenada verde-rojo

b* Coordenada azul-amarillo

Determinación realizada en espectrofotómetro COLOR EYE 7000 MACBETH.

Coordenadas cromáticasMuestra: **GPA-1**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1160	84,6	2,1	10,4
1180	81,7	2,1	10,7
1200	76,7	1,8	10,5
1220	73,8	1,4	10,2
1240	72,8	1,1	10,0
1260	75,6	1,5	10,3

Muestra: **M1**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1150	81,5	3,9	11,6
1170	78,5	3,4	12,3
1190	74,8	2,7	12,5

Muestra: **M2**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1130	76,3	4,4	11,8
1150	75,3	3,4	11,4
1170	74,7	2,6	11,4
1190	74,5	2,0	11,5

Muestra: **M3**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1150	77,5	4,8	12,6
1170	74,5	4,1	12,6
1190	72,5	3,2	12,6

L* Coordenada negro-blanco

a* Coordenada verde-rojo

b* Coordenada azul-amarillo

Determinación realizada en espectrofotómetro COLOR EYE 7000
MACBETH.

Coordenadas cromáticas

Muestra: **M4**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1150	80,7	4,7	11,4
1170	77,0	4,6	12,2
1190	73,3	3,7	12,0

Muestra: **M5**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1150	81,9	4,1	11,8
1170	79,5	3,5	12,2
1190	76,7	2,6	12,2
1210	74,9	2,0	11,9

Muestra: **M6**

Temperatura (°C)	L*	a*	b*
1150	83,3	3,5	11,1
1170	80,9	3,1	12,1
1190	77,8	2,4	12,5
1210	75,7	1,9	12,6

L* Coordenada negro-blanco

a* Coordenada verde-rojo

b* Coordenada azul-amarillo

Determinación realizada en espectrofotómetro COLOR EYE 7000
MACBETH.

5 Conclusiones

En el presenta proyecto se ha realizado una valoración geológica a nivel nacional, con el objetivo de localizar arcillas de cocción blanca y feldespatos susceptibles de ser utilizados en la fabricación de los soportes de las baldosas cerámicas de cocción blanca. La existencia de este tipo de materias primas en el territorio nacional permitiría reducir la actual dependencia del sector cerámico español de terceros países como Ucrania y Turquía. Los resultados obtenidos en el proyecto permiten establecer una serie de conclusiones que se han dividido en los siguientes grupos: proceso de muestreo, arcillas, feldespatos y composiciones de soporte.

Proceso de muestreo:

- Las principales formaciones geológicas susceptibles de tener yacimientos de arcillas de cocción blanca en España se sitúan en:
 1. Asturias. Asociadas a dos fases preferentes: formaciones ordovícicas con caolín del tipo “flint-clay”, donde los materiales caoliníticos han sufrido diferentes grados de transporte desde el área madre, y a depósitos terciario-cuaternarios.
 2. Galicia. Arcillas caoliníferas, con variable composición e irregularmente repartidas en cuencas terciarias neógenas, asociadas a grandes accidentes tectónicos.
 3. Cordillera Ibérica. Principalmente en los sedimentos arcillosos de la Facies Escucha (Teruel), o bien en fases genéticas intermedias, asociadas a los depósitos de caolín de las facies Weald o Utrillas (Guadalajara, Cuenca, Valencia).
 4. Extremadura. Suelen estar formadas por más del 50% de minerales arcillosos, principalmente illita (sericita) y caolinita, con destacable presencia de pirofilita en varios indicios de Zalamea y Monterrubio de la Serena y de esmectitas en Oliva de Mérida y Cristina.
 5. Numerosas provincias: Segovia, Soria, Toledo, Zaragoza, Albacete, Badajoz, Córdoba, Navarra, Salamanca y Cantabria, han tenido explotaciones en concesiones mineras solicitadas para “caolín”.
- Existen diversos tipos de rocas a partir de las cuales se pueden extraer feldespatos. En España los tipos más corrientes son las pegmatitas, aplitas y arenas cuarzo-feldespáticas.

- Las reservas y recursos españoles de feldespato se estiman en:
 - Lugo: 665.000 t (403.000 t, potásicos).
 - La Guardia-Villagarcía de Arosa (Pontevedra): 5.000 t, potásicos
 - Llansá (Girona): 1.708.000 t, potásicos
 - Vitigudino-Fermoselle (Salamanca-Zamora): 188.000 t, potásicos
 - Garcirrey-Ledesma (Salamanca): 21.000 t, potásicos
 - Diego Álvaro-Villatoro (Ávila): 12.000 t, potásicos
 - Piedralaves (Ávila): 4.000 t, potásicos
 - Fuentenebro (Burgos): 3.000 t, potásicos; bajo contenido en álcalis; difícil aplicación
 - Navas de Oro-Carrascal del Río (Segovia): 29.426.000 t, potásicos
 - Colmenar Viejo-El Vellón (Madrid): 49.000 t, potásicos
 - Toledo-Villarejo de Montalbán (Toledo): 10.000 t, sódicos y sódico-potásicos, calidad excelente
 - Fuenteovejuna-Cazalla de la Sierra (Córdoba-Sevilla): 412.000 t (300.000 t son potásicos)
 - Resto de España: 45.000 t potásicos (42.000 t son arenas cuarzo-feldespáticas)
- Durante el verano de 2006 se realizó la campaña de campo de valoración de yacimientos y muestreo de las diferentes tipologías de arcillas y feldespatos, habiéndose recogido un total de 34 muestras en 23 depósitos.

Arcillas:

- En el territorio nacional existen arcillas de cocción blanca de diferentes características. Las provincias en las cuales se tiene constancia de la existencia de estos materiales son: Teruel, Asturias, A Coruña, Zamora y Badajoz. Actualmente, las arcillas nacionales utilizadas proceden mayoritariamente de Teruel, aunque también se están utilizando, en mucha menor cuantía, arcillas procedentes de Zamora y Asturias.
- Se han tomado muestras en estas provincias y los resultados obtenidos en su caracterización permiten clasificarlas en los siguientes grupos atendiendo a las características de las arcillas utilizadas en la actualidad (nacionales e importadas):
 1. Arcillas de Teruel y Badajoz, con propiedades similares a las que actualmente se utilizan de la zona de Teruel.

2. Arcillas de Teruel de mayor blancura y menor plasticidad y fundencia respecto a las actualmente procedentes de esta zona. Son las tradicionales arcillas de Teruel pero con un mayor contenido en cuarzo o en caolinita, lo que les confiere una blancura entre la que presentan las arcillas nacionales y las de importación.
 3. Arcillas de Asturias, de blancura similar a la de las arcillas importadas pero con menor plasticidad y fundencia.
 4. Arcilla de A Coruña, con propiedades similares a las importadas, aunque con una blancura ligeramente inferior y un contenido en materia orgánica algo superior.
 5. Arcillas de Zamora, con propiedades similares a las importadas, aunque extremadamente plásticas, lo que dificulta su comportamiento en la desfloculación. Estas arcillas deben considerarse como un "aditivo".
- Ninguna de las arcillas ensayadas reúne todas las características y propiedades de las arcillas de importación, por lo que no es posible realizar una sustitución directa. Las arcillas más similares a las importadas son las de A Coruña. Con el resto de arcillas, junto con las de A Coruña, pueden realizarse mezclas que podrían resultar una alternativa a las arcillas importadas, aunque no se conseguirían soportes con unas propiedades idénticas a los actuales.
 - Las áreas que presentan una mayor probabilidad de existencia de arcillas de cocción blanca alternativas a las actuales son principalmente Asturias y A Coruña. Las arcillas de Badajoz son similares a las de Teruel, pero el aumento del coste del transporte limita su utilización en el área de Castellón.

Feldespatos:

- A diferencia de lo que ocurre con las arcillas de cocción blanca, el territorio nacional es relativamente rico en feldespatos. Las provincias en las cuales se tiene constancia de la existencia de estos materiales son: Lugo, Salamanca, Ávila, Orense, Segovia, Sevilla, Cáceres, Córdoba y Madrid. Actualmente los feldespatos nacionales utilizados proceden de Lugo, Salamanca, Sevilla y Cáceres.
- Se han tomado muestras en estas provincias y los resultados obtenidos en su caracterización permiten clasificarlas en los siguientes grupos atendiendo a su composición:
 1. Feldespatos potásicos de Segovia y Orense. No son los más interesantes para su utilización como fundentes en la fabricación de los soportes cerámicos debido a su alta refractariedad.

2. Feldespatos sódicos y mixtos, procedentes de Salamanca, Madrid, Lugo, Sevilla, Córdoba y Ávila. Es el grupo que presenta un mayor interés.
 - Ninguna de las muestras caracterizadas reúne todas las características y propiedades de los feldespatos de importación, por lo que no es posible realizar una sustitución directa. No obstante existen zonas alternativas a las actuales en las que se han encontrado feldespatos válidos para su utilización en la fabricación de soportes cerámicos, como Córdoba, Ávila y Madrid.
 - Se ha comprobado que la realización de procesos de beneficio (separación magnética y flotación) sobre las muestras de las citadas zonas, mejora notablemente las características de estos feldespatos, llegando alguno de ellos a presentar propiedades muy similares a las de los feldespatos importados. Por tanto, debe comprobarse la viabilidad técnica y económica de implantar estos procesos a escala industrial.

Composiciones de soporte

- Es posible fabricar soportes de cocción blanca para la fabricación de baldosas esmaltadas únicamente con materias primas de procedencia nacional, siendo más compleja su fabricación a medida que se requieren mayores grados de blancura y menor porosidad. No obstante, ello puede requerir la modificación de las variables del proceso de fabricación y utilizar aditivos para mejorar algunas propiedades.
- La obtención de soportes de gres porcelánico no esmaltado resulta muy compleja, debido a la dificultad de compaginar una adecuada plasticidad de la composición, comportamiento reológico y blancura en el producto final.
- Estas conclusiones están basadas en las muestras analizadas. La viabilidad técnica y económica de utilización de estas materias primas requiere un estudio geológico-minero detallado de cada una de las áreas indicadas.

6 Recomendaciones

A la vista de todo lo recogido en las páginas anteriores y, como corolario del mismo, se incluyen una serie de recomendaciones que podrían mejorar los logros alcanzados durante la investigación y rentabilizar más la misma.

- Dadas las circunstancias del proyecto y la premura de la que se ha dispuesto para realizarlo, no ha sido posible hacer un estudio del Dominio Minero nacional, algo que se considera imprescindible para poder encontrar nuevas zonas, aparte de las aquí encontradas.
- La afirmación arriba indicada se basa en un estudio parcial que se ha realizado del dominio minero, en una serie de comunidades autónomas: Castilla y León, Castilla-La Mancha, Andalucía, Aragón y Murcia. Ello ha aportado un número importante de referencias (143), preferentemente en arcillas de cocción blanca (138) y en menor cantidad en feldespatos (5), pero que necesitarían la comprobación en campo para su validación.
- La mayoría de los depósitos aquí estudiados corresponden a yacimientos propiedad de diferentes empresas mineras. Creemos que sería muy conveniente para el sector cerámico, optar al dominio minero de aquellos puntos, aquí citados, y que estén libres o en disposición de ser explotados, para no depender de empresas extractivas de otros sectores no afines al cerámico.
- Dado el conocimiento actual del proyecto se debería, de cara a una continuación de la investigación, agrupar todos los indicios existentes en el país en sus correspondientes Unidades Geológicas y conocer así sus diferentes relaciones genéticas, de cara a utilizarlo como una metodología de prospección minera.