

GEPOLYTILE: “ECO-DESARROLLO DE BALDOSAS CERÁMICAS OBTENIDAS POR GEOPOLIMERIZACIÓN”

**⁽¹⁾ G. Korç, ⁽¹⁾ A. Kara, ⁽¹⁾ F. Kara, ⁽²⁾ M. Vicent, ⁽²⁾ M. Monzó,
⁽³⁾ K. G. Süzük, ⁽³⁾ R. Telle, ⁽⁴⁾ M. Hohmann, ⁽⁴⁾ T. Seiffarth, ⁽⁴⁾ C. Kaps**

⁽¹⁾ Seramik Araştırma Merkezi, Eskisehir/Turquía

⁽²⁾ Instituto de Tecnología Cerámica (ITC). Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas (AICE). Universitat Jaume I. Castellón/España

⁽³⁾ RWTH Aachen, Institut für Gesteinshüttenkunde, Aachen/Alemania

⁽⁴⁾ Bauhaus-Universität Weimar, Professur Bauchemie, Weimar/Alemania

RESUMEN

El objetivo del proyecto propuesto en el marco del 6º CORNET consiste en desarrollar mecanismos de ahorro energético y de bajo coste para la fabricación de baldosas cerámicas utilizando la geopolimerización como nueva técnica de procesamiento de cerámica. Los geopolímeros son polímeros silicoaluminosos no cristalinos que se forman mediante la mezcla de soluciones silicato-alcálicas con materiales silicoaluminosos reactivos en condiciones de temperatura normales. Las reacciones de geopolimerización constan de una etapa de disolución y otra de policondensación. Diferentes materias primas, que incluyen la utilización del metacaolín y otras meta-arcillas, así como materias primas secundarias tales como cenizas volantes, escorias y residuos cerámicos son, en general, adecuadas para la geopolimerización.

Las propiedades de los geopolímeros difieren significativamente debido a la reactividad de las materias primas, a la composición de los activadores y a las condiciones de endurecimiento (curado). La etapa de curado ofrece la posibilidad de alcanzar importantes ahorros de energía en el proceso de fabricación cerámica; no es necesaria una etapa de cocción a alta temperatura para obtener materiales que son parecidos a los cerámicos en cuanto a su estructura y propiedades. Podrían fabricarse baldosas cerámicas resistentes al agua sin necesidad de cocción. Para ello, se estudiará la posibilidad de utilizar materias primas económicas para la fabricación y esmaltado de soportes geopoliméricos y con posibilidades de nuevos conformados para la elaboración de baldosas. El proyecto incluye el análisis de la situación de materias primas europeas susceptibles de ser activadas alcalinamente y las necesidades tecnológicas de la producción de baldosas de geopolímeros. Se prepararán prototipos de muestras de baldosas para su demostración y se efectuarán los ensayos normalizados sobre las mismas.

1. INTRODUCCIÓN

CORNET es un proyecto ERANET y sus siglas significan **COL**lective **RE**search **NET**working. Se trata de una red de intercambio de información y cooperación entre diferentes programas a nivel nacional y regional. El consorcio para este proyecto incluye tres socios de tres países diferentes que cuentan con un organismo de financiación común que participa en CORNET. Los socios participantes en el proyecto son el Centro de Investigación Cerámica (SAM) de Turquía, la Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas (ITC) de España y la Sociedad de Cerámica Alemana (DKG) de Alemania. Las entidades investigadoras son SAM, ITC, Institut für Gesteinshüttenkunde Aachen (GHI) y la Bauhaus-Universität Weimar (BUW). Los socios y entidades investigadoras, que cuentan además con un considerable conocimiento en el área de los "Geopolímeros" enviaron una propuesta de proyecto en respuesta a una convocatoria publicada en el marco del CORNET titulada: "*Eco-desarrollo de baldosas cerámicas obtenidas por geopolimerización*". El comité de selección de CORNET aprobó la financiación de la propuesta. El principal objetivo de cooperación entre las asociaciones consiste en desarrollar una tecnología de fabricación de baldosas respetuosa con el medio ambiente y en dar a conocer y difundir esta tecnología a sus miembros. Cada entidad investigadora cuenta con una experiencia específica. BUW cuenta con una larga experiencia sobre materias primas y su comportamiento en geopolimerización, GHI por su parte tiene experiencia en el diseño de geopolímeros y compuestos geopoliméricos. El ITC tiene una larga experiencia en tecnología cerámica. El SAM, por su parte, cuenta con experiencia en la fabricación de baldosas y su caracterización.

Los geopolímeros [1,2] se fabrican a partir de materias primas silicoaluminosas reactivas mediante la activación alcalina (figura 1). La activación alcalina es un procedimiento singular en el cual el material silicoaluminoso (materias primas o

subproductos industriales secundarios) se combina con ciertos activadores alcalinos; posteriormente la pasta obtenida se cura bajo condiciones específicas produciendo materiales endurecidos. En investigaciones anteriores, se determinó que el principal producto de reacción formado en estos sistemas es un gel silicoaluminoso amorfo con orden de escala corta en cuanto a su estructura tridimensional.

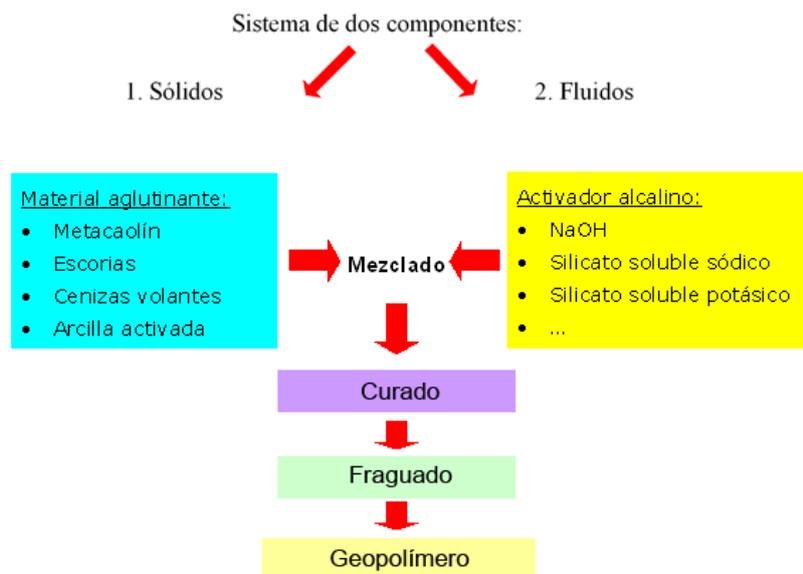


Figura 1. Etapas de producción del geopolímero [3].

Dependiendo de la selección de materias primas y de las condiciones de procesado, el material resultante puede mostrar una amplia variedad de propiedades y características, incluyendo una elevada resistencia mecánica a la compresión, una baja contracción, un fraguado (o endurecimiento) rápido o lento, resistencia a los ácidos, resistencia al fuego y una baja conductividad térmica. No obstante, dichas propiedades no son necesariamente inherentes a todos los tipos de formulaciones. Los polímeros inorgánicos alcalinos o geopolímeros no deben considerarse una respuesta universal para todos los problemas de elección de materiales, sino más bien una solución que puede ser fabricada a medida según las necesidades existentes mediante una mezcla y diseño del proceso correcto para optimizar las propiedades y/o para reducir los costes asociados a una aplicación determinada. La mayoría de bibliografía se refiere al metacaolín y cenizas volantes (sub-producto industrial de centrales térmicas que utilizan combustible tipo carbón) como materia prima [4,5]. El metacaolín disponible comercialmente es un producto altamente técnico que se obtiene mediante varias etapas de limpieza para finalmente conseguir la ausencia definitiva de color para su utilización como material de relleno en plásticos, etc. Por otro lado, el metacaolín puro es un material caro, por lo que la fabricación de materiales activados alcalinamente a partir de él no es una idea realista. Las materias primas secundarias tales como las cenizas volantes ofrecen grandes beneficios ecológicos y costes reducidos, pero su utilización trae dificul-

tades en cuanto a la disponibilidad, manejo y especialmente en relación con la calidad del producto. La búsqueda de materiales alternativos de bajo coste o alta disponibilidad puede conducir entre otras cosas [5] a la utilización de "arcillas comunes". Estos materiales cuentan con una amplia disponibilidad en todo el mundo y pueden presentar también una cierta reactividad después de ser sometidos a un proceso de activación térmica [7-9].

Los geopolímeros son compuestos adecuados para la elaboración de materiales cerámicos eficientes en cuanto al uso energético ya que se forman y endurecen a temperatura ambiente y que, sin embargo, son lo suficientemente durables y estables a altas temperaturas como para ser utilizados en aplicaciones para construcción y de aislamiento anti-incendio así como también para la inmovilización y almacenamiento de metales pesados peligrosos y materiales radioactivos. Se han dedicado importantes esfuerzos orientados a la reducción de emisiones de CO₂ de efecto invernadero con el desarrollo de cementos geopoliméricos cuya elaboración emite menos emisiones de este gas contaminante. Existe una gran cantidad de estudios publicados sobre la tecnología de geopolímeros para diferentes aplicaciones, pero no existen investigaciones recientes acerca de la utilización de la tecnología de geopolímeros para la fabricación de baldosas cerámicas o de cualquier implantación industrial con éxito.

El procesado de baldosas cerámicas basadas en geopolímeros puede eliminar las principales etapas de mayor uso de energía. Las baldosas se fabrican a una temperatura de 1100-1250°C. Como resultado de esto, no sólo se requiere una gran cantidad de energía y se emite una importante cantidad de CO₂ (alrededor de 0,2kg CO₂/kg o de 3kg CO₂/m² de producto final) durante el proceso de elaboración, sino que además el coste energético representa un porcentaje significativo del total de costes de producción; entorno al 25-30%. Los geopolímeros, sin embargo, requieren temperaturas entre 25-150°C para conseguir la resistencia deseada. El procesamiento de baldosas cerámicas basadas en geopolímeros permitiría alcanzar importantes ahorros energéticos al tiempo que reduciría las emisiones de CO₂.

Se espera que este nuevo método tenga aplicaciones inmediatas en la industria de baldosas cerámicas, donde los costes de las materias primas y del combustible continúan siendo significativos. A medida que las baldosas cerámicas se utilizan como revestimiento de suelos y paredes, para aplicaciones residenciales y comerciales, la tecnología probablemente irá siendo más atractiva para el mercado masivo. El proyecto comienza utilizando tecnologías de conformado definidas a partir del procesado tradicional de baldosas cerámicas para permitir una explotación sencilla de los resultados de I+D en la producción europea de estos productos. Se analizará la situación de las materias primas desde una perspectiva europea.

Ventajas de la nueva tecnología:

1. Ahorro de energía: Los geopolímeros endurecen bajo condiciones climáticas normales y no requieren tratamientos de calor a altas temperaturas. En

consecuencia, el potencial de ahorro de energía es considerable (las etapas de secado y cocción utilizan alrededor del 65% de la energía total necesaria para el proceso cerámico).

2. Materias primas alternativas: En general, se puede utilizar una amplia variedad de materias primas. Además de metacaolines de alta pureza, es posible utilizar diferentes meta-arcillas y productos industriales secundarios como cenizas volantes. El geopolímero funciona como una fase de aglutinado y puede diluirse hasta un 30% mediante la utilización de diferentes tipos de materiales de relleno. También se pueden utilizar otros materiales arcillosos, si bien su uso aún es más bien limitado en la elaboración de baldosas cerámicas debido a factores reológicos o de secado.
3. Reducción de emisiones de CO₂: Debido a que las baldosas cerámicas se cuecen a una temperatura de 1100-1200 °C, se producen enormes cantidades de emisiones de CO₂. Al utilizar geopolímeros, que se endurecen a temperaturas inferiores (25-150°C), es posible reducir de forma importante dicha fuente de contaminación.

2. METODOLOGÍA TÉCNICA Y CIENTÍFICA

En la medida de lo posible, se deben mantener las etapas tecnológicas existentes (excluyendo la cocción) con el consiguiente nivel de inversión, relativamente bajo. Por ejemplo, las prácticas habituales de tecnología de conformado, como el prensado de polvo han de continuar aplicándose. Esto constituye un nuevo camino tanto en lo relativo a los materiales para la industria cerámica como para los geopolímeros. El desarrollo de materiales y procedimientos es necesario para mostrar las posibilidades, límites y obstáculos que presenta esta tecnología. En último término, únicamente se necesitaría de un proceso de cocción del esmalte a baja temperatura o incluso sin necesidad alguna de cocción. El proyecto debe revelar si es que las baldosas fabricadas tendrán las propiedades requeridas mediante la aplicación de la tecnología geopolimérica.

El problema se solucionará mediante el desarrollo de materiales geopoliméricos que puedan ser conformados mediante prensado y que endurezcan sin necesidad de ser sometidos a tratamientos a alta temperatura. Son esenciales las siguientes preguntas para alcanzar un resultado exitoso:

1. ¿Qué materiales son los más adecuados para la producción de baldosas? Es necesario cumplir con los requisitos técnicos, ecológicos y económicos necesarios. El material ha de tener una amplia disponibilidad en cuanto a cantidad y calidad.
2. ¿Cómo ha de diseñarse la mezcla geopolimérica utilizando las materias primas identificadas? Dicha mezcla ha de considerar la reactividad de las materias primas (proporción de fase reactiva y cinética de reacción) así como

también las necesidades y requerimientos técnicos y tecnológicos (resistencia mecánica y trabajabilidad para cada tecnología de conformado).

3. ¿Puede adaptarse la tecnología de conformado habitual para la elaboración de baldosas geopoliméricas?
 - El primer camino que ha de investigarse es el granulado y el prensado del polvo resultante.
 - Como segunda alternativa, se considerará la extrusión de una pasta.
4. ¿Cómo puede utilizarse un material para decoración de superficies preferentemente sin aplicación de calor o con un bajo consumo energético? Existen dos posibilidades:
 - Esmaltado con fritas que funden a temperaturas muy bajas.
 - Desarrollo de una capa decorativa fabricada también a base de un geopolímero.
5. ¿Cumplen las baldosas geopoliméricas desarrolladas con los requisitos técnicos de acuerdo con las normas europeas en vigor? Para responder a esta pregunta fundamental ha de seguirse un programa completo de experimentos.

Se han elaborado los siguientes paquetes de trabajo (figura 2):

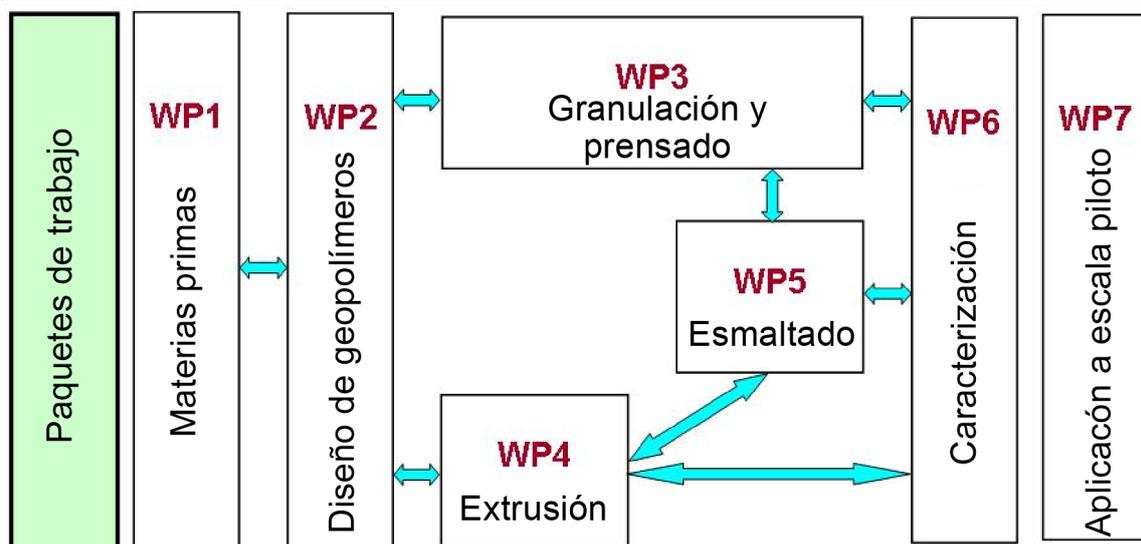


Figura 2. Correlaciones entre los paquetes de trabajo.

2.1. Paquetes de trabajo.

2.1.1. WP1: Identificación y modificación de las materias primas.

Este paquete de trabajo incluye la identificación, caracterización y modificación de las materias primas. Considerando la definición indicada anteriormente, un gran número de materias primas primarias y secundarias son adecuadas para la preparación de un geopolímero. Las propiedades de estos compuestos se ven en

gran medida influenciadas por las diferentes propiedades de las materias primas. En consecuencia, el diseño y la preparación de la mezcla requieren información fundamental acerca de las propiedades de las materias primas utilizadas.

Se considerará la utilización de diferentes materias primas (metacaolín, otras meta-arcillas, cenizas volantes, escorias, y materiales de relleno). Posteriormente se elaborará un catálogo de materiales que incluye las materias primas más prometedoras según su reactividad.

El metacaolín (y otras meta-arcillas) se prepararán mediante la deshidroxilación de caolín (o arcillas comunes, respectivamente) para obtener geopolímeros a base de metacaolín (o meta-arcilla). La calcinación de la arcilla es esencial para que el aluminato se disuelva en la fase líquida y para la consiguiente solidificación de los geopolímeros. Se analizará el efecto del tiempo de calcinación y de la temperatura de la arcilla sobre la zona superficial, el grado de deshidroxilación y la reactividad de la meta-arcilla. El proceso de calcinación consume mucha energía, de manera que será necesario desarrollar procedimientos que faciliten calcinaciones rápidas para obtener las meta-arcillas.

2.1.2. WP2: Diseño del geopolímero del sustrato y de la capa decorativa.

Dependiendo de la reactividad de la materia prima y de los requisitos tecnológicos del proceso de conformado, la mezcla geopolimérica ha de diseñarse utilizando diferentes tipos y concentraciones de activadores y utilizando diferentes materiales de relleno. Las diferentes tecnologías de conformado exigen propiedades especiales relacionadas con la trabajabilidad y que tengan una influencia directa sobre la composición del geopolímero y el procedimiento de mezclado. Por ejemplo, para un prensado en seco es necesario un material granulado que fluya. La superficie de la materia prima tiene una influencia directa sobre el contenido de humedad requerido para alcanzar la consistencia necesaria. La superficie de las materias primas adecuadas varía entre 3 y 15 m²/g. La consecuencia de esto es un contenido de humedad muy diferente y necesario para alcanzar una misma consistencia si se compara con otros métodos de conformado. Este diferente contenido de humedad ha de corresponderse con la cantidad y con la concentración del activador, que influyen en la reacción de geopolimerización. Todos los cambios en la composición del geopolímero repercutirán notablemente en la consistencia. Por lo tanto, la interdependencia de las propiedades tecnológicas, la composición del geopolímero y la reactividad de la materia prima ha de ser el punto central de la investigación en el marco de este paquete de trabajo.

2.1.3. WP3: Granulación para la obtención de un polvo que fluya y su comportamiento en el prensado.

La unión de partículas en un proceso de granulación mejorará las características de flujo y de resistencia, reduciendo la segregación, mejorando la uniformidad del contenido y eliminando el exceso de partículas finas. El primer objetivo del proceso consiste en combinar las materias primas de partida en una formulación

optimizada y obtener gránulos con un buen comportamiento de flujo y resistencia mecánica. En el proceso, la granulación del polvo mediante la utilización de un granulador se llevará a cabo mediante la incorporación de una solución alcalina (el tipo y cantidad de solución alcalina añadida se determinan en el WP2). A continuación se analizarán las principales variables para la etapa de granulación, incluyendo la dimensión de las partículas de los polvos de partida, la temperatura de la cámara de granulación y el tiempo requerido para alcanzar las propiedades requeridas. El diagrama de flujo del proceso se indica en la figura 3.

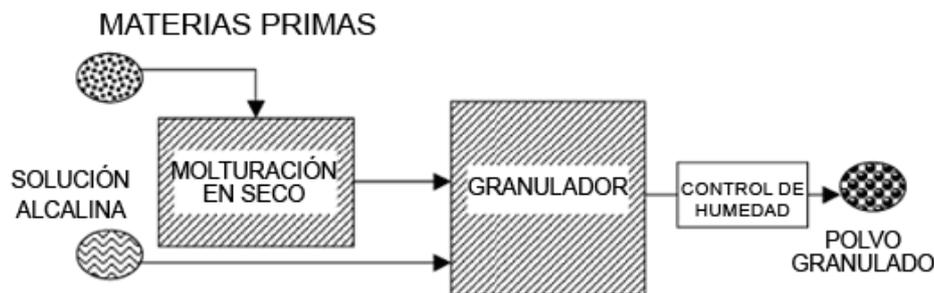


Figura 3. Proceso de granulación en seco.

Prácticamente todas las baldosas cerámicas se fabrican mediante conformado en seco, utilizando el prensado para dotar al producto de su forma deseada. Una alta densidad de prensado es esencial por razones de resistencia mecánica en crudo, para una mayor resistencia mecánica a la salida de la prensa y una menor contracción posterior. La uniformidad de la densidad es otro elemento que también se requiere para minimizar la distorsión del conformado. Una densidad de prensado reproducible y una baja contracción son necesarias para mantener una baja variación de las dimensiones después del proceso de cocción (en el caso del proceso estándar de fabricación de baldosas cerámicas), especialmente para las baldosas de mayores dimensiones. El producto prensado debe estar libre de defectos en la superficie y bordes y de laminaciones internas. El segundo objetivo de este proceso consiste en prensar en seco los polvos granulados para obtener una forma deseada y en analizar el comportamiento de prensado de esos gránulos. Se puede esperar que las características del polvo granulado seco con base de geopolímeros presenten propiedades diferentes de los polvos tradicionales. Respecto a los gránulos basados en geopolímeros, debido a la activación alcalina, se espera que endurezcan con el tiempo, lo cual significa que el comportamiento de prensado cambiará. En esta tarea, los gránulos se almacenarán en un depósito cerrado con un tiempo de residencia, para ser posteriormente prensados. Se controlará la fluidez y el comportamiento de prensado. Posteriormente se analizará el tiempo de residencia máximo antes del prensado para diseñar un programa de aplicaciones industriales adecuado.

2.1.4. WP4: Extrusión de la mezcla de geopolímeros.

Una pasta adecuada para la extrusión exige de una formulación muy precisa. La pasta se preparará utilizando las materias primas analizadas en los anteriores paquetes de trabajo. Las partículas incorporadas a un proceso de extrusión tienen un tamaño, distribución de tamaño, forma, forma de cristales, estructura interna y propiedades mecánicas que se determinarán en procesos anteriores. En la extrusión tradicional, los aditivos se añaden al polvo, de lo contrario el conformado requiere presiones muy elevadas. El líquido, que se mezcla con el polvo, sirve para lubricar, separar las partículas y facilitar tanto el movimiento relativo de partículas como el movimiento sobre la pared del canal de la extrusora u otras superficies en la trayectoria del flujo.

Las propiedades químicas del líquido añadido a la fase sólida pueden resultar relevantes, lo cual es particularmente cierto si el producto final es la mezcla extrudida sin secar. En el caso de los procesos de extrusión de geopolímeros, el líquido es importante debido a la disolución alcalina, cuya solución se utiliza como agente activador en la reacción. Aditivos de procesamiento: En algunos casos, es necesario utilizar aditivos como lubricantes y en otros como plastificantes. La geometría dará origen a una distribución espacial de la distancia entre las partículas y la pared. Se utiliza un lubricante para mejorar el proceso de extrusión (los aluminosilicatos amorfos no tienen un buen comportamiento en extrusión). Esto explica por qué debe añadirse una cierta cantidad de aditivo para mejorar las propiedades de plasticidad de la pasta.

Los experimentos realizados a escala de laboratorio deberían definir cuantitativamente la pasta, los requisitos del proceso, las condiciones de extrusión, la calidad del producto extrudido y el rango admisible de los mismos. Esta etapa tiene importantes beneficios ya que clarifica una etapa importante del proceso y permite que el comprador potencial pueda comunicarse con los fabricantes. Con la formulación óptima de la pasta, la utilización de un coeficiente líquido/sólido adecuado y algunos aditivos al proceso, se conformarán muestras de geopolímeros con la ayuda de equipos de extrusión de laboratorio.

2.1.5. WP5: Esmaltado.

Los esmaltes se utilizan en una amplia variedad de productos cerámicos. Si bien la capa de esmalte tiene un grosor despreciable en comparación con la del soporte, su verdadero propósito consiste en ennoblecer el producto mejorando su densidad, dureza, brillo, color, etc. La enorme variedad de usos de los productos les somete a importantes exigencias con respecto a su aspecto exterior y a la calidad superficial del esmalte, es decir su color y propiedades (mecánicas, ópticas, eléctricas, etc.). En consecuencia, puede resultar bastante difícil el diseñar en un producto concreto, un esmalte de la calidad y utilidad deseadas. Para elaborar dicho esmalte, deben cumplirse y respetarse una serie de exigencias tecnológicas y económicas. Se podría decir que la fabricación de los esmaltes modernos constituye una combinación de ciencia y arte, artesanía y tecnología.

El objetivo de esta tarea consiste en desarrollar un engobe y un esmalte que puedan utilizarse haciendo uso de "técnicas tradicionales". Para ser coherentes con los objetivos del proyecto, el engobe y el esmalte deben cocerse a la menor temperatura posible.

Para desarrollar la composición del engobe y del esmalte es absolutamente necesario conocer las propiedades del soporte, en particular aquellas relacionadas con su comportamiento en función de la temperatura. Han de determinarse las principales propiedades tales como la expansión térmica del soporte, del esmalte y del engobe. Para evitar el problema del cuarteo, los coeficientes de expansión del engobe y del esmalte deberían ser, en términos generales, similares o ligeramente inferiores de aquellos para el soporte. Para efectuar el ajuste dilatométrico, se hacen coincidir las curvas de expansión térmica del esmalte, soporte y engobe en la temperatura definida como temperatura de acoplamiento.

La capa de engobe ha de ser opaca, para ocultar el color del soporte y ha de tener una absorción de agua cercana a cero a la máxima temperatura de cocción y expansión térmica, es decir correcta para evitar posibles problemas de cuarteo. Se desarrollará un compuesto de engobe y esmalte considerando las propiedades requeridas para estas capas y el ciclo de cocción. Ambos compuestos han de tener un comportamiento fundente muy alto para evitar utilizar altas temperaturas de cocción. Como consecuencia, será más factible conseguir un esmalte con un acabado mate (fases cristalinas dentro de una matriz vítrea) que con un acabado brillante (matriz vítrea, principalmente). El principal problema con esta subtarea será el encontrar materias primas, con una baja solubilidad en agua (requerido cuando se elabora una suspensión de esmalte), y con un comportamiento fundente adecuado.

2.1.6. WP6: Caracterización de las baldosas según las normas europeas

Se analizarán los requisitos dimensionales y de calidad de las superficies y se estudiarán sus propiedades físicas y químicas. Los ensayos estándar se efectuarán sobre los productos finales en dos laboratorios diferentes (ITC y SAM), para fines de comparación. Dichos experimentos se llevarán a cabo observando la normativa indicada en la norma EN ISO 10545 y se evaluarán según lo indicado en la normativa EN ISO 14411.

3. IMPACTO ECONÓMICO DEL PROYECTO

Tradicionalmente, el elevado coste de las baldosas cerámicas de calidad ha hecho que sea difícil para esta industria competir con otras alternativas de recubrimientos de suelo. Los nuevos métodos de procesado de baldosas basadas en la utilización de geopolímeros tendrán un importante potencial para reducir los costes energéticos relacionados con el método convencional de fabricación de baldosas cerámicas. En consecuencia, este nuevo método o proceso debería permitir

a la industria de baldosas competir de forma eficaz con los demás materiales de recubrimiento.

De acuerdo con las cifras recientes, el coste de los combustibles fósiles en la fabricación de baldosas se encuentra en torno a 1€ /m², mientras que la producción a nivel europeo supera los 1,5 mil millones de m² (la mitad de la cual corresponde a azulejos). En consecuencia, las ventajas potenciales son muy importantes. Una producción más respetuosa con el medio ambiente y que conlleve menores costes de energía colocará a la industria de baldosas en una posición más competitiva respecto a otros materiales de recubrimiento.

Además, el proceso de fabricación de baldosas genera dióxido de carbono (CO₂), el cual es un gas de efecto invernadero. El gas se produce en dos etapas diferentes:

- La combustión de gas natural en las etapas de cocción y secado.
- La descomposición de carbonatos en las materias primas durante la etapa de cocción.

Las emisiones de dióxido de carbono están reguladas por el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea. Algunas industrias de fabricación de cerámicas están sujetas a estas normas, y se han comprometido con la reducción de sus emisiones de CO₂. Cualquier disminución en el consumo energético permitirá alcanzar reducciones en las emisiones de CO₂ y en los costes de fabricación.

La seguridad laboral en la industria de baldosas se mantendrá gracias a la mayor competitividad.

En la actualidad, el ahorro energético y el calentamiento global son los problemas más importantes a nivel mundial. Este proyecto aporta un punto de vista totalmente nuevo a la producción de cerámica para reducir de forma considerable las necesidades energéticas y las emisiones de CO₂. Una menor utilización de los combustibles fósiles en la fabricación de baldosas reducirá las emisiones de CO₂ gracias a la eliminación del proceso de cocción de las mismas, con lo que el medio ambiente estará más protegido contra el impacto de la actividad de esta industria. Además, tiene un impacto directo sobre la calidad de vida al proteger el medio ambiente. Las menores temperaturas de cocción crearán un mejor entorno laboral para los trabajadores.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] DAVIDOVITS, J. Solid phase synthesis of a mineral blockpolymer by low temperature polycondensation of aluminosilicate polymers. En: International Symposium on Macromolecules. Estocolmo: IUPAC, 1976.

- [2] GLUKHOVSKY, V.D. The soil silicates. Kiev: Gosstroy, 1959. [Tesis doctoral]. (En ruso).
- [3] WEIL, M.; GASAFI, E.; BUCHWALD, A.; DOMBROWSKI, K. Sustainable design of geopolymers – integration of economic and environmental aspects in the early stages of material development. 11th Annual Sustainable Development Research Conference, Helsinki/Finlandia (2005).
- [4] PALOMO, A.; GRUTZECK, M.W.; BLANCO, M.T. Alkali-activated fly ashes: A cement for the future. *Cem. concr. res.*, 29, 1323-1329, 1999.
- [5] FERNÁNDEZ JIMÉNEZ, A.; MONZÓ, M.; VICENT, M.; BARBA, A.; PALOMO, A. Alkaline activation of metakaolin-fly ash mixtures: Obtain of zeoceramics and zeocements. *Microporous Mesoporous Mat.*, 108, 41-49, 2008.
- [6] DAVIDOVITS, J.; BUZZI, L.; ROCHER, P.; GIMENO, D.; MARINI, C.; TOCCO, S. Geopolymeric cement based on low cost geologic materials, results from the European Research Project GEOCISTEM. En: DAVIDOVITS, J.; DAVIDOVITS, R.; JAMES, C. (Eds.) *Geopolymers'99: second international conference: proceedings*. Saint-Quentin: Institut Géopolymère, 1999., pp. 83-96.
- [7] HE, C.; OSBAECK, B.; MAKOVICKY, E. Pozzolanic reactions of six principal clay minerals: Activation, reactivity assessments and technological effects. *Cem. Concr. Res.* 25 (8), 1691-1702, 1995.
- [8] KAPS, C.; BUCHWALD, A. Property controlling influences on the generation of geopolymeric binders based on clay. En: *Geopolymers 2002: turning potential into profit*. [s.l.]: [s.n.], 2002.
- [9] MACKENZIE, K.J.D.; BREW, D.R.M.; FLETCHER, R.A.; NICHOLSON, C.L.; VAGANA, R.; SCHMÜCKER, M. Towards an understanding of synthesis mechanisms of geopolymer materials. En: *Proceeding of the 4th International conference on Geopolymers*. St. Quentin: Institut Géopolymère, 2005. pp. 41-44.