

1 Antecedentes

La fabricación de baldosas cerámicas en la UE genera residuos en diferentes etapas del proceso de producción. En la Figura 1 se muestran los residuos generados y un esquema del proceso con los puntos en los que se genera cada residuo (los residuos de fritas y los lodos de pulido se generan en las plantas de fabricación de fritas y de pulido respectivamente).

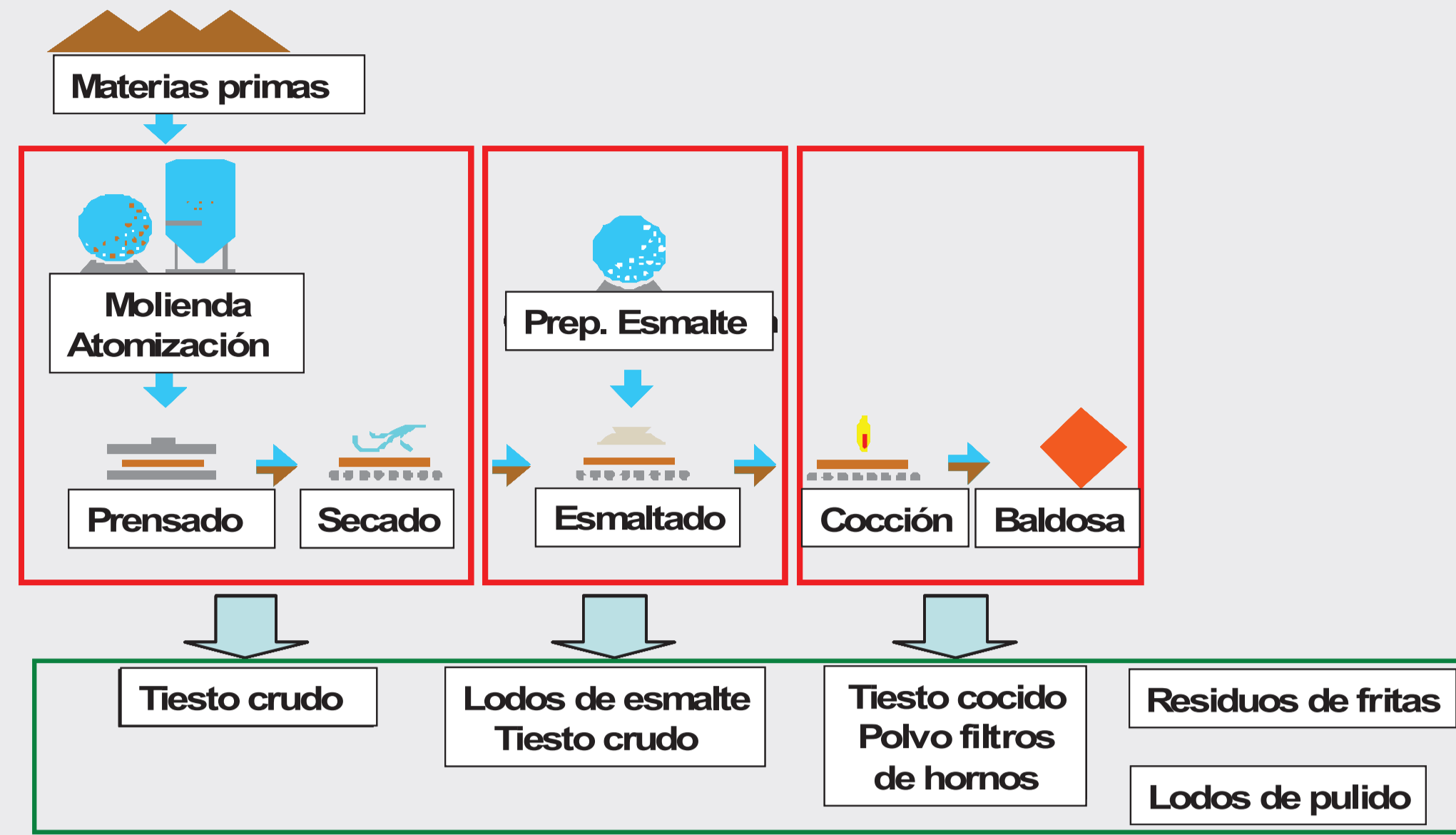


Figura 1. Esquema del proceso de fabricación de baldosas y puntos en los que se generan los residuos.

En la Figura 2 se muestra una estimación de los porcentajes de cada tipo de residuo respecto al total de residuos generados. Puede observarse que más del 80 % corresponde a los tiestos crudos y cocidos. Aproximadamente un 65% del total de residuos se recicla en el propio proceso como material prima, separando los residuos por tipología, homogeneizándolos e introduciéndolos en pequeños porcentajes (<5%) como materias primas en las composiciones de soporte y esmalte. El 35% restante (500 000 ton/año) se deposita en vertederos o se utiliza como relleno en productos de bajo valor añadido.

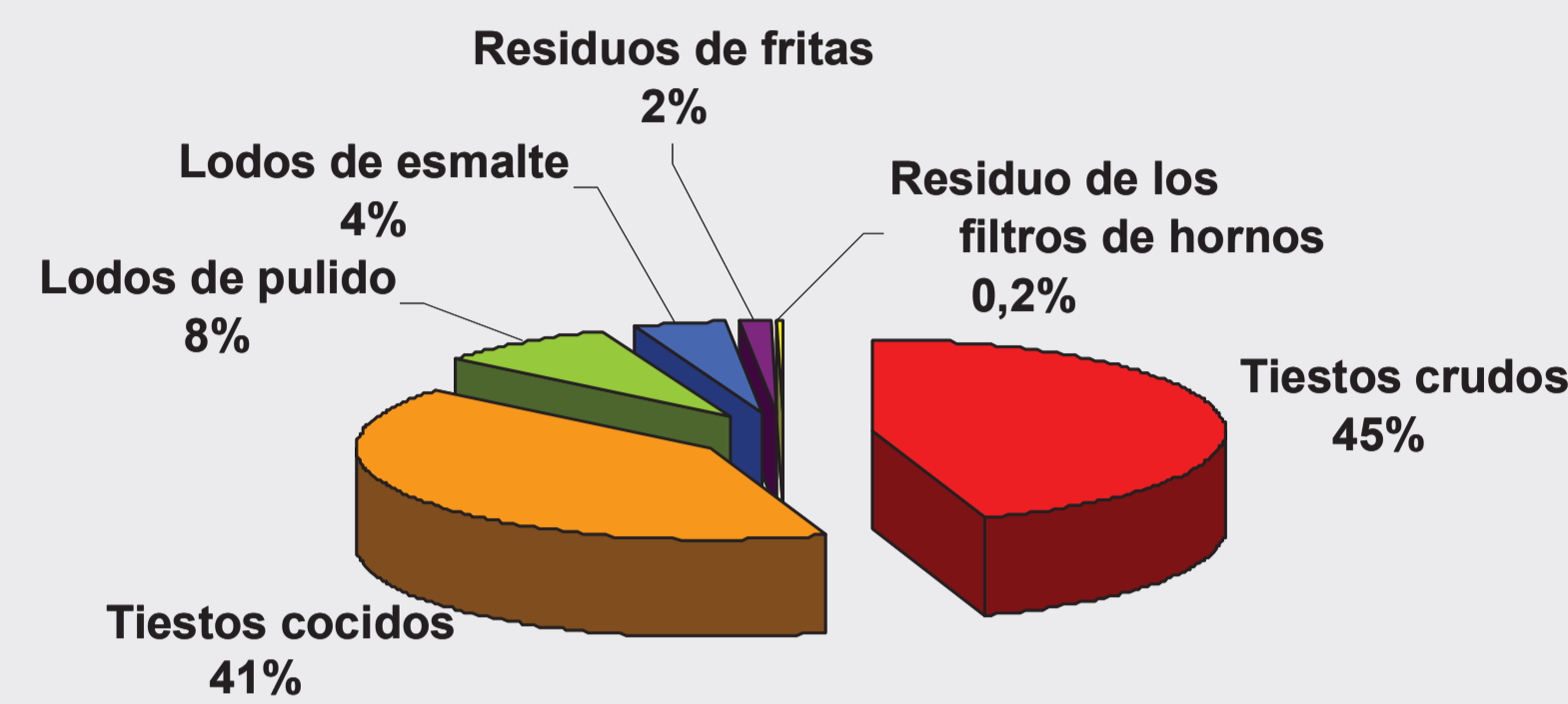


Figura 2. Residuos generados en los procesos de fabricación de baldosas y esmaltes cerámicos.

3 Principales resultados obtenidos en el proyecto

Una de las tareas iniciales del proyecto, ha sido realizar un estudio de benchmarking sobre los residuos generados en el proceso cerámico. La información obtenida permite concluir que actualmente ya existe un elevado porcentaje de valorización de los residuos propios del proceso productivo: tan sólo el 9% de los residuos de proceso no peligrosos generados por fabricantes de baldosas cerámicas, tienen como destino final la eliminación en vertedero. Por tanto, **a priori parece posible alcanzar la situación de residuo cero en el sector cerámico, con el desarrollo de la baldosa para pavimentación urbana a partir de los residuos que actualmente no se valorizan.**

En base a la información recabada, se puede hacer una estimación para cuantificar de forma absoluta la cantidad de residuos generados que no se valorizan. Tomando como punto de partida el dato de la producción española más reciente, que corresponde con 420 millones de metros cuadrados en 2013 y el dato de generación específica (2,128 kg/m²) obtenido de las respuestas al cuestionario de las empresas, se puede estimar una generación anual de 80.500 t/anales de residuos que no se valorizan, y por tanto son susceptibles de ser utilizados en la producción de la baldosa para pavimentación urbana.

Otra de las tareas iniciales ha consistido en la realización de un estudio comparativo de las principales características técnicas de los diferentes productos habitualmente utilizados en pavimentación urbana. Se han considerado productos como las baldosas de piedra natural, terrazo, hormigón y gres porcelánico. Cada uno de estos productos posee una normativa propia. Se han estudiado los diferentes procedimientos de ensayo de cada una de las normativas, y se han seleccionado los que proporcionan una información más próxima al comportamiento real de las baldosas durante su utilización como pavimento urbano. Teniendo en cuenta los requisitos que debe cumplir este nuevo producto, y los resultados del estudio comparativo, los principales "valores objetivo" se resumen en esta tabla:

Características técnicas	Pavimento urbano
Carga de rotura. EN ISO 10545-4 (N)	> 4500
Resistencia mecánica. EN ISO 10545-4 (N/mm ²)	> 35
Resistencia a la abrasión. EN ISO 10545-6 (mm ³)	< 175
Resistencia al impacto. Cahier CSTB 3735 Anexo 6	Resiste
Resistencia al deslizamiento. ENV 12633. USRV	> 45
Resistencia hielo/deshielo. EN ISO 10545-12	Resiste
Absorción de agua total. EN 13748-2 (%)	< 3

En la siguiente acción del proyecto se han caracterizado los residuos cerámicos que se generan en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas (incluyendo los generados en las empresas auxiliares: atomizadores, fabricantes de fritas y esmaltes y empresas de pulido y rectificado). Todos estos residuos se han caracterizado desde un punto de vista físico-químico y de aplicación cerámica, a fin de comprobar si pueden ser o no viables a la hora de utilizarlos tanto en el soporte como en el esmalte del nuevo producto. De los ensayos realizados se desprende que únicamente los tiestos crudos presentan un buen comportamiento en la etapa de conformado (densidad aparente >1,89 g/cm³, resistencia mecánica en seco >20 kg/cm²). Por tanto, deben estar en proporción elevada en las composiciones de soporte que se formulan para asegurar una adecuada procesabilidad en crudo.

En lo que respecta al comportamiento en la cocción (Figura 3), los lodos de pulido y los fangos de esmalte, proporcionan una elevada fundencia, mientras que los tiestos cocidos son los materiales más refractarios. Por ello, los lodos de pulido y fangos de esmalte, se utilizarán para ajustar la temperatura de cocción del soporte del pavimento urbano.



Figura 3. Probetas cocidas de los diferentes residuos.

2 Solución propuesta

La gran cantidad de residuos cerámicos depositados en vertederos es el origen del proyecto LIFE CERAM, en el cual se pretende conseguir la **situación de residuo cero en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas.**

Para ello se plantean dos objetivos principales:

- El desarrollo de un nuevo tipo de baldosa cerámica para su uso en exteriores (pavimentación urbana) que incorpore en el soporte y esmalte un contenido muy elevado de residuos (>80%). Esta aplicación, en la que se requieren acabados mates y con textura, proporcionará al sector cerámico la oportunidad de introducirse en este nuevo mercado con una baldosa compuesta mayoritariamente por residuos.
- El diseño de un proceso de preparación de la composición del soporte que sea altamente sostenible, basado en las tecnologías de mollienda en seco y granulación. Este proceso debe ser lo suficientemente robusto como para poder reciclar todos los residuos cerámicos.

De este modo, además de demostrar la viabilidad de alcanzar la situación de residuo cero en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas, con la fabricación de la nueva baldosa se espera conseguir:

- Un 20% de reducción en el vertido de residuos cerámicos.
- Un 65% de ahorro en el consumo de agua.
- Un 30% de ahorro de energía.
- Un 30 % de ahorro en emisiones de CO₂.

Este proyecto, cuyo presupuesto asciende a 799,502 €, ha sido financiado en un 50% (398,324 €) por la Comisión Europea a través del programa LIFE+ Environment Policy and Governance (proyecto LIFE CERAM con referencia LIFE12 ENV/ES/000230).

La duración del proyecto LIFE CERAM es de 3,5 años, estando prevista su finalización en junio de 2016.

Los residuos generados en la fabricación de fritas y esmaltes se han empleado en la formulación del engobe y del esmalte para el pavimento urbano. Para ello, se han mezclado dos de las tres tipologías principales (lodos de esmalte y polvo de fritas) para reducir su variabilidad y se ha preparado una frita con esta mezcla y con diferentes materias primas, a fin de ajustar su composición química y expansión térmica. La otra tipología de residuos, los sólidos cerámicos, se ha separado en función del tipo de frita que contienen (transparente, opaca y mate) y se han utilizado directamente en el engobe y en el esmalte del pavimento urbano.

Una vez caracterizados los residuos, en las siguientes acciones del proyecto se han seleccionado las tecnologías de preparación de la composición del soporte (mollienda en seco y granulación) y se han diseñado las composiciones a emplear a escala industrial para el soporte, engobe y esmalte de la baldosa para pavimentación urbana. A partir del estudio de mollienda en seco con diferentes tipos de molinos, se ha elegido el molino de martillos con un tamiz de salida de 300 µm para los residuos blandos y con un tamiz de salida de 1 mm para los residuos duros. En lo que respecta a la etapa de preparación del gránulo, se han estudiado dos tipos de sistemas de mezclado y granulación, sistemas de alta y baja intensidad. Se ha seleccionado la granuladora de elevada intensidad por proporcionar granulometrías más estrechas y centradas en la fracción 300-500 µm, que es la que se pretende maximizar por su semejanza con el tamaño de gránulo habitual de los polvos atomizados empleados en el prensaado de las baldosas cerámicas.



Figura 4. Granulador de alta intensidad.

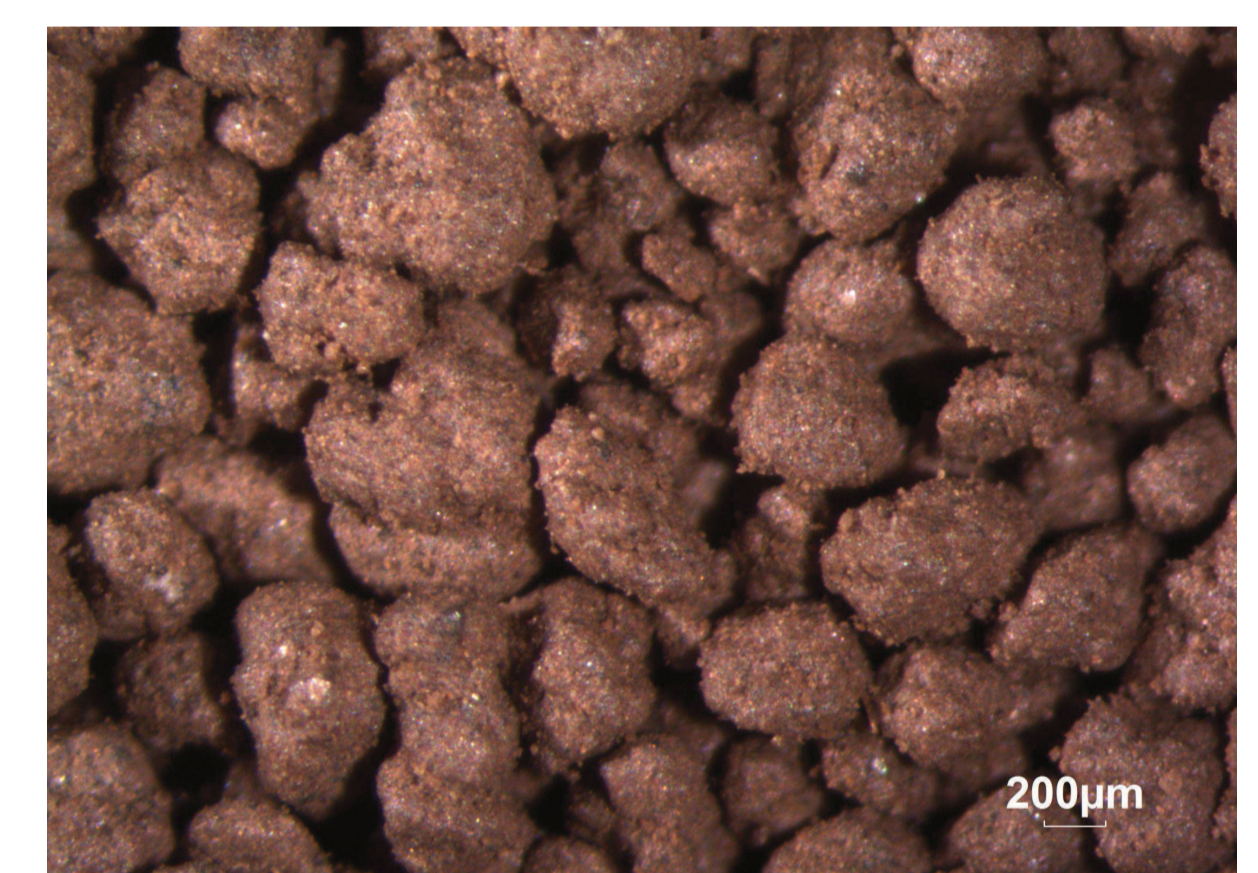


Figura 5. Granulado obtenido en el sistema de alta intensidad.

En el estudio de formulación de la composición del soporte, se ha obtenido una mezcla compuesta al 100% por los residuos cerámicos (tiestos crudos y cocidos, lodos de esmalte y de pulido y polvo de filtros de hornos), en proporciones relativas similares a los volúmenes generados a escala industrial:

Tiestos crudos	45,0
Tiestos cocidos	44,7
Lodos de esmalte	7,5
Lodos de pulido	2,5
Residuo de los filtros de los hornos	0,3

La caracterización de la composición permite concluir que presenta un comportamiento adecuado en las diferentes etapas del proceso productivo y las propiedades requeridas para su empleo como pavimento urbano. Además se ha comprobado que es un producto respetuoso con el medioambiente a pesar de estar compuesto por residuos ya que, por un lado, se han determinado las emisiones de compuestos ácidos y son similares a las de las composiciones de soportes actuales. Por otro lado, se han realizado ensayos de lixiviado y las concentraciones de iones son menores que las requeridas para clasificar un residuo como inerte.

En la última acción del proyecto desarrollada hasta la fecha, se ha realizado una prueba industrial para la obtención de la baldosa para pavimentación urbana con las diferentes composiciones de soporte, engobe y esmalte formuladas y con el proceso de preparación de la composición del soporte seleccionado. Los resultados han sido satisfactorios en lo que respecta al comportamiento en el proceso. En la figura y tabla siguientes se muestra una imagen de la baldosa y los principales resultados obtenidos en su caracterización.



Figura 6. Baldosa obtenida en la prueba industrial.

Absorción de agua (%)	2,7
Densidad aparente (g/cm ³)	2,32
Resistencia al deslizamiento. ENV 12633. USRV	54
Carga de rotura. EN ISO 10545-4 (N)	6060 ¹
Resistencia mecánica. EN ISO 10545-4 (N/mm ²)	38

⁽¹⁾ Espesor = 15 mm