

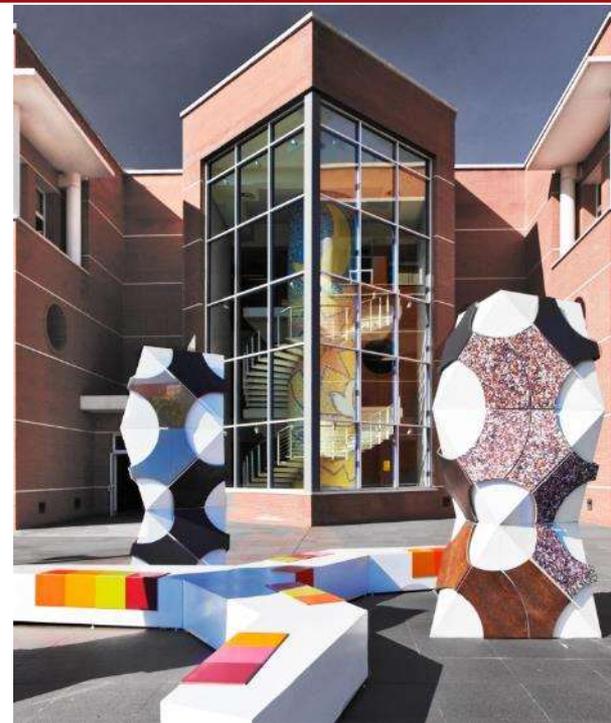
IVACE CerOh! Strategies

Financiado por: **IVACE**

Entidad participante: **ITC-AICE**

Referencia: **IMDEEA/2019/5. IMDEEA -Programa de I+D en colaboración con empresas**

Anualidad: **2019**



Este proyecto ha sido cofinanciado al 50% por el Programa Operativo FEDER de la Comunitat Valenciana, 2014-2020

OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS

ELEMENTOS INNOVADORES

Objetivo principal

El proyecto ***CerOh! Strategies*** pretende estudiar estrategias basadas en los principios de economía circular para adaptar la industria de fabricación de baldosas cerámicas al escenario hipocarbónico planteado para el año 2050.

Objetivos específicos

Optimización del proceso productivo actual. Para reducir las emisiones del proceso productivo actual se pretende continuar trabajando en formulaciones que permitan reducir el consumo energético de la etapa de cocción mediante composiciones basadas en materias primas y residuos fundentes, reducción de carbonatos y, por otro lado, aumento del contenido en sólidos para reducir el consumo energético en el proceso de secado por atomización. Por otro lado, se va a continuar trabajando en la reducción del espesor del soporte ya que permitirá reducir las emisiones asociadas al proceso de preparación de la composición, al de secado y al de cocción (por metro cuadrado producido).

Nuevos procesos y productos. Para lograr una reducción más drástica de las emisiones de CO₂, se estudiarán nuevos procesos productivos y nuevos productos. Así, se continuarán desarrollando esmaltes sin fritas ya que el proceso de obtención de fritas presenta unas altas emisiones de CO₂. En este sentido se han desarrollado esmaltes de alta temperatura sin fritas con diferentes efectos (mate, satinado, opaco, transparentes) y en este segundo año se intentará desarrollar esmaltes de menor temperatura. También se continuará con el estudio de procesos alternativos al de molienda y secado por atomización (nuevos sistemas de granulación). Además, este año se va a empezar por un lado el estudio de los sistemas de decoración “full digital” como alternativa a los sistemas de esmaltado actuales (ya que reducen el consumo de esmaltes y, por tanto, el de fritas) y por otro lado se intentará obtener baldosas “sin cocción”, desarrollando esmaltes para productos activados alcalinamente y para productos silicocalcáreos.

Objetivos específicos

Transición energética. Se va a realizar un análisis de la situación actual del sector en materia de consumos energéticos, así como de las tecnologías de optimización energética que se han ido implementando estos últimos años, para reducir el consumo energético en el proceso productivo. Una vez establecida esta línea base, será posible realizar una prospectiva hacia una transición energética que comprenderá nuevos equipos productivos no basados en fuentes de energía fósil, así como la incorporación de energías renovables al proceso de fabricación. Esta línea de trabajo se inició en 2018, y en 2019 se va a profundizar tanto en la parte de consumos y tecnologías como en la parte económica, donde se analizarán en profundidad los costes energéticos asociados a cada uno de los escenarios futuros que se contemplen en el trabajo. Dentro de los escenarios futuros se contemplará también la posibilidad de implementar tecnologías de captura de CO₂.

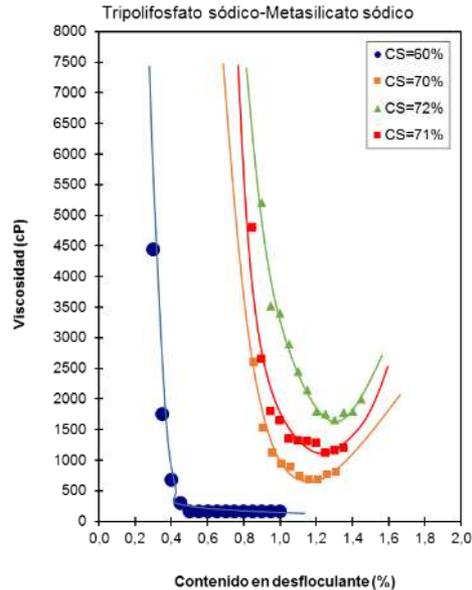
Tanto para las alternativas como para los procesos optimizados se realizará un estudio de prospección de los impactos ambientales mediante el **Análisis de Ciclo de Vida** y se realizarán **cálculos de costes** (en la medida que sea posible).

PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS

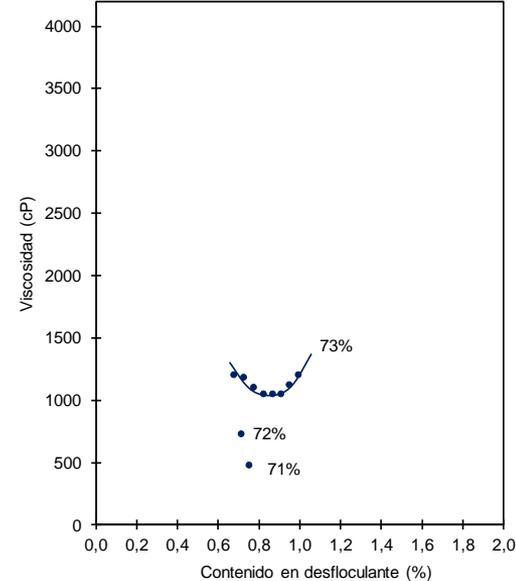
PT2. Optimización de los procesos actuales.

Tarea 2.1. Proceso de preparación de la composición del soporte

Influencia del tipo de arcilla



Cambio de arcilla



PT2. Optimización de los procesos

actuales.

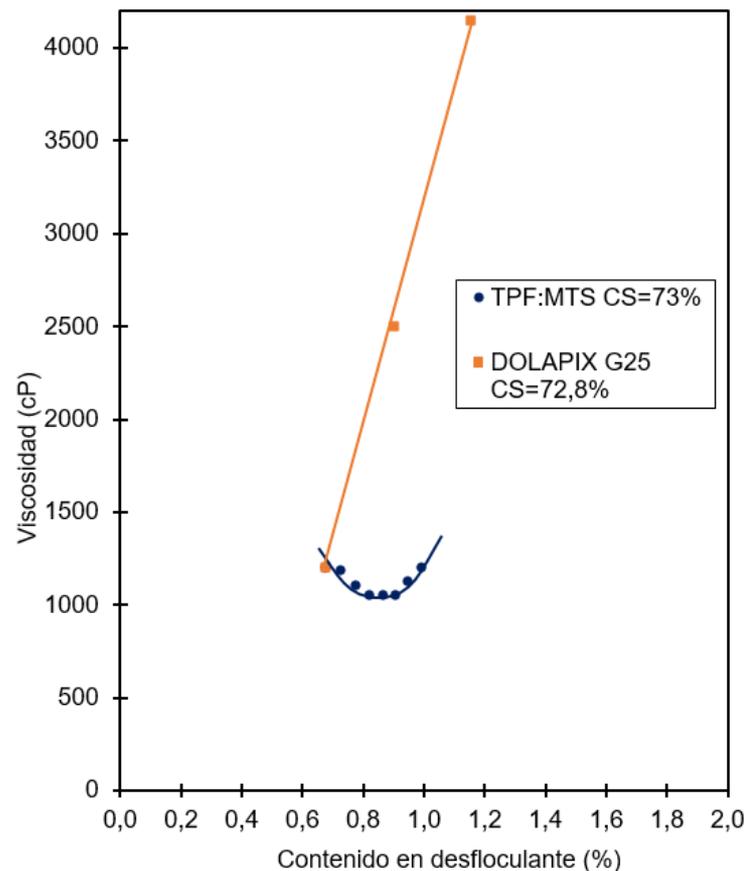
Tarea 2.1. Proceso de preparación de la

composición del soporte

Mezclas de desfloculantes

0,5% TPF+MTS

Resto desfloculante energético



PT2. Optimización de los procesos

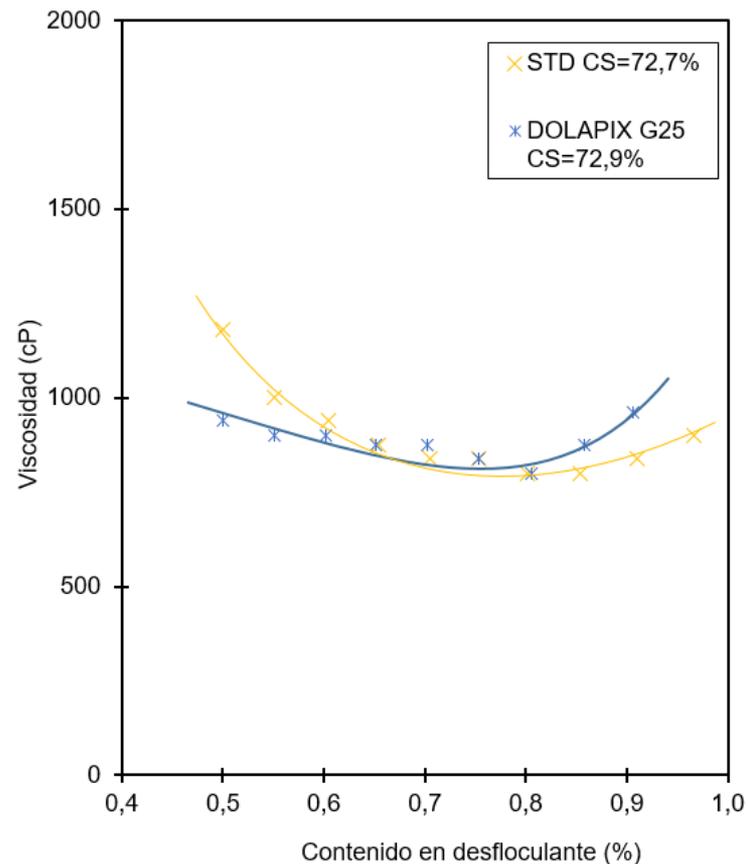
actuales.

Tarea 2.1. Proceso de preparación de la composición del soporte

Mezclas de desfloculantes

0,1% desfloculante energético

Resto TPF+MTS



PT2. Optimización de los procesos

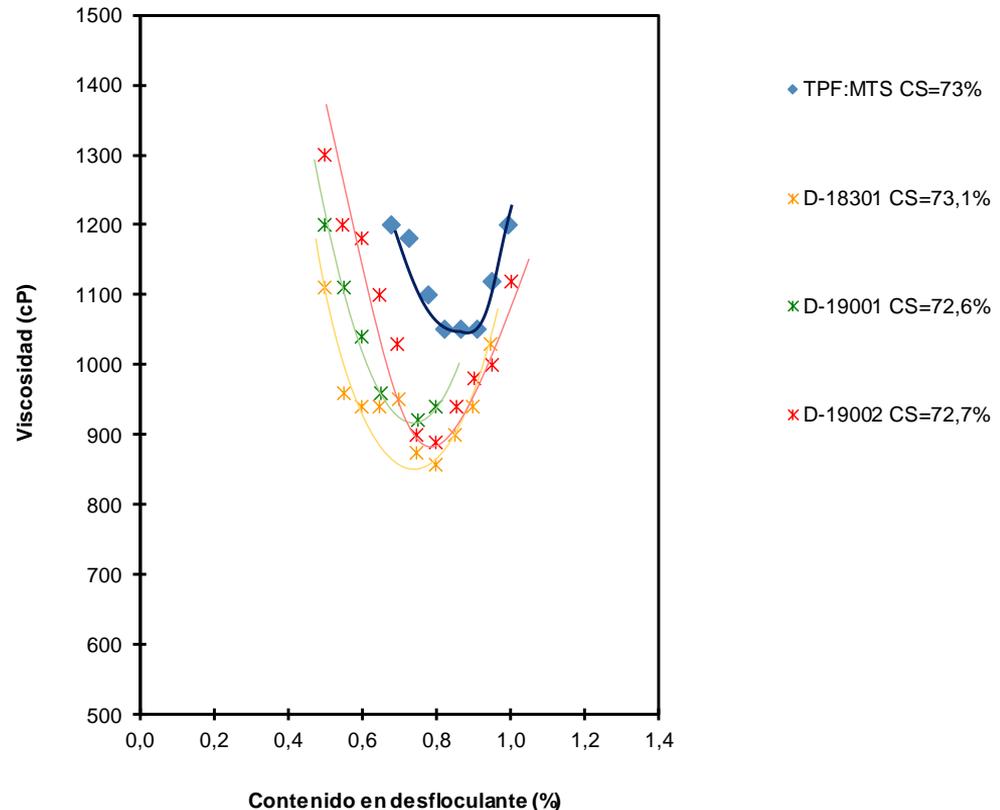
actuales.

Tarea 2.1. Proceso de preparación de la composición del soporte

Mezclas de desfloculantes

0,1% desfloculante energético

Resto TPF+MTS



PT2. Optimización de los procesos

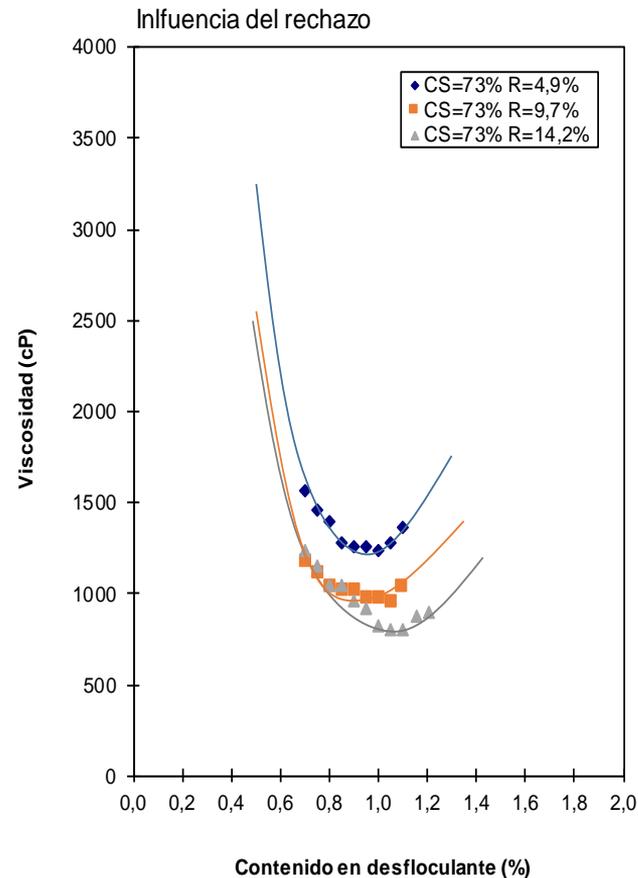
actuales.

Tarea 2.1. Proceso de preparación de la

composición del soporte

Influencia del tamaño de
partícula de la arcilla

Desfloculante: TPF+MTS



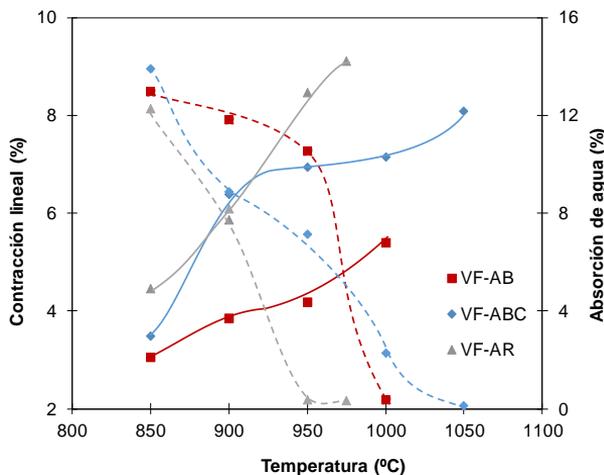
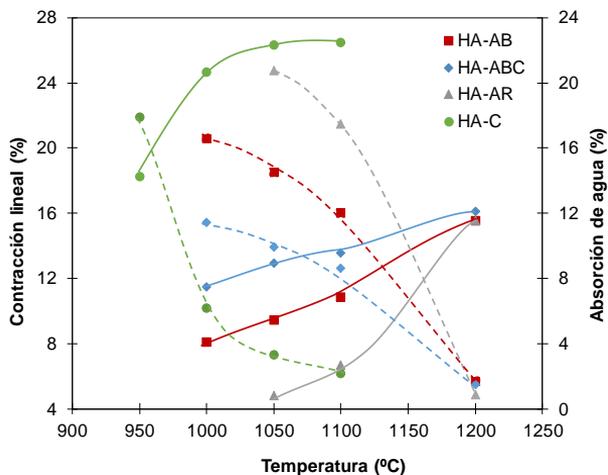
PT2. Optimización de los procesos actuales. Tarea 2.2. Cocción de las baldosas cerámicas

- Composiciones de baja temperatura de cocción
 - Composiciones basadas en hidroxiapatita y vidrio de lámparas fluorescentes

Composición	HA-AB	HA-ABC	HA-AR	HA-C	VF-AB	VF-ABC	VF-AR
Arcilla blanca nacional	50	25	-	-	50	25	-
Caolín	-	25	-	50	-	25	-
Arcilla roja nacional	-	-	50	-	-	-	50
Hidroxiapatita	50	50	50	50	-	-	-
Vidrio lámpara fluorescente	-	-	-	-	50	50	50

PT2. Optimización de los procesos actuales. Tarea 2.2. Cocción de las baldosas cerámicas

- Composiciones de baja temperatura de cocción
 - Composiciones basadas en hidroxiapatita y vidrio de lámparas fluorescentes



Composición	VF-AB
Temperatura (°C)	999
Absorción de agua (%)	0,5
Contracción lineal (%)	5,4
Pérdida por calcinación (%)	4,0
Densidad aparente (g/cm³)	2,08
Índice de piroplasticidad (cm ⁻¹ ·10 ⁵)	4,2
Reducción emisiones (%)	25

PT2. Optimización de los procesos actuales: Tarea 2.3. Composiciones de azulejo sin carbonatos

- Formulación composiciones: Empleo de wollastonita y talco de bajo coste

Materias Primas	STD	W05V	Wlow05V	Wlow05V+	Tlow05V
Arcilla nacional	40	40	40	40	40
Arcilla importación	10	10	10	10	10
Caolín	10	10	10	10	10
Arena	25	25,0	25,0	22,0	21,0
Carbonato cálcico	15	-	-	-	-
Wollastonita	-	10,0	-	-	-
Wollastonita bajo coste	-	-	10,0	13,0	-
Talco bajo coste	-	-	-	-	14,00
Vidrio reciclado	-	5,0	5,0	5,0	5,0

PT2. Optimización de los procesos actuales: Tarea 2.3. Composiciones de azulejo sin carbonatos

- **Coste de producción:** Empleo de wollastonita y talco de bajo coste

	STD	W05V	Wlow05V	Wlow05V+	Tlow05V
Coste de materias primas (€/m ²)	0,66	1,29	1,03	1,13	1,11
Coste energético proceso cocción (€/m ²)	0,35	0,28	0,28	0,28	0,28
Coste de derechos de emisión (€/m ²)	0,08	0,04	0,04	0,04	0,04
Coste conjunto (€/m ²)	1,10	1,62	1,36	1,45	1,43
Sobrecoste conjunto (%)	-	47,3	23,5	32,4	29,9

PT2. Optimización de los procesos actuales: Tarea 2.3. Composiciones de azulejo sin carbonatos

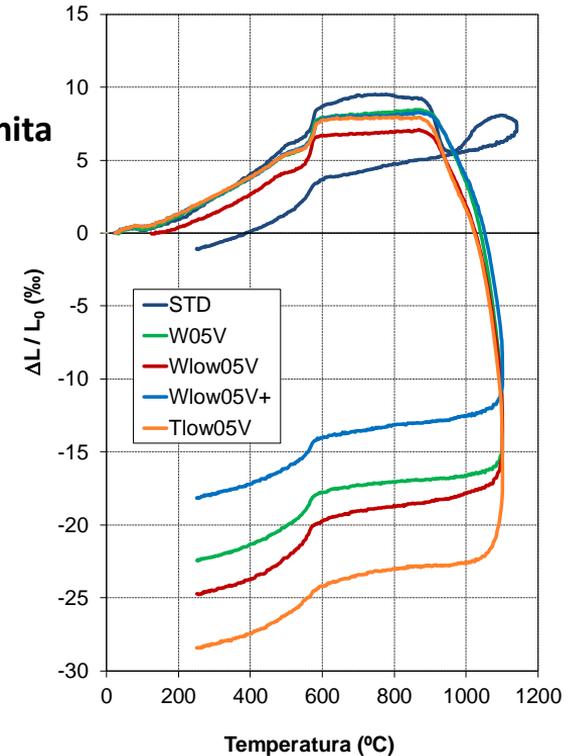
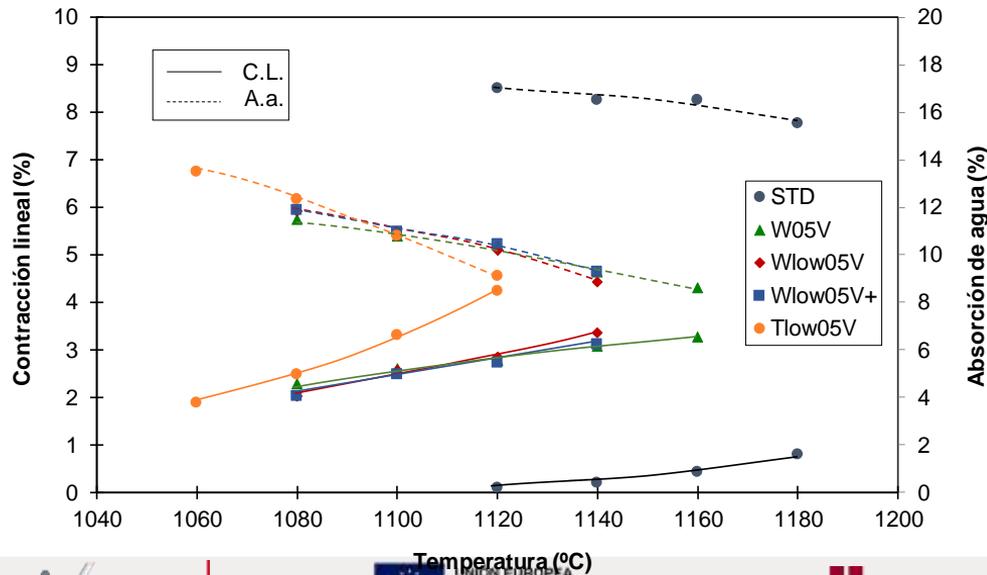
- **Conformado y propiedades en cocido:** Empleo de wollastonita y talco de bajo coste

	STD	W05V	Wlow05V	Wlow05V+	Tlow05V
Humedad (%)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Presión (kg/cm ²)	230	260	290	290	260
Densidad aparente en seco (g/cm ³)	1,949	1,937	1,943	1,942	1,942
Temperatura (°C)	1140	1100	1100	1100	1080
Contracción lineal (%)	0,2	2,6	2,6	2,5	2,5
Absorción de agua (%)	16,5	10,8	10,8	11,0	12,3
Expansión por humedad (‰)	0,76	0,79	0,92	0,80	2,02
Δ C.L. (40 °C)	0,3	0,5	0,8	0,7	1,4

PT2. Optimización de los procesos actuales: Tarea 2.3. Composiciones de azulejo sin

carbonatos

- **Conformado y propiedades en cocido: Empleo de wollastonita y talco de bajo coste**



Estrategias de economía circular para una industria cerámica hipocarbónica

PT2. Optimización de los procesos actuales: Tarea 2.3. Composiciones de azulejo sin carbonatos

Elección de la composición: Wlow05V+

Materias Primas	STD	Wlow05V+
Arcilla nacional	40	40
Arcilla importación	10	10
Caolín	10	10
Arena	25	22,0
Carbonato cálcico	15	-
Wollastonita bajo coste	-	13,0
Vidrio reciclado	-	5,0

	STD	Wlow05V+
Coste de materias primas (€/m ²)	0,66	1,13
Coste energético proceso cocción (€/m ²)	0,35	0,28
Coste de derechos de emisión (€/m ²)	0,08	0,04
Coste conjunto (€/m ²)	1,10	1,45
Sobrecoste conjunto (%)	-	32,4

	STD	Wlow05V+
Emisión CO ₂ del CaCO ₃ (kg CO ₂ /m ² cocido)	1,37	0,08
Emisión de CO ₂ del gas natural (kg CO ₂ /m ² cocido)	2,55	2,04
Emisión CO ₂ total (kg CO ₂ /m ² cocido)	3,92	2,12
Δ Emisión CO ₂ total (%)	-	-45,9

Estrategias de economía circular para una industria cerámica hipocarbónica

PT2. Optimización de los procesos actuales: Tarea 2.3. Composiciones de azulejo sin carbonatos

Elección de la composición: **Wlow05V+**

Materias Primas	STD	Wlow05V+
Arcilla nacional	40	40
Arcilla importación	10	10
Caolín	10	10
Arena	25	22,0
Carbonato cálcico	15	-
Wollastonita bajo coste	-	13,0
Vidrio reciclado	-	5,0

	STD	Wlow05V+
Humedad (%)	5,5	5,5
Presión (kg/cm ²)	230	290
Densidad aparente en seco (g/cm ³)	1,949	1,942
Temperatura (°C)	1140	1100
Contracción lineal (%)	0,2	2,5
Absorción de agua (%)	16,5	11,0
Expansión por humedad (‰)	0,76	0,80
Δ C.L. (40 °C)	0,3	0,7
Densidad aparente (g/cm ³)	1,762	2,025
Resistencia mecánica (Mpa)	24	28

PT3. Transición energética.

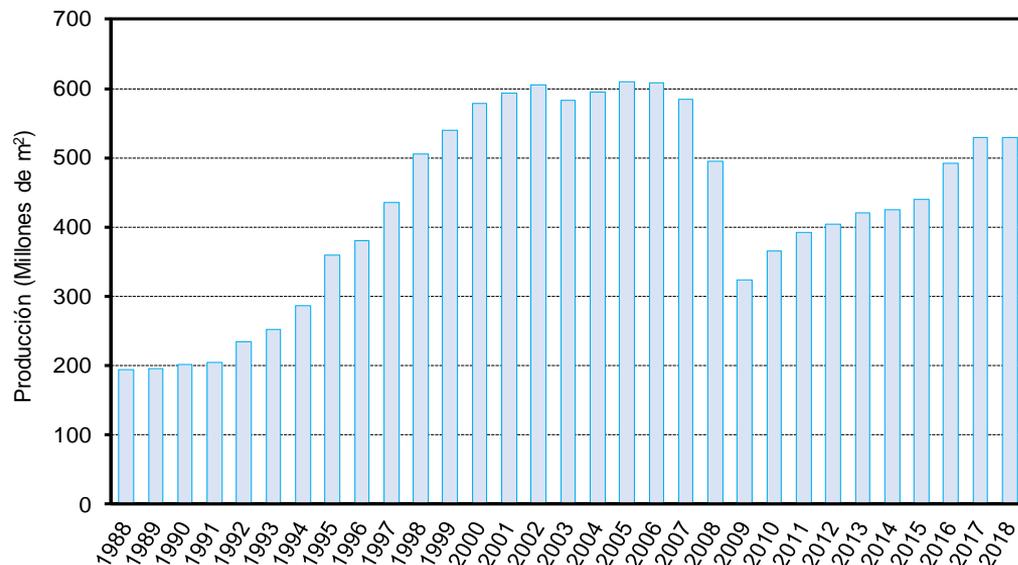
Tarea 3.1. Diagnóstico de la situación actual

Características		Resultados
Concentración geográfica en la provincia de Castellón		83% de las empresas
Número de empresas sector cerámico español	Baldosas cerámicas	138
	Producto no terminado (granulo atomizado y bizcocho)	15
Número de trabajadores	Directos	15400
Producción nacional baldosas cerámicas año 2018		530 MM m ²

Fuente: ASCER

PT3. Transición energética.

Tarea 3.1. Diagnóstico de la situación actual

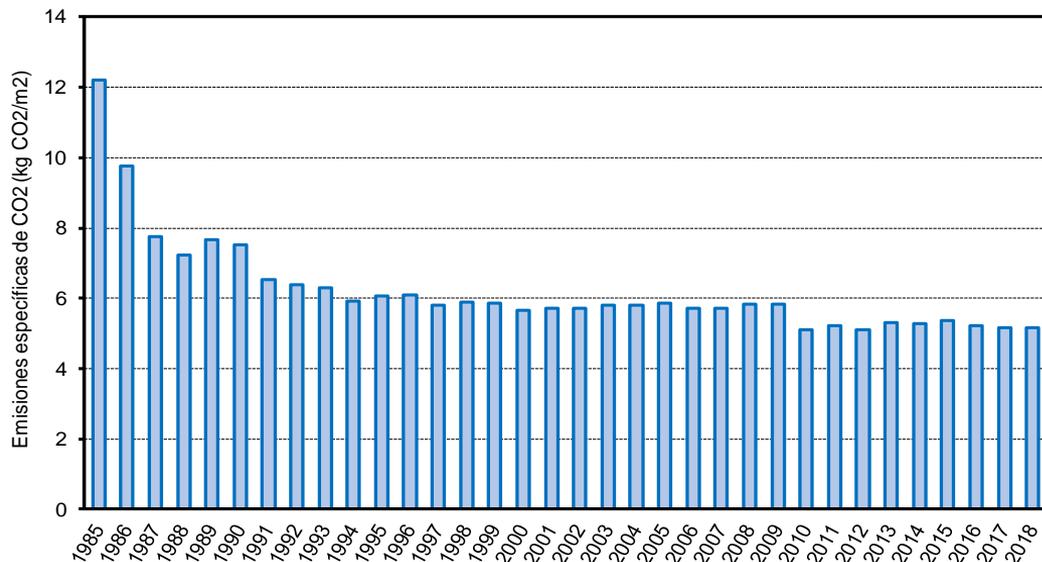


Fuente: ASCER

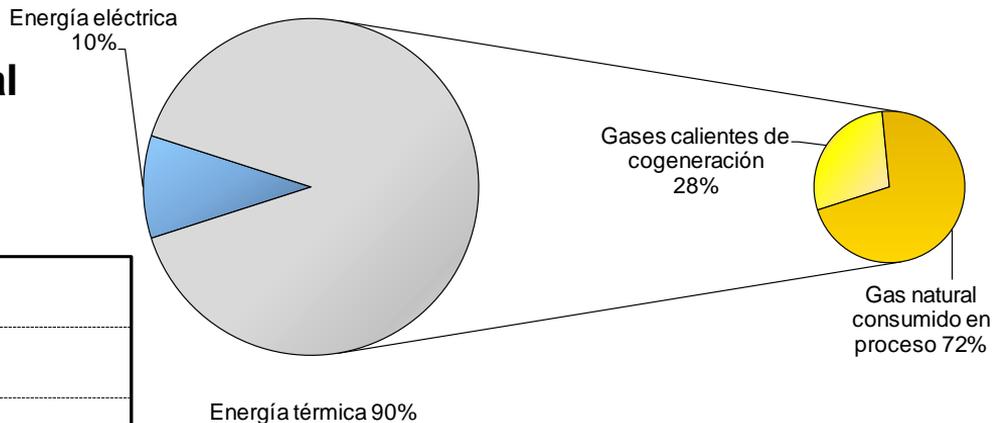
En el **2018**, el **consumo total de *gas natural*** en el sector, considerando tanto el que se consume en el proceso de fabricación como el utilizado en los sistemas de cogeneración, ascendió a **13.192 GWh/año (PCS)**, según los datos publicados por ASCER en diciembre de 2019, tras la realización de una **encuesta sectorial**, en la que se incluyen datos de **113 empresas**.

PT3. Transición energética.

Tarea 3.1. Diagnóstico de la situación actual



Fuente: ASCER



En la década **2008-2018**, se obtiene que el consumo específico de **energía eléctrica** (kWh/m²) se ha **reducido** ligeramente, un **2,5 %**, el consumo específico de **gas natural** (kWh/m²) ha **disminuido** un **11,2 %**, y las emisiones específicas de **CO₂** (kg CO₂/m²) se han **reducido** en un **11,3 %**.

PT3. Transición energética.

Tarea 3.2. Análisis de nuevas tecnologías a implementar

Estudio de cocción en horno eléctrico

Parámetro	Referencia o valor
Material	Porosa roja
Formato	20x20
Producción	0,068 kg cocido/s
	20,1 m ² /h
Masa pieza cocida	0,490 kg/pieza
Duración del ciclo	50 minutos
Temperatura máxima de cocción	1135 °C
Consumo específico del horno eléctrico	736 kWh/t
	9 kWh/m ²

Estrategias de economía circular para una industria cerámica hipocarbónica

Tarea 3.2. Análisis de nuevas tecnologías a implementar

Estudio de cocción en horno eléctrico

Parámetros	Horno de gas	Horno eléctrico
Temperatura máxima	1135 °C	1135 °C
Consumo eléctrico	0,128 GWh/año	2,189 GWh/año
Coste eléctrico	16.656 €/año	366.434 €/año
Consumo de gas	2,819 GWh/año	0
Coste de gas	84.562 €/año	0
Costes energéticos	101.218 €/año	366.434 €/año
Emisiones CO ₂	569 t/año	0
Costes emisiones CO ₂	13.756 €/año	0
Costes totales	114.974 €/año	366.434 €/año

Tarifas
actuales

Parámetros	Horno de gas	Horno eléctrico
Temperatura máxima	1135 °C	1135 °C
Consumo eléctrico	0,128 GWh/año	2,189 GWh/año
Coste eléctrico	8.328 €/año	183.217 €/año
Consumo de gas	2,189 GWh/año	0
Coste de gas	105.702 €/año	0
Costes energéticos	114.030 €/año	177.840 €/año
Emisiones CO ₂	569 t/año	0
Costes emisiones CO ₂	17.195 €/año	0
Costes totales	131.226 €/año	177.840 €/año

Nuevo
escenario

Estrategias de economía circular para una industria cerámica hipocarbónica

Tarea 3.2. Análisis de nuevas tecnologías a implementar

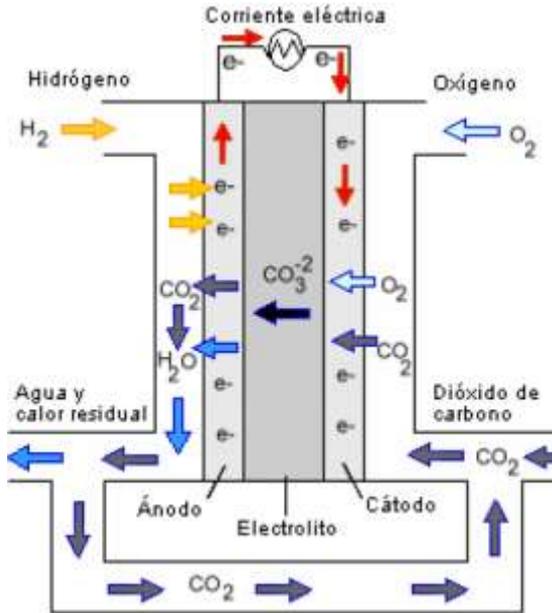
Captura de CO₂

Ventajas:

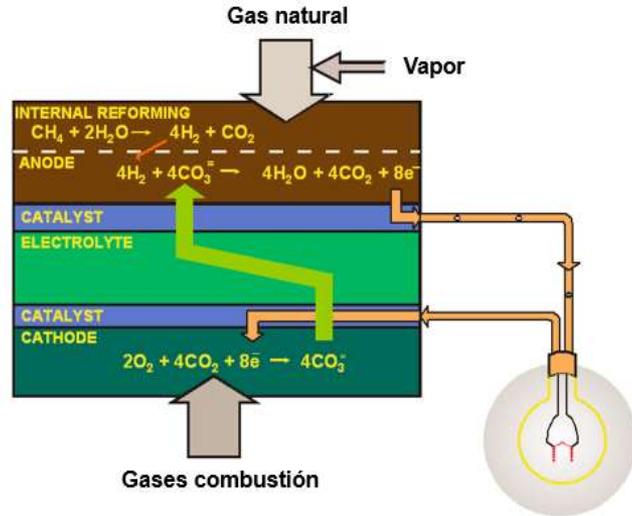
- No sería necesario modificar el sistema de producción cerámica actual
- Captura el CO₂ con elevada eficiencia
- Genera energía eléctrica.
- Produce agua limpia como subproducto de la reacción electroquímica
- Destruye el 70% de los NO_x presentes en los gases de combustión

Inconvenientes:

- Tecnología muy novedosa
- Coste muy elevado
- Actualmente no es rentable su aplicación para el sector cerámico



Esquema de funcionamiento de una pila de combustible de carbonatos fundidos



Esquema de funcionamiento de la pila de combustible de carbonatos fundidos de FuelCell Energy

Tarea 3.2. Análisis de nuevas tecnologías a implementar

Estudio de oxicombustión

Ventajas:

- Permite incrementar la eficiencia del proceso de combustión y de transferencia de calor
- Aumenta la concentración de CO_2 en los gases de generados durante la cocción, lo que puede facilitar la aplicación de sistemas de captura de CO_2

Construcción cámara de oxicombustión:

- Cámara rectangular cúbica, de medidas exteriores aproximadas de 2,5 x 1 x 1 m
- En la siguiente anualidad se realizarán ensayos para estudiar el impacto del empleo de oxígeno en la combustión de gas natural, con el objetivo de analizar la composición de la atmósfera de la cámara de combustión y las características de los gases de combustión generados, así como cuantificar el ahorro en consumo de gas y en reducción de emisiones de CO_2 que es posible alcanzar.

PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.1. Proceso de preparación de la composición del soporte



Materias primas



Molienda vía húmeda
y atomización



Molienda vía seca
y granulación

Muestra	Atomizado	Granulado
Consumo de agua (m ³ /Mg)	0,47-0,59	0,12-0,16
Consumo de energía eléctrica (kWh/Mg)	50-54	31-35
Consumo de energía térmica (kWh/Mg)	442-462	88-108
Emissiones directas de CO ₂ (kg/Mg)	80-84	16-20 (-78%)



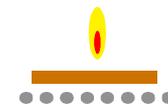
Prensado



Secado



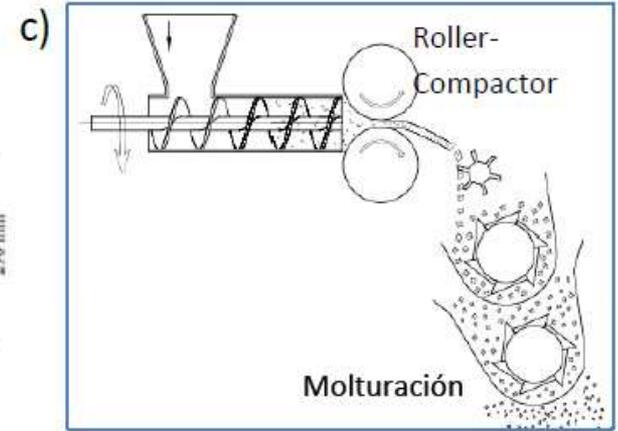
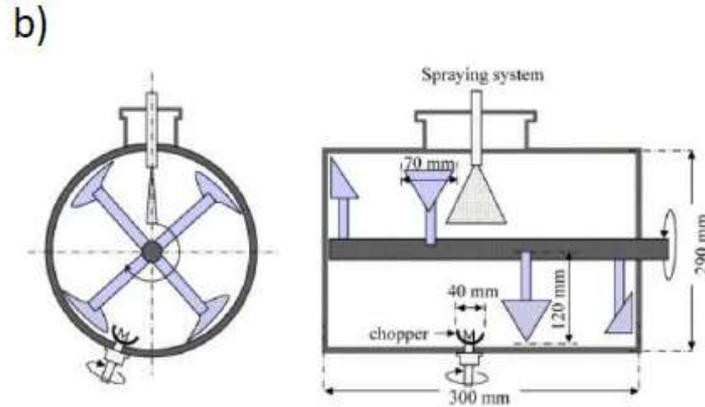
Esmaltado



Cocción

PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.1. Proceso de preparación de la composición del soporte



PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.1. Proceso de preparación de la composición del soporte

Distribución de tamaño de gránulo (%)	Atomizado STD Vía húmeda	Polvo vía seca	Granuladora alta cizalla vertical	Granuladora baja cizalla horizontal	Roller compactor (25Hz, 2H)
Fracción < 125 µm	4-5	58,8	3,7	1,2	9,9
Fracción 125 - 200 µm	10-12	13,7	8,4	2,4	5,1
Fracción 200 - 300 µm	20-21	7,5	19,1	6,8	3,
Fracción 300 - 500 µm	50-53	11,9	36,0	22,3	7,7
Fracción 500 - 710 µm	9-10	4,4	19,9	26,6	14,0
Fracción > 710 µm	3-4	3,7	12,8	40,8	59,4
Aumento fracción fina (%)	-	53	-	-	5
Aumento fracción gruesa (%)	-	-	9	37	55

PT4. Nuevos procesos y productos.

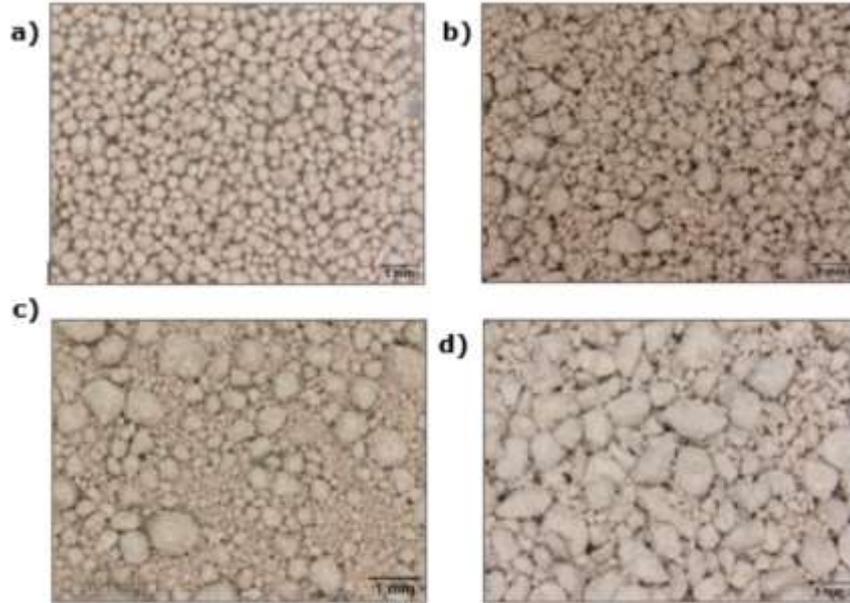
Tarea 4.1. Proceso de preparación de la composición del soporte

Granuladora	Atomizado STD Vía húmeda	Polvo vía seca	Granuladora alta cizalla vertical	Granuladora baja cizalla horizontal	Roller compactor (25Hz, 2H)
Agua inicial (%)	30	7	13	13	11
Humedad del granulado	6	7	11	12	10
Índice de HAUSNER	1,21	1,55	1,25	1,31	1,33*
Velocidad de flujo másica (g/s)	36	No fluye	35	34	21,8*

**obtenida tras el tamizado a 1 mm del material*

PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.1. Proceso de preparación de la composición del soporte



- a) material atomizado
- b) material obtenido en granuladora vertical de alta cizalla
- c) material obtenido en granuladora horizontal de baja cizalla
- d) material obtenido con la tecnología roller compactor

T 4.1. Proceso de preparación de la composición del soporte

Conclusiones:

- El proceso de granulación necesita una cantidad de agua del 10-13% para lograr la aglomeración de las partículas, por lo que se requiere de un proceso posterior de posterior al proceso de granulación para ajustar la humedad de los gránulos a la humedad necesaria para el prensado (6-7%). Este hecho reduce los ahorros energéticos esperados al tener que incluir una etapa de secado. Aun así el ahorro energético y de consumo de agua sigue siendo significativo (50-70%).
- Se ha observado que con las tres técnicas de granulación se obtiene una distribución de tamaño de gránulos bimodal, no centrada en la fracción 300-500 μm . Esto puede generar problemas (debido a la cantidad de finos y gruesos) sino se realiza un tamizado y posterior reciclado de los rechazos obtenidos.
- Del estudio comparativo realizado puede concluirse, que la tecnología con la que se obtiene una distribución granulométrica y fluidez más parecida a la del producto actual es la técnica de granulación a alta cizalla. Además, esta tecnología es la que presenta menores rechazos de fracción fina y gruesa a reciclar en el proceso.

Plan de trabajo futuro:

- Estudio a mayor escala de los resultados obtenidos a escala de laboratorio en planta piloto. Medidas de consumos reales.

PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.2 Alternativas a los procesos actuales. Secado mediante IR + Convección

Objetivo:

Estudio del secado de piezas cerámicas mediante convección de aire caliente, radiación infrarroja y la combinación de ambos métodos. Para ello, se plantea la construcción de un secadero a escala de laboratorio en el que poder combinar dichas técnicas y secar piezas cerámicas, de características similares a las industriales, conformadas en laboratorio.

Material utilizado:

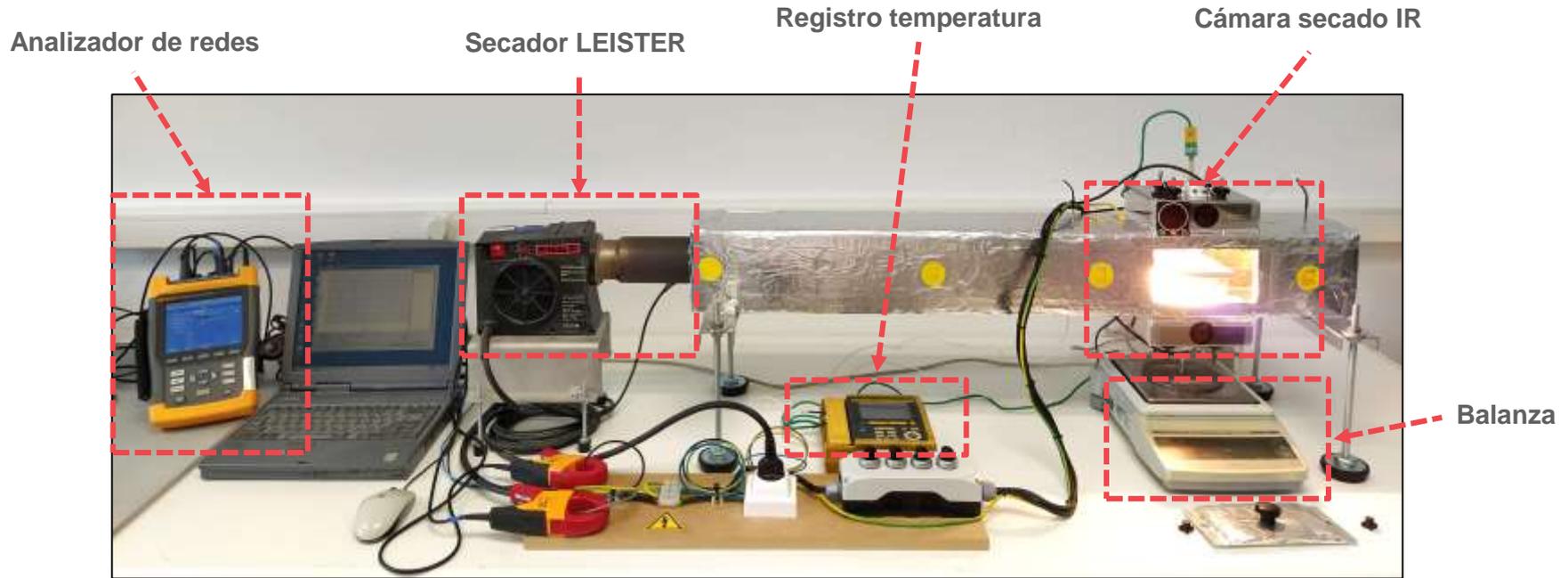
- **Gres Rojo**

- $H_{bs} = 6,6 - 6,8 \%$
- Tamaño = 10 cm x 10 cm
- $Dap_{seco} = 2080 - 2090 \text{ kg/m}^3$
- $e_{pieza} = 9 \text{ mm}$



T4.2 Alternativas a los procesos actuales. Secado mediante IR + Convección

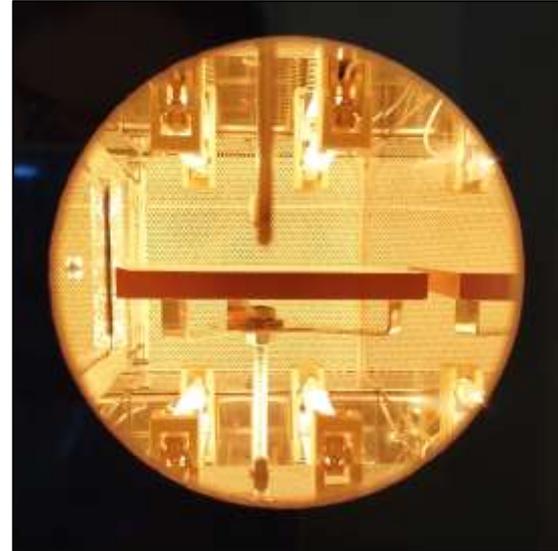
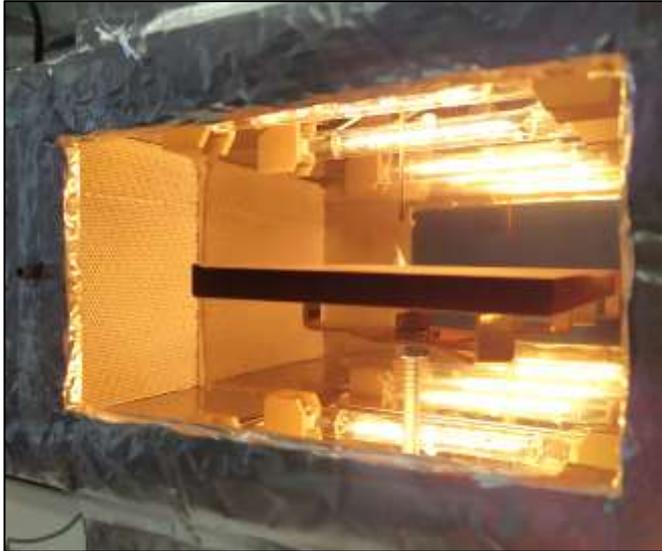
Secadero Prototipo I: IR + Convección



T4.2 Alternativas a los procesos actuales. Secado mediante IR + Convección

Secadero Prototipo I: IR + Convección

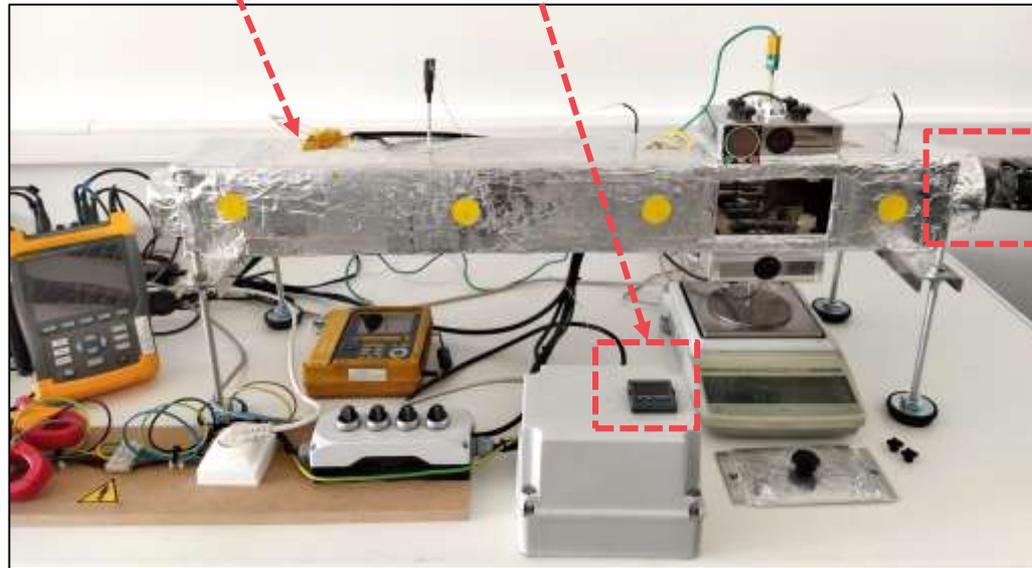
Detalle del interior de la cámara de secado. Lámparas IR



T4.2 Alternativas a los procesos actuales. Secado mediante IR + Convección

Secadero Prototipo II: IR + Convección (CON recirculación de aire)

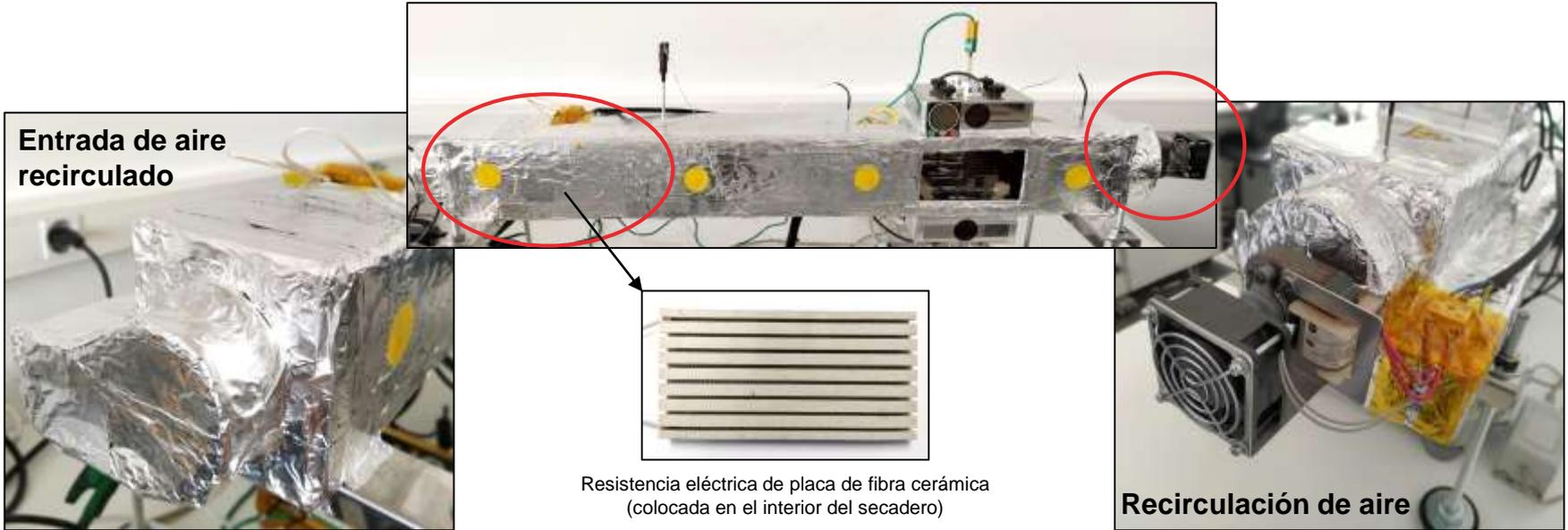
Resistencia eléctrica - Controlador



Recirculación Aire

T4.2 Alternativas a los procesos actuales. Secado mediante IR + Convección

Secadero Prototipo II: IR + Convección (CON recirculación de aire)



T4.2 Alternativas a los procesos actuales. Secado mediante IR + Convección

Ensayos realizados:

- Secado por CONVECCIÓN:

 - Temperatura del aire: 100 – 130 – 160 °C



SIN recirculación de aire



CON recirculación de aire

- Secado por IR:

 - Potencia: 400 W

- Secado por IR + CONVECCIÓN:

 - 400W IR + Aire a 160 °C



SIN recirculación de aire

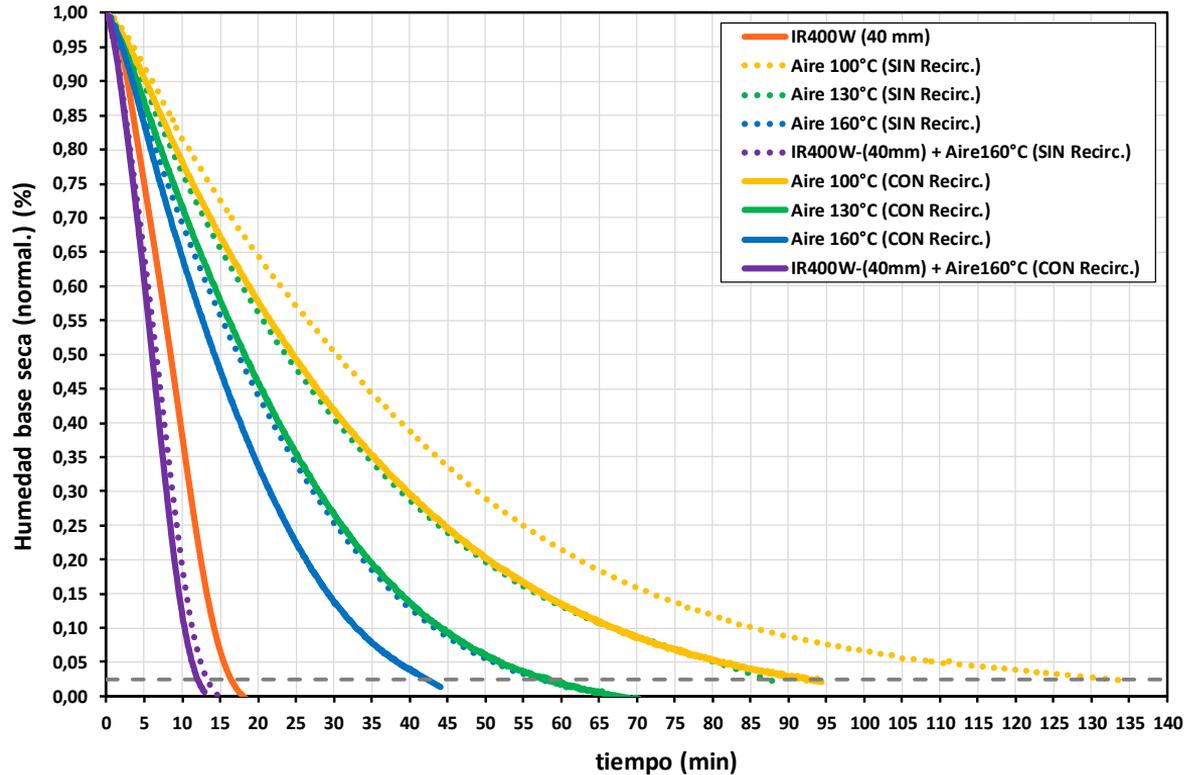


CON recirculación de aire

PT4. Alternativas a los procesos actuales. Secado mediante IR + Convección

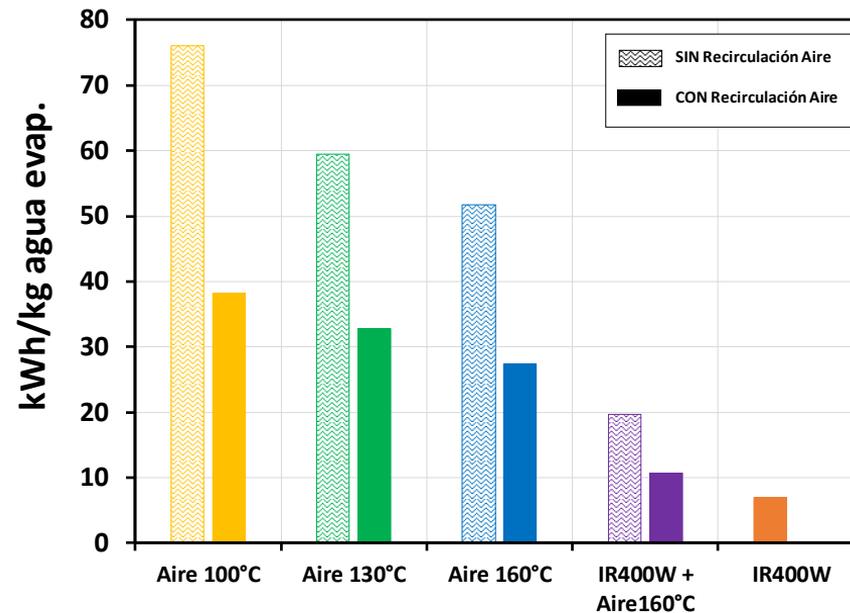
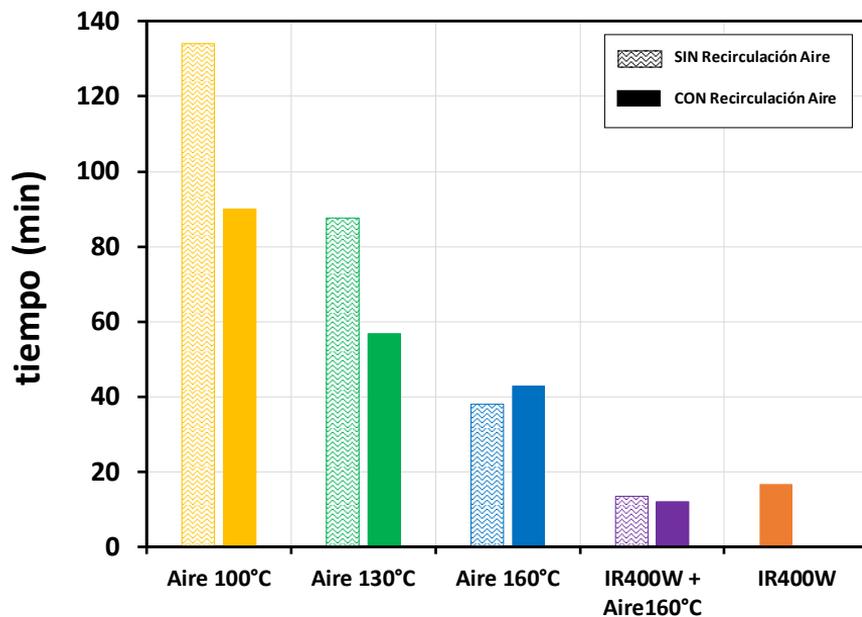
Resultados:

○ Curvas de Secado



T4.2 Alternativas a los procesos actuales. Secado mediante IR + Convección

Resultados:



T4.2 Alternativas a los procesos actuales. Secado mediante IR + Convección

Conclusiones:

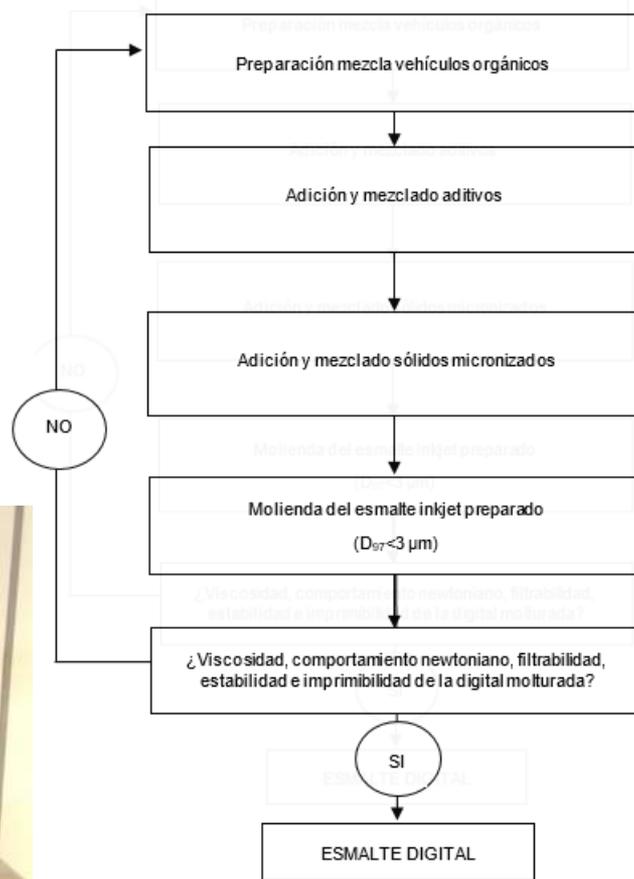
- Se ha construido un secadero a escala de laboratorio para secar piezas cerámicas de tamaño 100x100 mm y se ha adaptado para registrar las curvas de secado y el consumo energético correspondiente al proceso de secado.
- Ha sido posible secar piezas cerámicas de características similares a las fabricadas industrialmente utilizando únicamente radiación infrarroja.
- Los mejores resultados, menor tiempo de secado y menor consumo energético, se han obtenido combinando radiación infrarroja con una potencia de 400 W con convección de aire calentado mediante resistencia eléctrica hasta 160 °C.
- No es posible comparar directamente estos resultados con los obtenidos en la etapa de secado industrial por tratarse de un escalado mayúsculo. Es por eso que se propone:

Plan de trabajo futuro:

- Construcción de un módulo de secado que permita secar piezas industriales a escala piloto (hasta un tamaño nominal cocido de 60 cm x 60 cm). Esto nos permitirá evaluar cómo debería construirse un equipo industrial que utilizara esta tecnología de secado y cuál sería su consumo energético real.

PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.3. Tecnología "full digital"



PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.3. Tecnología “full digital”

SOPORTE	MÉTODO	ACABADO	REFERENCIA PIEZAS	REFERENCIA ENGOBE	REFERENCIA ESMALTE
POROSA	TRADICIONAL	MATE	W-TM	INDUSTRIAL	CEOH-006/1
		BRILLO	W-TB	INDUSTRIAL	CEOH-007/1
	SEMIDIGITAL	MATE	W-SDM	INDUSTRIAL	CEOH-005/1
		BRILLO	W-SDB	INDUSTRIAL	CEOH-004/1
	DIGITAL	MATE	W-DM	CEOH-012/1	CEOH-005/1
		BRILLO	W-DB	CEOH-012/1	CEOH-004/1
		ENGOBE/ ESMALTE	W-DEE	CEOH-010/1	-----

PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.3. Tecnología “full digital”

SOPORTE	MÉTODO	ACABADO	REFERENCIA PIEZAS	REFERENCIA ENGOBE	REFERENCIA ESMALTE
PORCELÁNICO	TRADICIONAL	MATE	P-TM	INDUSTRIAL	CEOH-008/1
		BRILLO	P-TB	INDUSTRIAL	CEOH-009/1
	SEMIDIGITAL	MATE	P-SDM	INDUSTRIAL	CEOH-003/1
		BRILLO	P-SDB	INDUSTRIAL	CEOH-001/1
	DIGITAL	MATE	P-DM	CEOH-013/1	CEOH-002/1
		BRILLO	P-DB	CEOH-013/1	CEOH-001/1
		ENGOBE/ ESMALTE	P-DEE	CEOH-011/1	-----

PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.3. Tecnología “full digital”

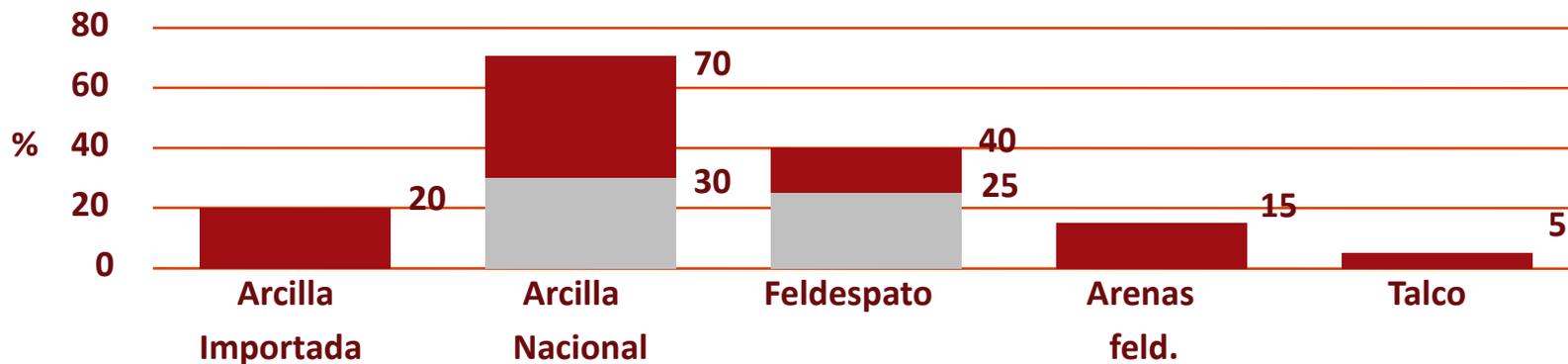
- **Velocidad de trabajo: 25 m/min**
- **Gramaje aplicado: 200 g/m². Reducción comprendida entre el 50 y el 300% respecto a las aplicaciones convencionales.**
- **Temperatura aplicación esmalte: 40-45 °C**

PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.4. Cocción de las baldosas cerámicas



Composición tipo



PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.4. Cocción de las baldosas cerámicas

Espesores para cada uso (considerando una resistencia mecánica de 450 kg/cm²):

- Suelos interiores: 8 mm
- Paredes interiores: 5 mm
- Suelos exteriores: 10 mm
- Paredes exteriores (fachadas ventiladas): 10 mm.

Cocción rápida del soporte (año 2020):

- Comparativa cocción baldosa esmaltada y no esmaltada
- Determinación del tiempo mínimo de cocción para los dos tipos

Cocción superficial del esmalte

- Ciclo mínimo de cocción: 28 minutos
- Temperatura máxima: 1050°C



PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.5. Esmaltes sin frita

- ✓ **Formulaciones con diferentes acabados:** brillante, satinado, mate; tanto para baldosas de gres porcelánico (año 2018) como para baldosas de azulejo (año 2019).
- ✓ **Empleo de materias primas de elevada fundencia y que además aportan un amplio intervalo de cocción: nefelina, espodumeno, etc.**
- ✓ **El empleo de estos esmaltes permitiría reducir las emisiones de CO₂** asociadas al proceso global de fabricación de baldosas cerámicas **en porcentajes comprendidos entre el 2 y el 13% aproximadamente** (los porcentajes más elevados para las composiciones de azulejo por su mayor proporción de frita).

PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.5. Esmaltes sin frita

Materia prima	ESM-24 (% en peso)	ESM-27 (% en peso)	ESM-25 (% en peso)	ESM-28 (% en peso)
Wollastonita	35	9	4	7
Nefelina	35	25	35	42
Fosfato cálcico	8	-	-	-
Espodumeno	-	54	30	38
ZnO	-	4	9	5
Circón	14	-	14	-
Caolín	8	8	8	8
T (°C)	1140	1140	1100	1100
Brillo (60°)	80	21	87	27
ASPECTO	Blanco brillo	Mate satinado <u>semi-transparente</u>	Blanco brillante	Mate satinado <u>semi-transparente</u>
				

PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.6. Composiciones para soportes de bajo espesor

- ✓ Estudio de sistemas ligantes en seco: aumento del 70% con un 0,5% de ligantes

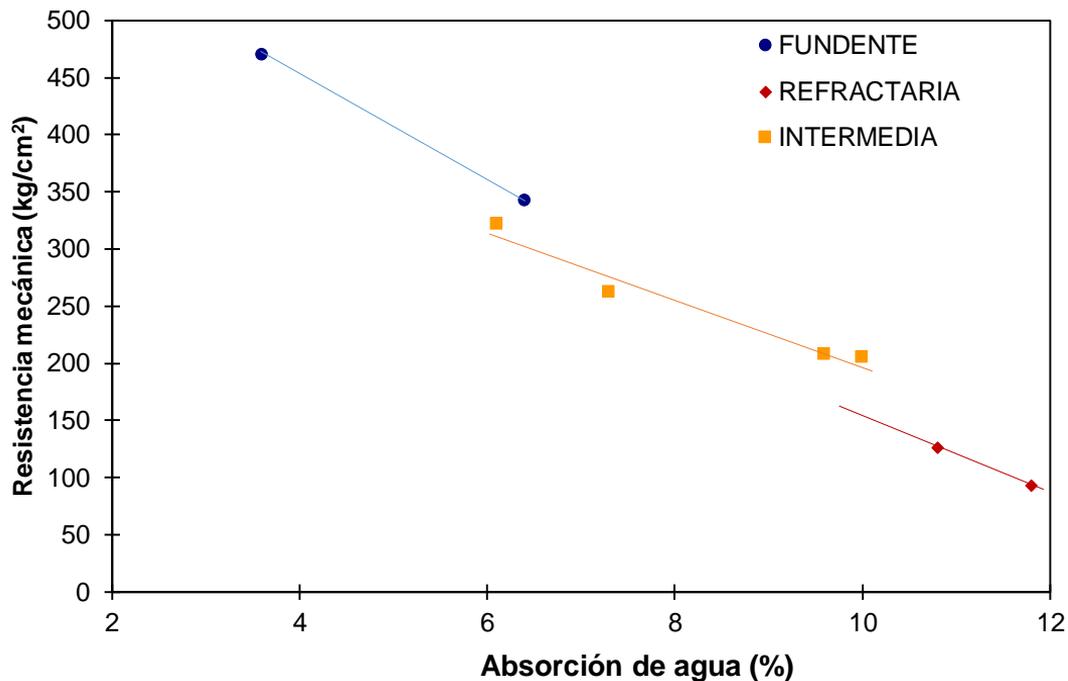
$$R_1 \cdot e_1^2 = R_2 \cdot e_2^2$$

- ✓ El aumento de resistencia mecánica permitiría reducir el espesor un 30%
- ✓ Aumento de resistencia mecánica tras la cocción
 - Cambios en las formulaciones de cocción roja
 - Estudio de la influencia de las condiciones de molienda
 - Estudio de la influencia de las condiciones de conformado

PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.6. Composiciones para soportes de bajo espesor

Composición tipo gres de cocción roja



✓ **Aumento del 80% de la resistencia mecánica tras la cocción**

- Debido a la disminución de la absorción de agua
- Debido también a la disminución del contenido de cuarzo
- Reducción espesor del 35%

PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.6. Composiciones para soportes de bajo espesor

Composición tipo azulejo de cocción roja

Composición	40M 60V (10%)	60M 40V (15%)
MAS VELL	40	60
VILLAR INTERMEDIA	60	40

Composición	40M 60V		60M 40V	
Rechazo a 40 μ m (%)	17,3	9,9	15,9	8,2
Rechazo a 63 μ m (%)	7,3	2,6	6,3	2,1
Humedad (%)	5,5	5,5	5,5	5,5
Presión (kg/cm ²)	250	325	250	350
Densidad aparente en seco (g/cm ³)	2,018	2,013	2,018	2,014

PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.6. Composiciones para soportes de bajo espesor

Composición tipo azulejo de cocción roja

Composición	40M 60V		60M 40V	
Rechazo a 63µm (%)	7,3	2,6	6,3	2,1
Contracción lineal (%) a 1080°C	0,02	0,11	-0,05	-0,02
Contracción lineal (%) a 1110°C	0,30	0,46	0,12	0,23
Absorción de agua (%) a 1080°C	15,6	15,6	17,3	17,2
Absorción de agua (%) a 1110°C	15,1	14,8	16,8	16,7
Resistencia mecánica en cocido a 1080°C (kg/cm ²)	170	220	190	230
Resistencia mecánica en cocido a 1110°C (kg/cm ²)	190	250	200	250

✓ Aumento de resistencia mecánica tras la cocción

- Debido al aumento del contenido de carbonatos
- Debido al aumento del grado de molienda
- Debido al aumento de la temperatura de cocción

✓ Aumento de resistencia en el caso más favorable: 50%

✓ Reducción del espesor: 20%

PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.6. Composiciones para soportes de bajo espesor

Influencia de las condiciones de molienda y conformado de polvos atomizados

Composición	Gres cocción roja		Azulejo cocción roja		Azulejo cocción blanca	Gres porcelánico
	Dap	R	Dap	R	Dap	Dap
Variable modificada	Dap	R	Dap	R	Dap	Dap
Variación (g/cm ³ / %)	0,05	4	0,05	4	0,05	0,05
Incremento de RM (%)	10	25	10	30	10	10
Reducción espesor (%)	5	12	5	14	5	5

PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.7. Alternativas globales

Geopolímeros

✓ Material de partida:

- Cenizas volantes de central térmica
- Activador: 85% NaOH 10M + 15% silicato sódico

✓ Curado:

- 20 horas a temperatura de 85°C con humedad relativa del 90%

✓ Caracterización:

- Resistencia mecánica a flexión.
- Densidad aparente.
- Aspecto superficial.



PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.7. Alternativas globales

Geopolímeros. Estudio de la estabilidad en cocciones a baja temperatura.

Temperatura (°C)	Densidad aparente (g/cm ³)	Resistencia mecánica (MPa)
-	1,650	9
400	1,558	10
600	1,528	13
800	1,622	20

PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.7. Alternativas globales

Geopolímeros. Estudio de la estabilidad en cocciones a baja temperatura.

Frita A: sistema $\text{BaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$

Materia prima	% en peso
Cuarzo	4,2
Ácido bórico	47,5
Carbonato de bario	48,3

Fusión: 1400°C



Frita B: sistema $\text{Na}_2\text{O-ZnO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$

Materia prima	% en peso
Cuarzo	11,9
Ácido bórico	37,5
Carbonato sódico	18,0
Óxido de zinc	32,6

Fusión: 1300°C



PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.7. Alternativas globales

Geopolímeros. Estudio de la estabilidad en cocciones a baja temperatura.

Frita A: $\text{BaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$

Frita B: $\text{Na}_2\text{O-ZnO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$



PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.7. Alternativas globales

Silicocalcáreos

✓ **Material de partida:**

- 40% CaO/Ca(OH)₂ + 60% SiO₂

✓ **Conformado:**

- Humedad: 6,5% Presión: 250 kg/cm²

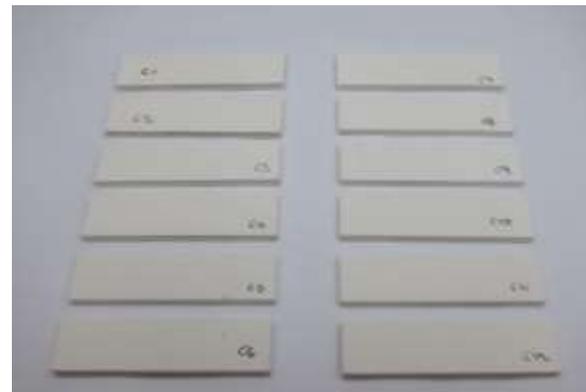
✓ **Curado:**

- Autoclave: 4 horas 12 bares

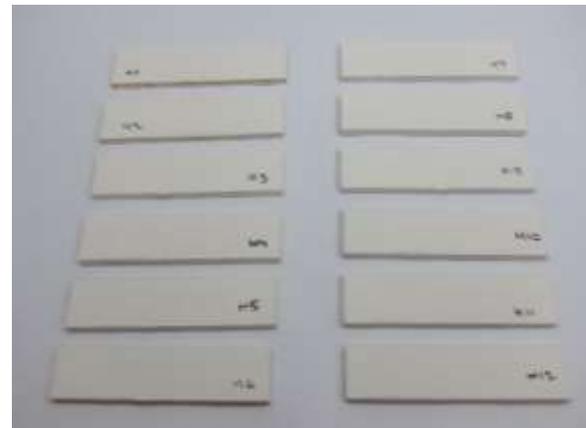
✓ **Caracterización:**

- Resistencia mecánica a flexión.
- Densidad aparente.
- Aspecto superficial.

CaO



Ca(OH)₂



PT4. Nuevos procesos y productos.

Tarea 4.7. Alternativas globales

Silicocalcáreos

Muestra	Densidad aparente (g/cm ³)	Resistencia mecánica (kg/cm ²)
60% arena 40% óxido de calcio	1,754	210
60% arena 40% hidróxido de calcio	1,692	170