



“RECINT”

DESARROLLO DE RECUBRIMIENTOS INTELIGENTES QUE
CONTRIBUYAN AL AHORRO ENERGÉTICO Y MEJORA
AMBIENTAL

INFORME DE RESULTADOS

Número de proyecto: 22200007

Expediente: IMAMCA/2022/2

Duración: Del 01/01/2022 al 31/12/2022

Coordinado en AIDIMME por: JUAN PUCHADES, FRANCISCO

Línea de I+D: SUPERFICIES MODIFICADAS



“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

ÍNDICE

1	Introducción.....	3
2	Objetivo.....	3
3	Actividades realizadas.....	4
4	Desarrollo del proyecto.....	5
5	Resultados y conclusiones.....	56
6.	Bibliografía.....	58

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

1 Introducción.

En vistas a los objetivos climáticos y energéticos, la edificación residencial en Europa precisa de una profunda rehabilitación. Para ello, los revestimientos con materiales que permitan un ahorro de coste energético, junto con un aprovechamiento de materiales y una disminución de la huella de carbono, ayudarán a conseguir una renovación efectiva. Según estudios, de los 26 millones de viviendas existentes en España, 15 millones tienen más de 30 años y 6 millones tienen más de 50 años, de forma que, cuando se construyeron no existía normativa de eficiencia energética y por eso no cumplen los requisitos de habitabilidad y confort térmico.

Por otro lado, las mayores pérdidas térmicas en un edificio tienen lugar por la transmisión de calor a través del revestimiento del mismo. El porcentaje de pérdida de calor a través de las paredes externas se estima, habitualmente, en un rango entre el 10 % y el 45 %, habiendo muchos estudios que demuestran que el aislamiento de estos revestimientos mejora el conjunto de comportamiento energético de una forma significativa. Este aislamiento se puede realizar en la pared externa y en la cara interna del revestimiento, dependiendo de las características estéticas, históricas y de si se trata de nueva edificación o de rehabilitación.

Una de las formas de facilitar una rehabilitación fácil, con poca intervención de mano de obra y que puede dar frutos para la mejora de la eficiencia energética y el confort de las viviendas, es emplear recubrimientos inteligentes. Estos recubrimientos son capaces de interactuar con diferentes agentes externos, para optimizar algunas de sus prestaciones [1] [2].

2 Objetivo.

El presente proyecto se centra en una profundización en el conocimiento de recubrimientos inteligentes o avanzados que permitan un ahorro de coste energético, junto con un aprovechamiento de materiales y una disminución de la huella de carbono, caracterizados principalmente por:

- Una contribución positiva a la eficiencia energética mediante pigmentos específicos refractarios, esferas cerámicas o de vidrio aislantes...
- Capacidad de absorción de COVs mediante compuestos básicos que absorben en CO₂

Todo este conocimiento se cuantificará mediante la puesta a punto y realización de ensayos específicos que permitan caracterizar los recubrimientos en su respuesta frente a agresiones térmicas y químicas.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

3 Actividades realizadas.

La línea de trabajo seguida en el presente proyecto consta de las siguientes partes:

- 1.- Búsqueda de recubrimientos de diferente naturaleza química y uso. Se seleccionarán para su estudio pinturas de fachada comerciales para uso interior y exterior presentes en el mercado.
- 2.- Búsqueda de métodos de ensayos y normativa aplicable.
- 3.- Realización de aplicaciones. Se trabajará con diferentes gramajes de pintura, partiendo como base de los gramajes recomendados en la ficha técnica del producto. Se aplicarán sobre superficies estandarizadas para su evaluación.
- 4.- Estudio de los recubrimientos inteligentes.

A. Recubrimientos que tengan una conductividad térmica que mejore la inercia térmica de la superficie de la vivienda ...).

En primer lugar, los recubrimientos se caracterizarán mediante métodos internos basados en ensayos aplicables a pinturas de interior y exterior para evaluar su comportamiento. Se realizarán ensayos de caracterización de las pinturas seleccionadas:

- Espectroscopía infrarroja.
- Aspecto superficial.
- Amortiguación del péndulo persoz.
- Relación de contraste.
- Espesor de la película húmeda.
- Resistencia al frote en húmedo.
- Envejecimiento artificial.
- Solidez a la luz.
- Resistencia a los cambios bruscos de temperatura.
- Evaluación microbiológica.

En segundo lugar, se realizarán estudios específicos para evaluar sus propiedades térmicas y aislantes.

- Conductividad térmica.
- Rugosidad de la superficie.
- Resistencia a la temperatura interior. A partir de la búsqueda de bibliografía y consulta de la normativa aplicable se establecerá un nuevo método que permita evaluar, tanto el aumento de la temperatura interior de una vivienda, como la amortiguación térmica entre el interior y el exterior de la vivienda.

B.-) Recubrimientos con capacidad de absorción de COV,s. A partir de la búsqueda tanto de bibliografía como de la normativa aplicable, se llevará a cabo la puesta a punto de un método

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

que permitirá cuantificar la capacidad de captación de CO₂ de recubrimientos de interior y exterior.

4 Desarrollo del proyecto.

Para el desarrollo del presente proyecto se realizó una selección recubrimientos existentes en el mercado, tanto de uso interior como de uso exterior en base acuosa, que presentaran un valor añadido, aparte de un uso habitual como elemento decorativo.

- A. Los **recubrimientos** seleccionados para el estudio de recubrimientos que **mejoren la inercia térmica** de las superficies en las viviendas son los siguientes:
- Revestimiento acrílico de exterior térmico aislante, referenciado a partir de ahora como **E1**. Está formulado con microesferas cerámicas y tiene incorporado aditivos que hacen que sea una pintura respetuosa con el medio ambiente.
 - Revestimiento acrílico de exterior térmico aislante e impermeabilizante, referenciado a partir de ahora como **E2**. Tiene incorporadas microesferas de cerámica huecas. Además, presenta una formulación de bajos compuestos orgánicos volátiles.
 - Revestimiento de exterior convencional, referenciado a partir de ahora como **E3**. Es resistente frente los rayos UV y a la intemperie. Este revestimiento tiene otorgada una etiqueta ecológica.
 - Revestimiento interior térmico aislante, referenciado a partir de ahora como **I1**. Pintura en base agua con propiedades termoaislantes y anticondensación.
 - Revestimiento interior térmico aislante, referenciado a partir de ahora como **I2**. Está formulada con microesferas de cerámica.
 - Revestimiento acrílico de interior térmico aislante, referenciado a partir de ahora como **I3**. Este recubrimiento también está formulado con microesferas de cerámica huecas, de baja densidad.
 - Revestimiento de interior convencional, referenciado a partir de ahora como **I4**. Es una pintura ideada para su uso en interiores tanto decorativos como de protección. Presenta una buena cubrición y lavabilidad.
- B. Los **recubrimientos** seleccionados para el estudio de **captación** de COVs, centrándonos en el **CO₂ atmosférico**, son los siguientes:

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

- Revestimiento exterior captador de CO₂, referenciado a partir de ahora como **GE**. Pintura libre de sustancias tóxicas. Presenta una formulación basada en hidróxido cálcico, además de grafeno.
- Revestimiento interior captador de CO₂, referenciado a partir de ahora como **GI**. Pintura libre de sustancias tóxicas. Presenta una formulación basada en hidróxido cálcico, además de grafeno.
- Como referencia se emplearon los recubrimientos convencionales **E3** e **I4**, descritos anteriormente.

Tabla 1. Revestimientos seleccionados para su estudio.

	USO EXTERIOR	USO INTERIOR
Estudio inercia térmica	E1, E2, E3	I1, I2, I3, I4
Estudio captadores COVs	GE, E3	GI, I4

A.- Estudio de la capacidad aislante.

Las pinturas formuladas con aditivos específicos termoaislantes tienen como principal función la rotura de puentes térmicos, superficies de la vivienda en las que convergen materiales de diferente naturaleza, que son los causantes de las pérdidas o ganancias de temperatura.

El calor se transmite si hay una diferencia térmica, desde las zonas calientes a las frías hasta alcanzar el equilibrio, mediante los siguientes mecanismos:

- **Conducción:** es la forma de transmisión de calor entre cuerpos sólidos en contacto. La energía calorífica se propaga por vibración de partícula en partícula. Las partículas más calientes se agitan y mueven de forma rápida transmitiendo el calor a las más frías.
- **Convección:** es la forma de transferencia de calor entre fluidos (aire, agua...etc.). Cuando las moléculas se calientan disminuyen su densidad y tienden a subir, las frías bajan y entonces se producen una corriente de convección.
- **Radiación:** el calor se transmite a través de ondas electromagnéticas de diferente longitud de onda y frecuencia. Las ondas inciden en los materiales, que pueden reflejarla, transmitirla o absorberla. Es la forma en que la tierra recibe la energía del sol.

La pintura termoaislante funciona principalmente reflejando el calor transmitido por radiación, impidiendo así que las superficies de los materiales de construcción se calienten y transmitan el calor

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

de las partes calientes a las frías por conducción. Con la incorporación de microesferas de cerámica huecas de baja densidad se crea una cámara de aire, que produce la rotura del puente térmico.

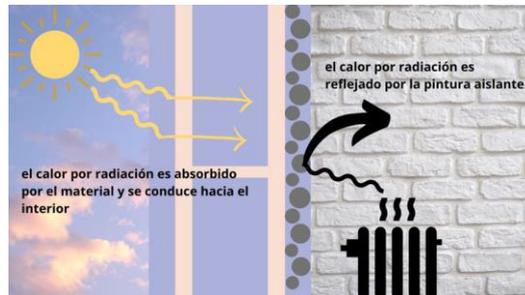


Figura 1. Efecto de pintura aislante térmica aplicada en el interior [3].

Aplicadas en interiores, las microesferas cerámicas reflejarán el calor transmitido por radiación, impidiendo que éste llegue al material de la pared, lo absorba y lo transmita por conducción a todos los elementos más fríos que conforman el cerramiento hacia exterior. El calor es reflejado y se queda dentro de las estancias. Aplicada en exteriores aísla reflejando el calor del sol, impidiendo que penetre en el interior a través de los cerramientos.

En la bibliografía se han estudiado diversos materiales como barrera aislante que incorporados a matrices poliméricas dan lugar a pinturas termoaislantes. Algunos ejemplos son:

- Las esferas huecas de alúmina, que, de forma genérica, crean una cámara de aire produciendo una rotura de puente térmico. [4].
- Esferas de vidrio, ampliamente usado como material aislante [5].
- Pigmento inorgánico dióxido de titanio (TiO_2), presenta propiedades reflectantes conocidas, y es ampliamente usado debido a la facilidad de síntesis y bajo coste. Además, es un material fotocatalítico para degradar contaminantes mediante radiación UV [6].
- El compuesto óxido de zinc (ZnO), al igual que el dióxido de titanio, presenta propiedad es reflectantes de la radiación solar [6].
- Compuestos de aerogel de sílice, que presentan una baja conductividad térmica una elevada área superficial y una alta porosidad. Recubrimientos con aerogel de sílice redujeron considerablemente la reducción de la temperatura superficial irradiada [7].
- Residuos de madera, biochar. La incorporación del biocarbón, disminuyó la conductividad térmica del material [8].

La capacidad termoaislante de la pintura dependerá de una serie de parámetros, el material de las esferas termoaislantes empleadas, la concentración de pigmento en volumen (PVC), el tamaño promedio de la esfera o distribución de tamaño de la esfera, las conductividades térmicas del

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

aglutinante y el grosor de la pared de la esfera. Todos estos parámetros afectan a la conductividad térmica del recubrimiento, siendo los más significativos, el PVC, el grosor de la pared de la esfera y al material de la esfera [9].

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

A.1 Ensayos de caracterización.

Los recubrimientos seleccionados se han caracterizado en profundidad con la finalidad de ampliar y completar el estudio del comportamiento y de las propiedades de estas pinturas, que presentan formulaciones específicas con un valor añadido. Cabe destacar que los ensayos de caracterización realizados son métodos internos basados en las normativas aplicables. Se modificaron ciertas condiciones de los métodos adaptándolos a los tiempos y requisitos del presente proyecto.

ESPECTRO ESPECTROSCOPIA INFRARROJA

Las referencias de las pinturas térmicas y las estándar se analizaron por espectroscopía infrarroja. En la Figura 2 se pueden observar los espectros correspondientes a las referencias de uso interior, I1, I2, I3 e I4. En la siguiente figura, la Figura 3, se observan los espectros correspondientes a las referencias de uso exterior, E1, E2 y E3.

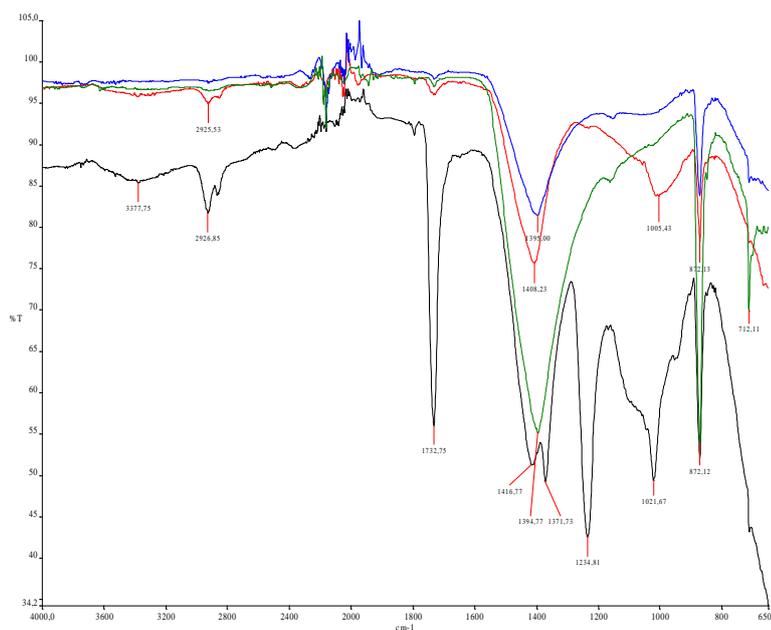


Figura 2. Espectro I1 (rojo), I2 (negro), I3 (azul) e I4 (verde).

En la muestra I1 se detecta claramente la presencia de grupos carbonilo característicos de las resinas acrílicas (C=O a 1732 cm^{-1} y C-O a 1234 cm^{-1}). También es evidente la presencia de las tres señales características del CaCO_3 (picos a 1416 cm^{-1} , 872 cm^{-1} y 712 cm^{-1}).

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

En las muestras I2, I3 e I4 destacan principalmente todos los picos asignables al CaCO_3 (picos a 1416cm^{-1} , 872cm^{-1} y 712cm^{-1}), siendo inapreciables las señales que se corresponderían a presencia de resinas de naturaleza orgánica.

A destacar en la muestra I2 el pico a 1005cm^{-1} que podría corresponderse a la presencia de cargas tipo sílice o pigmentos tipo TiO_2 .

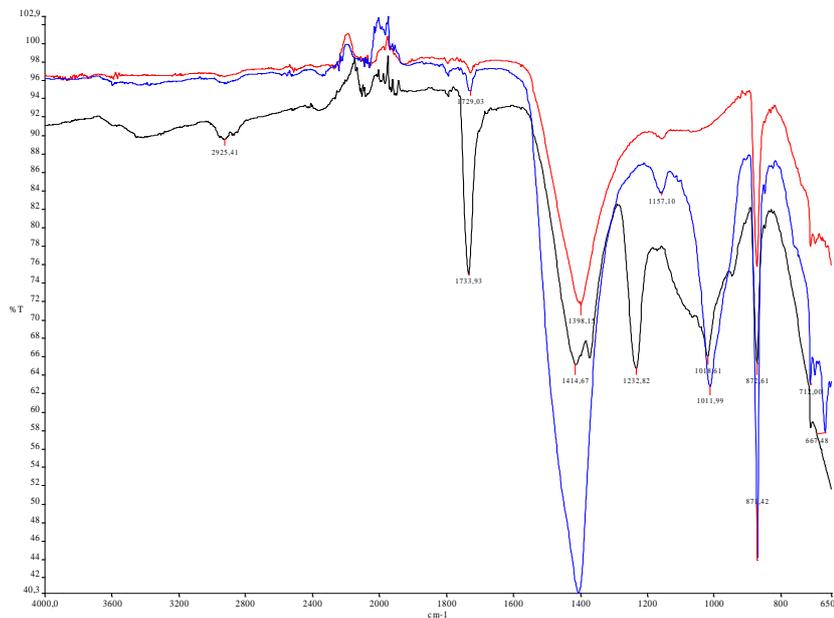


Figura 3. Espectro E1 (negro), E2 (rojo), E3 (azul).

Como en el caso anterior se aprecia que en la muestra E1 se detecta claramente la presencia de grupos carbonilo característicos de las resinas acrílicas (C=O a 1733cm^{-1} y C-O a 1232cm^{-1}). También es evidente la presencia de las tres señales características del CaCO_3 (picos a 1416cm^{-1} , 872cm^{-1} y 712cm^{-1}).

En la muestra E2 destacan principalmente todos los picos asignables al CaCO_3 (picos a 1416cm^{-1} , 871cm^{-1} y 712cm^{-1}), siendo inapreciables las señales que se corresponderían a presencia de resinas de naturaleza orgánica.

En el caso de la muestra E3 destacar aparte de los picos mayoritarios pertenecientes al CaCO_3 (picos a 1416cm^{-1} , 871cm^{-1} y 712cm^{-1}), se aprecian algunos picos adicionales a 1011cm^{-1} que podría corresponderse a la presencia de otro tipo de cargas (cargas tipo sílice o pigmentos tipo TiO_2).

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

MORFOLOGÍA Y MICROESTRUCTURA DE LOS RECUBRIMIENTOS

Se obtuvieron imágenes a partir de una lupa estereoscópica (x60) y mediante espectroscopía de barrido SEM.

En los recubrimientos referenciados como E1, I1, I2, I3, se observó sobre toda la superficie la presencia de elementos circulares, que corresponden con las esferas cerámicas incorporadas. En el recubrimiento E2, en cambio, no se observó muy claramente la presencia de las esferas huecas, posiblemente se encuentran tanto dentro del aglutinante como recubiertas por el mismo, y no sobre la superficie. En las referencias E3 e I4 se observó un recubrimiento liso, con presencia de alguna irregularidad ocasionada por aire ocluido, generando tras su secado pequeños cráteres, Figura 4 y Figura 5.

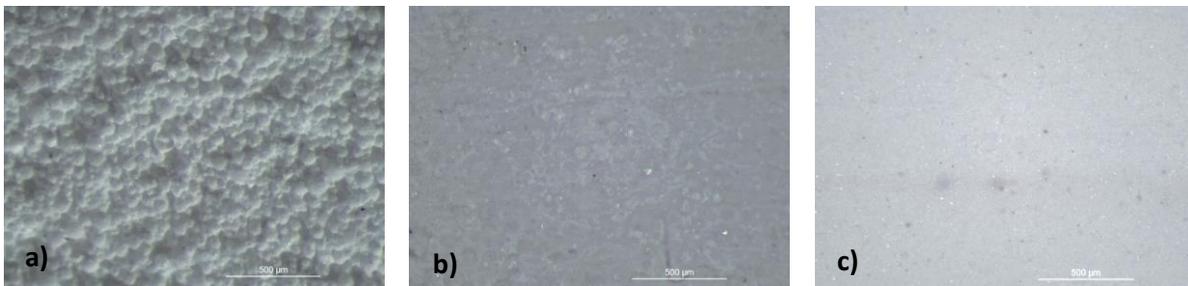


Figura 4. Superficie de recubrimiento a vista de lupa (x60) E1 (a), E2 (b) y E3 (c).

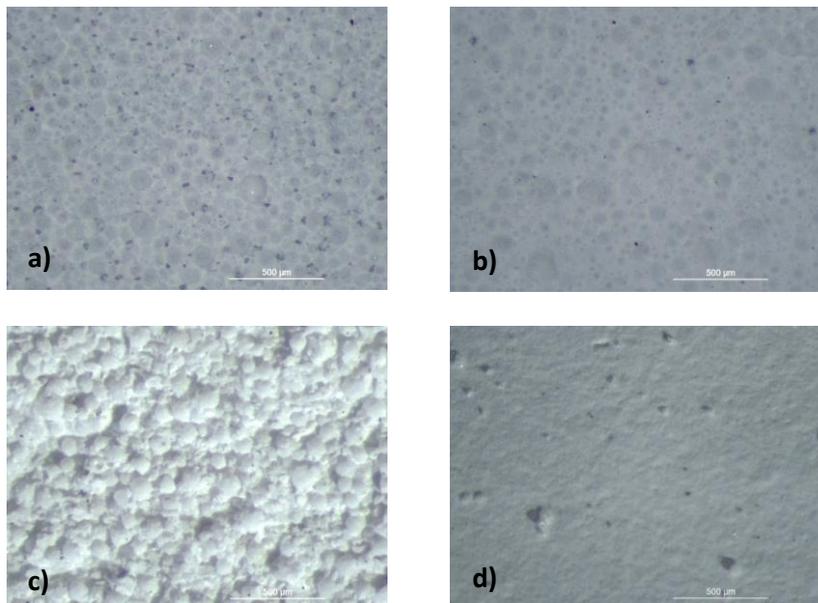


Figura 5. Superficie de recubrimiento a vista de lupa (x60) I1 (a), I2 (b), I3 (c) e I3 (d).

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

Para un mayor detalle, la superficie de los recubrimientos, concretamente E1, I1, y la estándar I4, se observaron a través de un microscopio electrónico de barrido. Se observa claramente las cavidades intersticiales y esferas de cerámica huecas, medio recubiertas por el aglutinante. En la Figura 6 se observa la presencia de microsferas de cerámica, algunas de ellas quebradas (debido al rascado de la superficie para obtener la muestra) sobre la superficie del recubrimiento de exterior E1. En la Figura 7, se observan también las esferas cerámicas sobre el recubrimiento de interior I1. El tamaño de partícula se estudió en las micrografías SEM, observando tamaños en torno a 35µm y 27µm y 12,9µm. También se observó la superficie de los recubrimientos estándares, Figura 8, en los que se observan irregularidades, como grietas, así como las cargas y pigmentos inorgánicos.

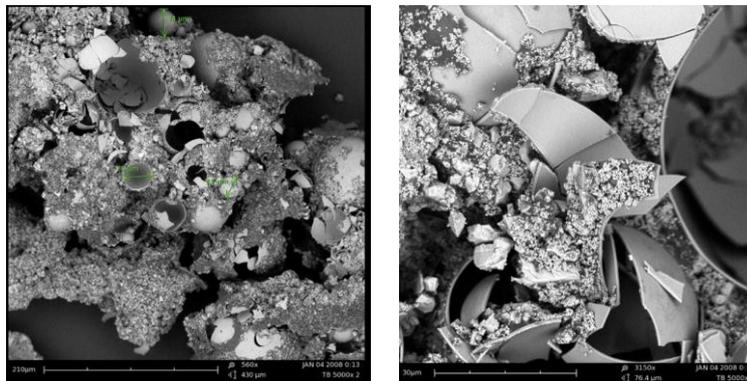


Figura 6. Micrografía en SEM de E1.

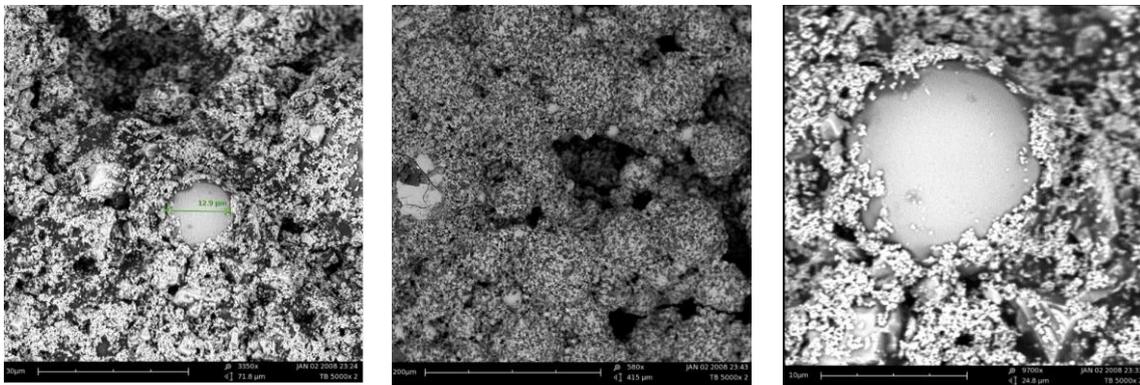


Figura 7. Micrografía en SEM de I1.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

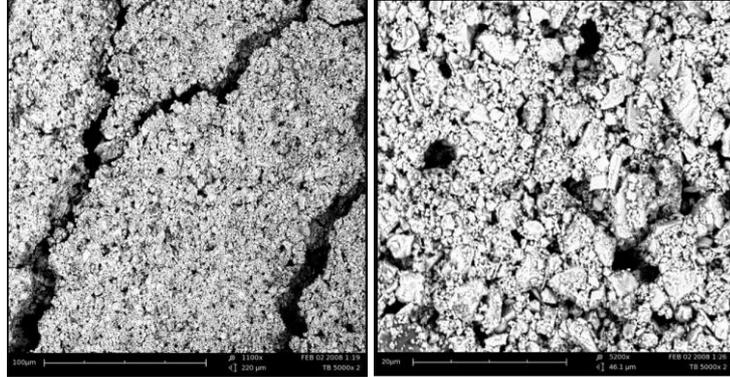


Figura 8. Micrografía en SEM I4.

ENSAYO DE AMORTIGUACIÓN DEL PÉNDULO PERSOZ

Se llevó a cabo un método interno basado en la norma UNE-EN ISO 1522. Mediante este ensayo determina la dureza superficial de un recubrimiento. Esta viene determinada por el tiempo de amortiguación, expresado en segundos, requerido para que se reduzca la amplitud del movimiento del péndulo que se balancea sobre la superficie desde 12° hasta 4°.

Para ello, se aplicaron sobre sustrato vidrio una película de 150 µm húmedas sobre vidrio y se secaron a temperatura ambiente durante 15 días, Figura 10. Pasados 15 días desde su aplicación se evaluó la dureza de los recubrimientos.



Figura 9. Aplicaciones sobre vidrio para la determinación de la dureza persoz. Recubrimientos de exterior E1, E2 y E3 (arriba de izquierda a derecha) y recubrimientos de interior I1, I2, I3 e I4 (debajo de izquierda a derecha).

Los resultados obtenidos de dureza persoz para cada uno de los recubrimientos se recogen en la Tabla 2. Se evaluó también las pinturas I2 e I3 con una dilución del 10% con agua destilada, quedando el recubrimiento resultante más homogéneo. Existen dos grupos diferenciados, por una parte, los

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

recubrimientos I1, E1 y E3 presentaron una mayor amortiguación, es decir, su superficie es más blanda. Y, por otra parte, I2, I3, I4 y E2 obtuvieron amortiguaciones menores, es decir, la superficie de los recubrimientos presenta una mayor dureza.

Tabla 2. Resultados de dureza Persoz de los recubrimientos estudiados.

Referencia	Dureza Persoz (s)	Desviación estándar (s)
I1	57	4
I1 + 10% agua destilada	52	1
I2	97	3
I3	94	7
I3+10% agua	111	3
I4	106	1
E1	60	1
E2	100	5
E3	58	2

RELACIÓN DE CONTRASTE

Se llevó a cabo un procedimiento interno basado en la norma UNE 48259:1992. Para la determinación de la relación de contraste de los recubrimientos estudiados, se aplicaron con la ayuda de un aplicador manual cilíndrico un espesor húmedo de 200 µm sobre una cartulina de contraste. Pasados 15 días desde su aplicación, se midieron las coordenadas colorimétricas L*a*b* en la parte negra y blanca de la cartulina. También se midió la coordenada triestímulo Y en la parte negra y en la parte blanca. Posteriormente, se calculó la relación de contraste (%), mediante la ecuación:

$$Relación\ de\ contraste\ (\%) = Y_{negro} / Y_{blanco} \times 100$$

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental



Figura 10. Aplicaciones sobre cartulina de contraste para la determinación de la relación de contraste de los recubrimientos de exterior E1, E2 y E3 (arriba de izquierda a derecha) y recubrimientos de interior I1, I2, I3 e I4 (debajo de izquierda a derecha).

El resultado de los puntos de color y el valor triestímulo, resultan de una media aritmética de 3 valores medidos en puntos distintos de la película y se recogen en la Tabla 3. En algunos casos fue necesaria la dilución con agua, siguiendo las recomendaciones del fabricante, para obtener una superficie más homogénea. Atendiendo a los resultados, de menor a mayor cubrición se encuentra el recubrimiento I1, seguido de E1 , I3, posteriormente I2 y E2, siendo los recubrimientos más cubrientes las referencias E3 e I4.

Tabla 3. Coordenadas colorimétricas y relación de contraste de los recubrimientos estudiados.

Recubrimiento	Parte negra				Parte blanca				Y _{negro} / Y _{blanco}
	L*	a*	b*	Y	L*	a*	b*	Y	
E1	90,32	-5,34	5,52	77,00	94,14	-5,35	8,18	85,62	89,94
E1+10%agua destilada	90,57	-5,33	5,48	77,55	91,07	-5,35	7,99	86,24	89,92
E2 + 10% agua destilada	94,41	-5,08	4,93	86,24	94,95	-5,09	5,50	87,51	98,54
E3	96,35	-5,24	5,91	90,88	96,74	-5,18	6,34	91,83	98,97
I1	90,20	-5,22	4,92	76,75	94,09	-5,20	7,50	85,49	89,78
I1 + 10% agua destilada	88,36	-5,14	4,33	72,83	93,91	-5,16	7,68	88,41	82,38
I2	92,40	-5,27	6,31	81,62	93,14	-5,12	7,28	83,31	97,98

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

Recubrimiento	Parte negra				Parte blanca				Y _{negro} / Y _{blanco}
	L*	a*	b*	Y	L*	a*	b*	Y	
I3 + 5% agua destilada	92,70	-5,22	4,48	82,30	94,65	-5,22	5,73	86,80	94,82
I4	95,22	-5,17	4,43	88,15	95,56	-5,11	4,95	88,96	99,10

ESPESOR DE LA PELÍCULA SECA

Se ha determinado el espesor de la película seca de las aplicaciones realizadas de las distintas pinturas térmicas y sus controles, sobre cartulina de contraste, tras 15 días de secado. En la Tabla 4 se especifica el espesor húmedo aplicado mediante aplicador cilíndrico, y posteriormente el espesor de película seco, resultado de la media aritmética de tres valores medidos en puntos distintos. Para ello se ha empleado un calibre pie de rey digital marca Mitutoyo.

Tabla 4. Espesor seco de los recubrimientos estudiados.

Recubrimiento	Espesor húmedo (µm)	Media espesor seco (µm)
I1	200	140
I1 + 10% agua destilada	220	130
I2	200	150
I3 + 5% agua destilada	210	160
I4	200	100
E1	200	150
E1 + 5% agua	210	160
E2 + 10% agua	220	190
E3	200	90

RESISTENCIA AL FROTE EN HÚMEDO

Se llevó a cabo un procedimiento interno de la norma vigente. Cada muestra de pintura se aplica con un extendedor sobre láminas de PVC, de color negro normalizadas, de manera que una vez seca la película, la banda aplicada tenga una longitud mínima de 400 mm. Las probetas preparadas se dejan secar en condiciones normalizadas en el laboratorio, y transcurridos 28 días desde la aplicación, se procede a su ensayo. Las probetas de ensayo se pesan y se someten a 200 ciclos de frote en un equipo automático específico para este ensayo, y utilizando un estropajo normalizado. Previo al frote, la película se humedece homogéneamente, con una disolución acuosa al 0,25 % de n-dodececilbenceno sulfonato sódico y los estropajos a utilizar se impregnan con la misma disolución. Una vez que finalizan

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

los ciclos de frote, se lavan las probetas ensayadas, se secan y se pesan hasta masa constante. Se valora el aspecto, Figura 11 , y la diferencia de masa, Tabla 5 y Gráfico 1

Tabla 5. Pérdida de masa tras ensayo de resistencia al frote en húmedo.

Referencia	m ₀ (g)	m ₁ (g)	Δm
I1	22,22	21,26	-0,96
I2	24,67	23,98	-0,69
I3	23,69	23,17	-0,52
I4	24,13	22,39	-1,74
E1	21,47	20,38	-1,09
E2	23,73	22,92	-0,81
E3	26,14	24,77	-1,37

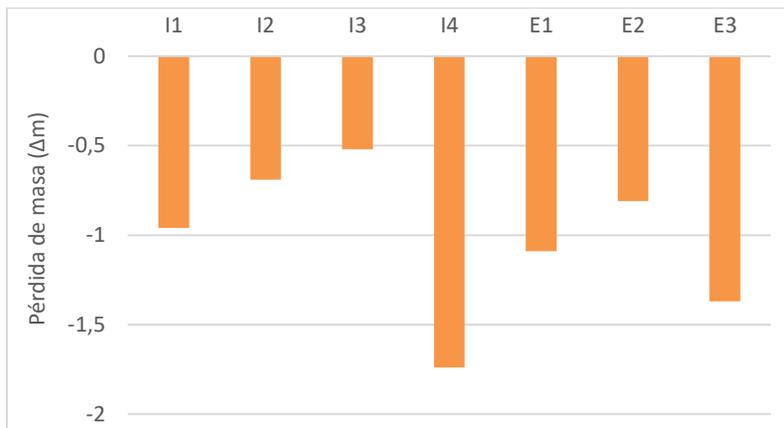


Gráfico 1. Pérdida de masa en ensayo de resistencia al frote en húmedo.

En el recubrimiento I1 se observó una pérdida casi completa de la pintura en la zona de frote. En I2, se observó zonas en las que se ve el sustrato, pero no afecta a toda el área del frote. En el recubrimiento I3 se detectó una menor área frotada. Respecto de I4, en este caso se observó una pérdida completa de la pintura en toda el área del frote. En E1 también presentó una pérdida casi completa de la pintura en la zona de frote. En E2 se observó un mejor comportamiento, aunque también se vio afectado por el frote. Por último, E3 presentó una notable pérdida de pintura en el área ensayada.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

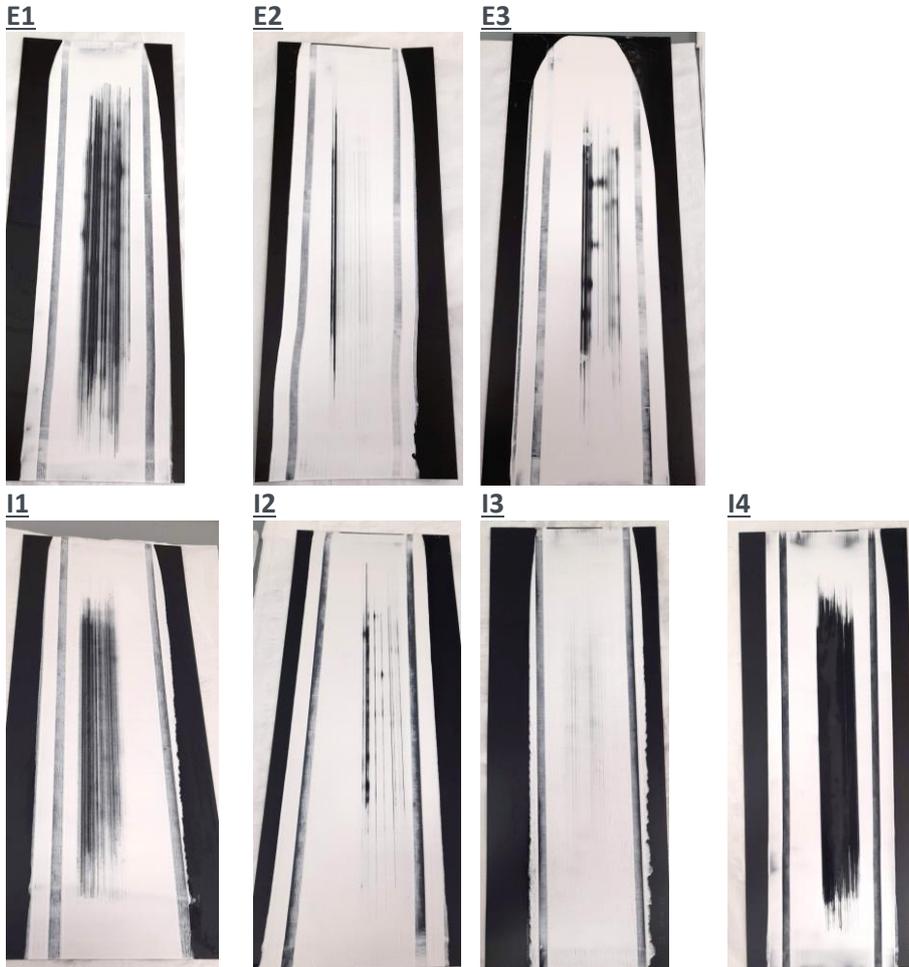


Figura 11. Lenetas tras ensayo de resistencia al frote en húmedo.

Las pinturas formuladas con esferas cerámicas destinadas, tanto para su uso interior, como exterior, presentaron de forma generalizada una menor pérdida de masa tras ensayo de resistencia al frote en húmedo, frente a los estándares E3 e I4.

ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL

El método de ensayo se realiza según la norma de pinturas y barnices UNE EN 16474-2, método A, combinando ciclos de radiación y de pulverización y utilizando como fuente de radiación una lámpara de xenón. Condiciones de ensayo:

- Temperatura del cuerpo negro: 65 ± 3 °C
- Humedad relativa: 50 ± 10 %
- Irradiancia: 60 ± 2 W/m² (300-400 nm)
- Tiempo de exposición: 500 horas

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

La valoración en este caso se realiza con las siguientes pruebas:

- Valoración de aspecto: se evalúa la posible aparición de defectos tales como grietas, ampollas, deslaminación...
- Variación de color. Medidas con colorímetro antes y después del envejecimiento.

Los recubrimientos se aplicaron en soportes inertes de fibrosilicato de dimensiones 75 x 150 mm, a diferentes gramajes de aplicación, el recomendado por el fabricante y otros dos aumentando su gramaje. Se aplicaron, por tanto, gramajes de 700, 1000 y 1200 g/m² húmedos, referenciados como A, B y C respectivamente. Además, de cada gramaje se aplicados dos réplicas.

Las aplicaciones y los gramajes aplicados reales tanto en húmedo como en seco de los diferentes recubrimientos se recogen en la Tabla 6. Previo a su aplicación, los sustratos se prepararon, retirando la posible deposición de polvo, empleando para ello, aire comprimido. En las referencias E1 y E2 fue necesaria la dilución con agua, siguiendo las recomendaciones de aplicación de los fabricantes. Se aplicaron varias capas, dejando secar entre ellas un mínimo de 6 horas y lijando suavemente la superficie con una lija de grano fino entre capa y capa, para mejorar su adherencia.

Tabla 6. Muestras para ensayo de envejecimiento artificial.

Referencia		% dilución agua	Gramaje húmedo aplicado (g/m ²)	Gramaje seco aplicado (g/m ²)
E1	A1 (700)	10%	800	427
	A2 (700)	10%	800	427
	B1 (1000)	10%	1120	587
	B2 (1000)	10%	1102	533
	C1 (1200)	10%	1342	676
	C2 (1200)	10%	1333	693
E2	A1 (700)	10%	791	498
	A2 (700)	10%	836	551
	B1 (1000)	10%	1129	738
	B2 (1000)	10%	1129	720
	C1 (1200)	10%	1324	844
	C2 (1200)	10%	1333	836
E3	A1 (700)	-	720	533
	A2 (700)	-	729	516
	B1 (1000)	-	1076	729
	B2 (1000)	-	1013	711
	C1 (1200)	-	1227	844
	C2 (1200)	-	1209	853

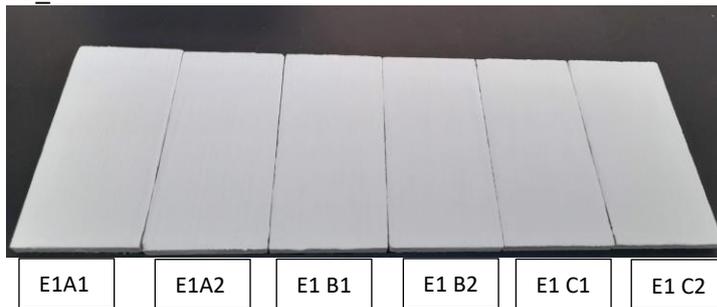
“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental



Figura 12. Recubrimientos antes de su ensayo de degradación por envejecimiento artificial.

Finalizado el periodo de exposición el aspecto de los recubrimientos se muestra a continuación.

E1_0h



E1_500h

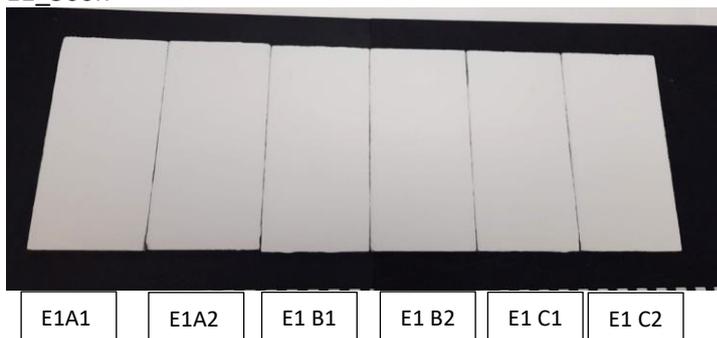


Figura 13. Aspecto del recubrimiento E1 inicialmente y tras 500h de envejecimiento artificial.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

E2_0h



E2_500h



E3_0h



E3_500h

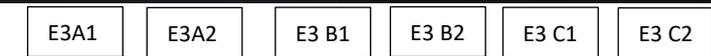


Figura 14. Aspecto del recubrimiento E2 y E3 inicialmente y tras 500h de envejecimiento artificial.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

Se observó, de forma generalizada en las probetas evaluadas, aparición de manchas marrones que, en algunos casos, migraron a la superficie de los recubrimientos.

En las muestras E2 y E3 además de las manchas por migración de alguna sustancia desde el sustrato, se observó amarilleo generalizado pero que no se consigue captar en las imágenes. No se observaron defectos tales como grietas, ampollas o deslaminación.

Se midieron las coordenadas colorimétricas del espacio CieLab inicialmente y tras 500 horas en exposición, calculando la diferencia de color ΔE .

Tabla 7. Resultados variaciones de coordenadas colorimétricas

Referencia	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
E1 A	0,01	-0,02	-1,33	1,33
E1 B	0,09	0,01	-1,35	1,35
E1 C	0,06	-0,05	-1,10	1,10
E2 A	-0,08	-0,33	2,85	2,88
E2 B	-0,48	-0,32	2,90	2,97
E2 C	-0,63	-0,31	3,30	3,37
E3 A	-0,58	-0,04	0,66	0,90
E3 B	-0,39	-0,09	0,37	0,56
E3 C	0,11	-0,03	0,15	0,26

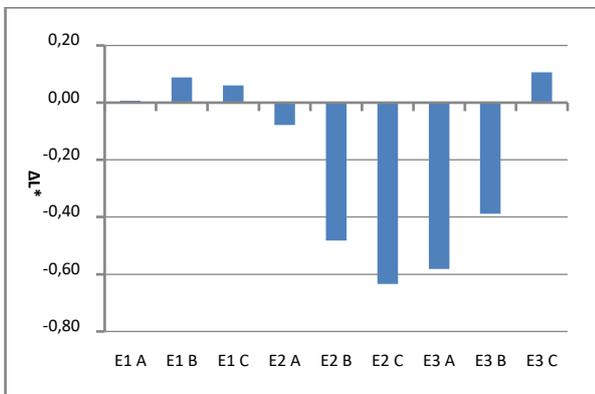


Gráfico 2. Diferencia en coordenada L* tras ensayo envejecimiento artificial.

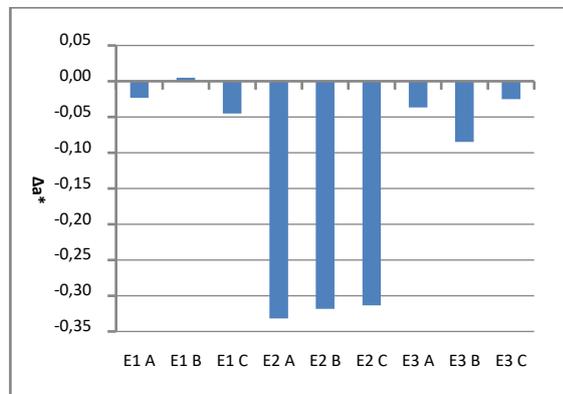


Gráfico 3. Diferencia en coordenada a* tras ensayo envejecimiento artificial.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

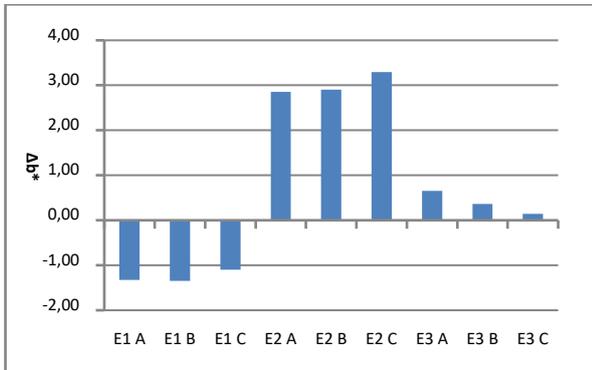


Gráfico 4. Diferencia en coordenada b* tras ensayo envejecimiento artificial.

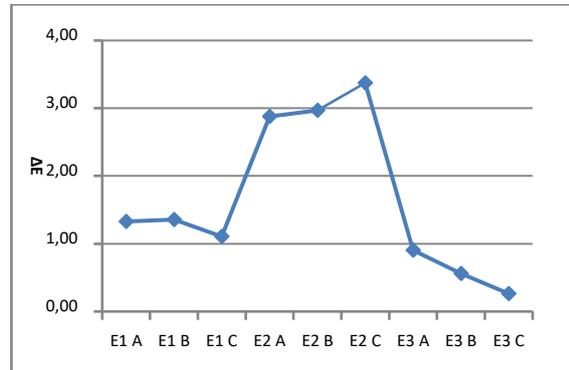


Gráfico 5. Diferencia de color ΔE tras ensayo envejecimiento artificial.

El recubrimiento estándar de exterior E3 presentó un mejor comportamiento frente al envejecimiento acelerado. Como se observó visualmente, los recubrimientos E2 y E3 presentaron un amarilleamiento del recubrimiento, especialmente en E2, como puede observarse en la coordenada b*. Valores de Δb* más positivos dan lugar recubrimientos más amarillentos. Por el contrario, valores Δb* más negativos dan lugar a cambios a colores azules. Valores de Δa* más positivos dan lugar a cambios de color rojizo y Δa* más negativos dan lugar a cambios de color verdosos. En cuanto a cambios en ΔL* más positivos, el recubrimiento torna a colores más blancos o luminosos y ΔL* más negativos, dan lugar a recubrimientos más oscuros.

SOLIDEZ A LA LUZ

Se llevó a cabo un procedimiento interno basado en la norma UNE EN 15187. Se determina la resistencia al cambio de color de los revestimientos superficiales sometidos a la acción de la luz de una lámpara de xenón, en las siguientes condiciones:

- Temperatura del panel negro: (55±3)°C.
- Irradiancia (banda ancha 300 a 800 nm): 550W/m².
- Duración del ensayo: cuando el grado 6 de la escala de azules alcance el grado 4 de la escala de grises.

En este caso la valoración de las muestras se ha realizado calculando el valor de diferencia de color, ΔE, a partir de las medidas, antes y después del ensayo, con colorímetro de las coordenadas cromáticas del espectro Cielab.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

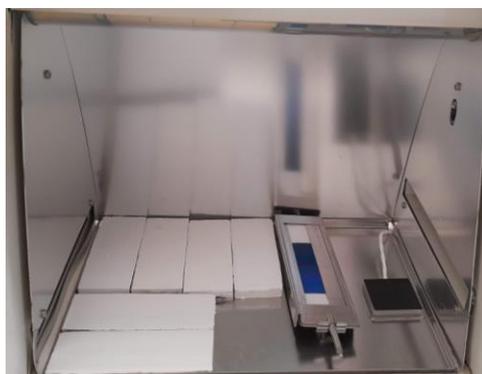


Figura 15. Probetas en el interior de la cámara de ensayo de solidez a la luz.

Los recubrimientos se aplicaron en soportes inertes de fibrosilicato de dimensiones 40 x 110 mm, a diferentes gramajes de aplicación, el recomendado por el fabricante y otros dos aumentando su gramaje. Se aplicaron, por tanto, gramajes de 700, 100 y 1200 g/m² húmedos, referenciados como A, B y C respectivamente. Además, de cada gramaje se aplicados dos réplicas.

Las aplicaciones y los gramajes aplicados reales tanto en húmedo como en seco de los diferentes recubrimientos se recogen en la Tabla 8. Previo a su aplicación, los sustratos se prepararon, retirando la posible deposición de polvo, empleando para ello, aire comprimido. En las referencias I1 e I3 fue necesaria la dilución con agua, siguiendo las recomendaciones de aplicación de los fabricantes. Se aplicaron las manos necesarias, dejando secar entre ellas un mínimo de 6 horas y lijando suavemente la superficie con una lija de grano fino entre capa y capa, para mejorar su adherencia.

Tabla 8. Muestras para ensayo de solidez a la luz.

Referencia	Aplicaciones (g/m ²)	% agua	Gramaje húmedo aplicado (g/m ²)	Gramaje seco aplicado (g/m ²)
I1	A (700)	10%	750	364
	B (1000)	10%	1023	523
	C (1200)	10%	1318	691
I2	A (700)	-	750	363
	B (1000)	-	1068	591
	C (1200)	-	1227	682
I3	A (700)	10%	864	523
	B (1000)	10%	1136	727
	C (1200)	10%	1341	841
I4	A (700)	-	795	363
	B (1000)	-	1000	545
	C (1200)	-	1159	652

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

El aspecto de las muestras una vez finalizado el ensayo se observan en las Figura 16 a Figura 19, y las variaciones de las coordenadas colorimétricas y la diferencia de color se recogen en la Tabla 9.

I1_inicial



I1A I1B I1C

I2_inicial



I2A I2B I2C

I1_final



I1A I1B I1C

I2_final



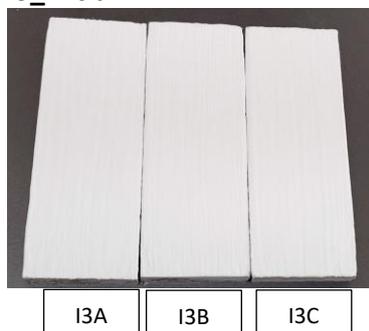
I2A I2B I2C

Figura 16. Aspecto del recubrimiento I1 inicialmente y tras ensayo de solidez a la luz.

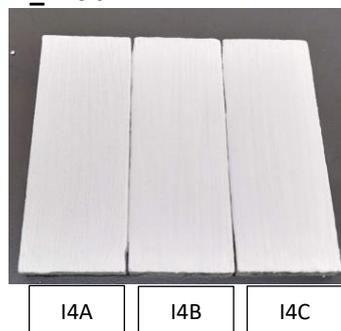
Figura 17. Aspecto del recubrimiento I2 inicialmente y tras ensayo de solidez a la luz.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

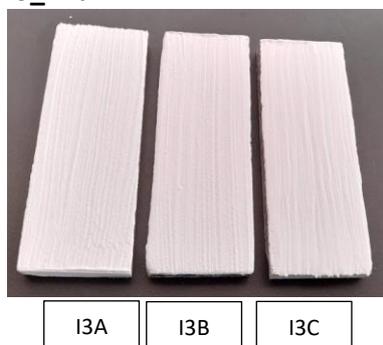
I3_inicial



I4_inicial



I3_final



I4_final

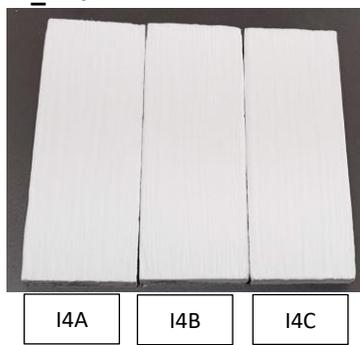


Figura 18. Aspecto del recubrimiento I3 inicialmente y tras ensayo de solidez a la luz.

Figura 19. Aspecto del recubrimiento I4 inicialmente y tras ensayo de solidez a la luz.

Tabla 9. Resultados variaciones de coordenadas colorimétricas tras ensayo de solidez a la luz de los recubrimientos I1, I2, I3 e I4.

Referencia	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
I1 A	0,24	-0,12	-0,67	0,72
I1 B	0,07	-0,04	-0,46	0,47
I1 C	0,10	-0,13	-0,71	0,73
I2 A	-0,22	-0,12	0,52	0,58
I2 B	-0,39	-0,02	0,52	0,65
I2 C	0,30	-0,05	0,16	0,35
I3 A	0,13	-0,18	0,16	0,28
I3 B	0,03	-0,13	0,10	0,17
I3 C	-0,06	-0,18	0,15	0,24
I4 A	0,24	-0,22	0,28	0,43
I4 B	0,22	-0,23	0,26	0,41
I4 C	0,28	-0,23	0,22	0,42

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

En los gráficos siguientes se observan las diferencias de las coordenadas colorimétricas $L^*a^*b^*$ y la diferencia de color obtenida tras finalizar ensayo de solidez a la luz. De forma generalizada se obtuvieron diferencias de color menores de uno, es decir, valores difícilmente perceptibles por el ojo humano. Se observó que los diferentes gramajes aplicados en un mismo recubrimiento son independientes de las degradaciones que sufren los recubrimientos. Los recubrimientos I2, I3 e I4 amarillearon ligeramente, observando valores positivos en los valores Δb^* . Aun obteniendo buenos resultados de forma generalizada, el recubrimiento I3 presentó una menor degradación de la superficie.

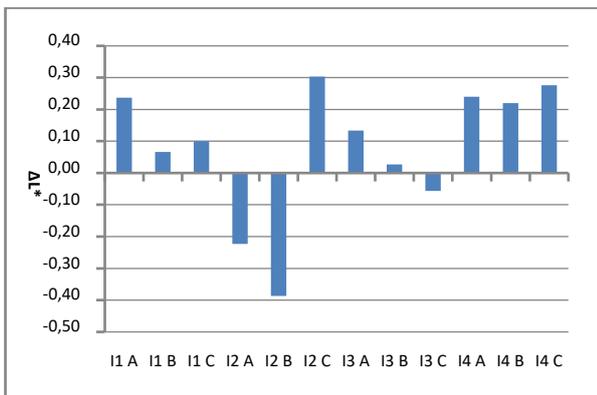


Gráfico 6. Diferencia en coordenada L^* tras ensayo de solidez a la luz.

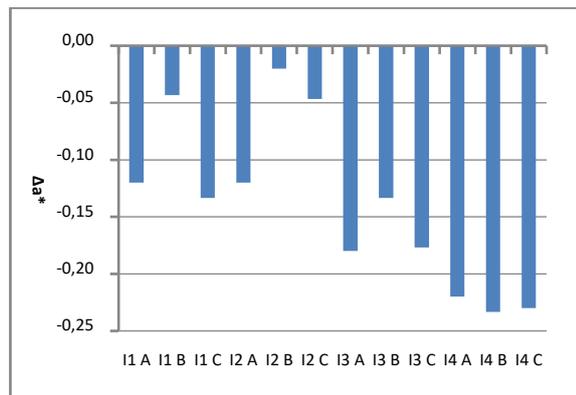


Gráfico 7. Diferencia en coordenada a^* tras ensayo de solidez a la luz.

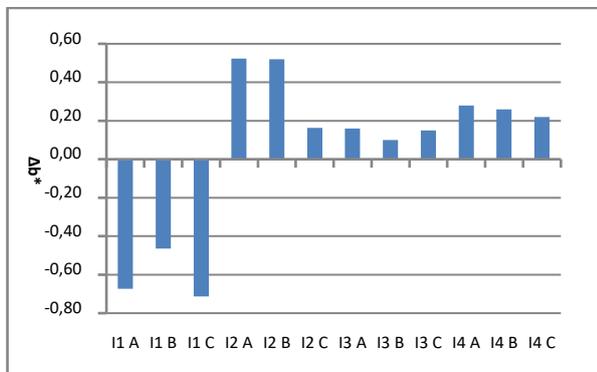


Gráfico 8. Diferencia en coordenada b^* tras ensayo de solidez a la luz.

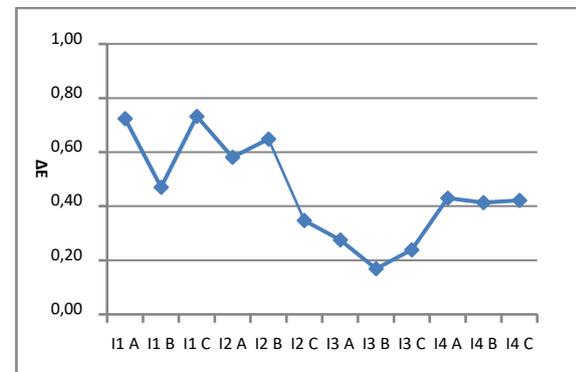


Gráfico 9. Diferencia de color ΔE tras ensayo de solidez a la luz.

RESISTENCIA A LOS CAMBIOS BRUSCOS DE TEMPERATURA (COLD CHECK)

Se llevó a cabo un procedimiento interno basado en la norma UNE 48025. En una cámara automática para ensayos de envejecimiento, se someten las probetas a 40 ciclos, consistente cada uno en:

- 1 hora a $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$
- 1 hora a $(-20 \pm 1)^\circ\text{C}$
- 15 minutos a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

Tras los 40 ciclos se examinan las muestras en busca de aparición de indicios de deterioros superficiales del acabado (grietas, velados, pérdida de adherencia, etc.).

Los recubrimientos se aplicaron en soportes inertes de fibrosilicato de dimensiones 230 x 330 mm, con un gramaje aplicado recomendado por el fabricante, 700 g/m² húmedos aproximadamente. Las aplicaciones y los gramajes aplicados reales tanto en húmedo como en seco de los diferentes recubrimientos se recogen en la Tabla 10. Previo a su aplicación, los sustratos se prepararon, retirando la posible deposición de polvo, empleando para ello, aire comprimido. En las referencias I1, I3, E1 Y E2 fue necesaria la dilución con agua, siguiendo las recomendaciones de aplicación de los fabricantes. Se aplicaron las manos necesarias, dejando secar entre ellas un mínimo de 6 horas y lijando suavemente la superficie con una lija de grano fino entre capa y capa, para mejorar su adherencia.

Tabla 10. Muestras de los recubrimientos para su evaluación de ensayo coldcheck.

Referencia	% agua	Gramaje húmedo aplicado (g/m ²)	Gramaje seco aplicado (g/m ²)
I1	10%	812	409
I2	-	733	470
I3	10%	894	545
I4	-	719	455
E1	10%	796	436
E2	10%	839	532
E3	-	848	561

Finalizado el ensayo, no se observó ningún defecto sobre la superficie de las muestras ensayadas. No tuvo lugar cuarteamientos, ni grietas, ampollas ni cambios de color y/o brillo visualmente perceptibles.

EVALUACIÓN MICROBIOLÓGICA

Con el objetivo de evaluar si la presencia de esferas cerámicas huecas en las pinturas aportan un comportamiento antibacteriano al recubrimiento, se realizaron ensayos microbiológicos. Se seleccionaron para su evaluación una pintura térmica de interior, I2, y una pintura térmica de exterior, E2. Se seleccionaron únicamente dos recubrimientos por ser representativos del resto, ya que todos ellos presentan aditivados esferas cerámicas huecas.

Las muestras se estudian mediante el método de ensayo de la norma ISO 22196. El valor R representa la actividad antibacteriana de las superficies evaluadas frente a un control interno (sustrato sin recubrimiento) ensayadas con las especies bacterianas Escherichia coli y MRSA.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental



Figura 20. Ensayo microbiológico. Inoculación de bacterias sobre recubrimiento de ensayo.

- Según la bibliografía una reducción logarítmica $R < 2$ es considerado como una actividad antimicrobiana insuficiente.
- Una reducción logarítmica $2 < R < 3$ una actividad antimicrobiana significativa.
- Una reducción logarítmica $R > 3$ una actividad antimicrobiana fuerte.

A continuación, se muestran los resultados de los valores de R y del porcentaje de reducción bacteriana para cada recubrimiento, Tabla 11, y su evaluación cualitativa, Tabla 12.

Tabla 11. Porcentajes de reducción de la población bacteriana.

Referencia	<i>Escherichia coli</i>		MRSA	
	R	% Reducción	R	% Reducción
I2	0,6	67,05	0,3	44,85
E2	0,5	53,27	0,3	40,47

Tabla 12. Resultados comportamiento microbiológico cualitativos.

Referencia	ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA	
	<i>Escherichia coli</i>	MRSA
I2	INSUFICIENTE	INSUFICIENTE
E2	INSUFICIENTE	INSUFICIENTE

Finalizados los ensayos microbiológicos puede decirse que los recubrimientos referenciados como I2 y E2 no presentan comportamiento antibacteriano.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

A.2 Ensayos de evaluación de la inercia térmica de recubrimientos formulados con microesferas de cerámica.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Se realizó un procedimiento interno basado en la norma UNE-EN 12667:2002. La muestra se acondiciona en un ambiente de 50% de humedad relativa a 23°C hasta peso constante, antes de realizarse el ensayo de medida de conductividad térmica con un equipo NETZSCH HFM 436/3.

La muestra se coloca entre una placa caliente y otra fría, y el flujo de calor creado por una diferencia de temperatura bien definida se mide con un sensor de flujo de calor.

El instrumento se calibra con un estándar de referencia certificado (estándar 1450c) procedente del National Institute of Standards & Technology (NIST) de conductividad térmica conocida, estableciendo la correlación precisa entre la señal de salida de los transductores y el flujo de calor existente. La conductividad térmica se calcula una vez que se cumplen los criterios de equilibrio establecidos. La diferencia de temperatura promedio entre la placa caliente y fría ha sido de 20 °C.

Los recubrimientos se aplicaron en soportes inertes de fibrosilicato de dimensiones 230 x 300 mm, a diferentes gramajes de aplicación, el recomendado por el fabricante y otros dos aumentando su gramaje. Se aplicaron, por tanto, gramajes de 700, 100 y 1200 g/m² húmedos, referenciados como A, B y C respectivamente.

Las aplicaciones y los gramajes aplicados reales tanto en húmedo como en seco de los diferentes recubrimientos se recogen en la Tabla 13. Las referencias I1, I3, E1 y E2 fue necesaria la dilución con agua, siguiendo las recomendaciones de aplicación de los fabricantes. Se aplicaron las manos necesarias, dejando secar entre ellas un mínimo de 6 horas y lijando suavemente la superficie con una lija de grano fino entre capa y capa, para mejorar su adherencia.

Tabla 13. Muestras para ensayo de conductividad térmica.

Referencia	Aplicaciones (g/m ²)	% agua	Gramaje húmedo aplicado (g/m ²)	Gramaje seco aplicado (g/m ²)
I1	A (700)	10%	807	386
	B (1000)	10%	1104	494
	C (1200)	10%	1349	554
I2	A (700)	-	735	484
	B (1000)	-	991	633
	C (1200)	-	1204	775
I3	A (700)	10%	810	494
	B (1000)	10%	1109	683
	C (1200)	10%	1400	861



“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

Referencia	Aplicaciones (g/m ²)	% agua	Gramaje húmedo aplicado (g/m ²)	Gramaje seco aplicado (g/m ²)
I4	A (700)	-	728	480
	B (1000)	-	1013	628
	C (1200)	-	1230	759
E1	A (700)	10%	793	443
	B (1000)	10%	1130	622
	C (1200)	10%	1364	783
E2	A (700)	10%	835	533
	B (1000)	10%	1029	675
	C (1200)	10%	1342	859
E3	A (700)	-	723	590
	B (1000)	-	980	696
	C (1200)	-	1275	986

En la Tabla 14 se recoge la conductividad térmica y resistencia térmica, tanto del sustrato de fibrocemento empleado, para conocer en qué medida contribuye la pintura térmica al conjunto de la muestra, como de todas las referencias estudiadas.

Tabla 14. Resultados de conductividad térmica.

REFERENCIA	Temperatura media (°C)	Espesor (cm)	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica (W/(m·K))	Resistencia térmica (m ² ·K/W)
E1A	10	1,0669	1147	0,13	0,08
E1B	10	1,0825	917	0,13	0,08
E1C	10	1,0835	915	0,11	0,10
E2A	10	1,0715	907	0,12	0,08
E2B	10	1,0753	911	0,12	0,08
E2C	10	1,1091	891	0,13	0,09
E3A	10	1,0305	943	0,12	0,09
E3B	10	1,0741	905	0,13	0,09
E3C	10	1,0673	945	0,13	0,08
I1A	10	1,0461	892	0,12	0,09
I1B	10	1,0794	877	0,12	0,09
I1C	10	1,0981	864	0,12	0,09
I2A	10	1,0291	954	0,13	0,08
I2B	10	1,0547	964	0,12	0,09

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

REFERENCIA	Temperatura media (°C)	Espesor (cm)	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica (W/(m·K))	Resistencia térmica (m ² ·K/W)
I2C	10	1,0625	935	0,12	0,09
I3A	10	1,0579	947	0,12	0,09
I3B	10	1,0765	963	0,13	0,09
I3C	10	1,0829	946	0,12	0,09
I4A	10	1,0301	946	0,13	0,08
I4B	10	1,0313	932	0,13	0,08
I4C	10	1,0455	935	0,14	0,08
Blanco (fibrosilicato 10 mm)	10	0,9865	906	0,12	0,08

Los valores obtenidos de conductividad térmica no muestran diferencias significativas entre muestras. Seguramente, el espesor aplicado no es el suficiente como para que la conductividad térmica del sistema se vea afectada. Se determinó la conductividad térmica del sustrato inerte empleado, obteniendo un valor de 0,12 W/(m·K), siendo, tanto los valores de los recubrimientos térmicos aislantes, como los estándares, similares o ligeramente superiores. Además, aplicar un mayor gramaje, tampoco da lugar a una mejora de las propiedades térmicas.

Se conoce que, al aumentar la presencia de huecos, se reduce la conductividad térmica. Sin embargo, a partir de ciertos valores, este aumento puede degradar la integridad mecánica debido a la disminución de la cohesión entre las partículas. En la bibliografía, se observó que la utilización de esferas cerámicas de tamaño medio de 100 µm, da lugar a cavidades intersticiales que oscilan entre 10 y 115 µm. El uso de esferas de cerámica tamizadas, con un tamaño < 100 µm, ocasionan cavidades intersticiales entre 5 y 60 µm. El equilibrio entre los componentes de la formulación, resina, agua y cargas inorgánicas permite alcanzar una porosidad con efectos positivos sobre las propiedades de barrera térmica del revestimiento [4].

RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE

En este ensayo se evalúa las pequeñas desviaciones verticales de la superficie nominal que vienen normalmente determinadas por las características del material o por las aportadas por el propio recubrimiento. Para ello, se utilizó un rugosímetro de superficie marca Mitutoyo (ISO 1997), Figura 21, a partir del cual, se obtienen unos parámetros R_a y R_z, que proporcionan la profundidad media de los valores absolutos de las desviaciones y el valor medio de las desviaciones de una longitud específica de la superficie, respectivamente.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental



Figura 21. Equipo medición de la rugosidad superficial, concretamente se observa el palpador.

Es conocido que el reflejo en superficies más lisas da lugar a un tipo de reflexión conocido como reflexión especular. En cambio, la reflexión en superficies rugosas da lugar a un tipo de reflexión conocido como reflexión difusa. El hecho de que la superficie sea microscópicamente rugosa o lisa influye enormemente en la reflexión posterior de un haz de luz [10]. Este comportamiento está estrechamente relacionado con el calentamiento de las superficies, por lo que superficies lisas, reflejarán una mayor radiación infrarroja, y las superficies rugosas, por el contrario, presentan una menor capacidad reflectiva, siendo susceptibles a un mayor calentamiento de la superficie.

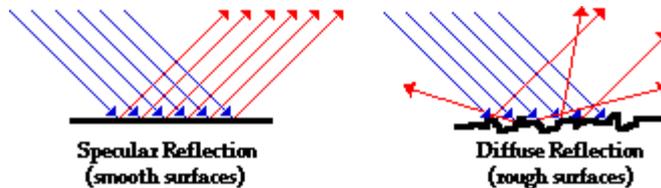


Figura 22. Reflectancia especular y difusa [10].

Las mediciones se realizaron sobre las muestras aplicadas para su medición de las propiedades de conductividad térmica, Tabla 13.

En la Tabla 15 y Gráfico 10 se muestran los resultados obtenidos. Las referencias estándar E3 e I4 presentan las superficies más lisas. Respecto de las muestras aditivadas con esferas de cerámica, la referencia I3 presentó una superficie menos rugosa, seguido de las referencias E1 y E2. Las superficies más rugosas fueron las correspondientes a las referencias I1 e I2.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

Tabla 15. Resultados de parámetros de rugosidad Ra y Rz.

Referencia		R _A (μm)	Desviación estándar (μm)	R _Z (μm)	Desviación estándar (μm)
E1	A	9,11	1,45	50,57	5,96
	B	11,22	1,52	68,84	10,20
	C	9,28	1,35	51,63	7,06
E2	A	11,79	2,27	62,92	13,56
	B	10,02	13,86	57,23	13,86
	C	7,94	1,66	44,23	8,80
E3	A	1,49	0,29	9,97	3,26
	B	1,11	0,76	7,22	0,76
	C	1,97	4,28	12,49	4,28
I1	A	12,28	1,10	73,82	4,58
	B	11,60	1,29	59,43	13,79
	C	11,13	2,69	61,78	11,25
I2	A	13,68	3,00	70,54	15,47
	B	10,41	29,58	63,39	29,58
	C	11,87	11,23	64,01	11,23
I3	A	6,85	2,87	35,83	11,21
	B	8,75	2,89	41,48	11,21
	C	7,88	1,54	39,20	6,53
I4	A	1,15	0,15	8,47	1,44
	B	1,10	0,19	6,01	2,56
	C	1,11	0,15	7,34	0,95

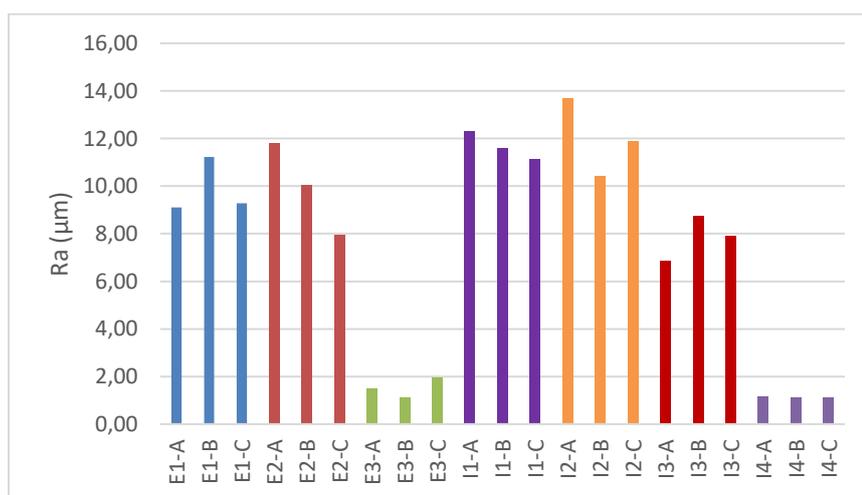


Gráfico 10. Parámetros de rugosidad Ra.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

RESISTENCIA A LA TEMPERATURA INTERIOR

Se realizó una búsqueda bibliográfica sobre la evaluación de propiedades térmicas de pinturas formuladas a partir de esferas de cerámica, u otros aditivos adicionados con capacidades aislantes.

Por ejemplo, en el artículo [11], estudiaron las propiedades térmicas de un revestimiento en base acuosa, formulado con material conocido por sus buenas propiedades aislantes, aerogel de sílice en polvo (con una conductividad térmica de 0,025 W/mK). Evaluaron, frente a una referencia estándar, el sus propiedades aislantes térmicas. Para ello, diseñaron un método de ensayo que consistió en calentar unas placas de cemento, recubiertas de las pinturas a estudiar. La temperatura de la placa la ajustaron a 60°C, y se registró la temperatura de las dos caras, la expuesta a la temperatura y la no expuesta, de las muestras de pintura empleando termómetros digitales.



Figura 23. Ensayo de evaluación de propiedades térmicas [11].

En este mismo estudio, también se realizó una prueba de simulación de aislamiento térmico. Diseñaron un equipo como el que se observa en la Figura 24, en el cual simularon la exposición de la luz solar con una lámpara de infrarrojos de 300 W de potencia, irradiada directamente sobre parte delantera de las muestras. Registraron con un termómetro infrarrojo la temperatura de la superficie de la pintura, y con un termómetro digital la temperatura del interior de la cámara.

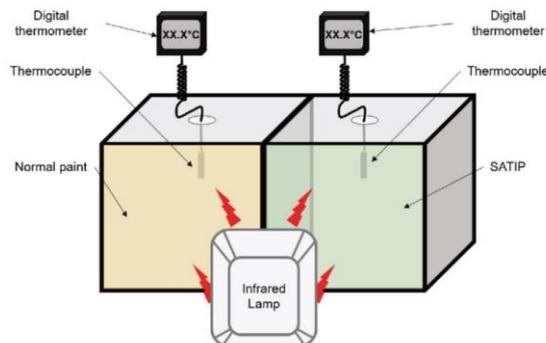


Figura 24. Esquema del diseño del equipo empleado para la determinación del aislamiento térmico [11].

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

Continuando con la búsqueda bibliográfica, en el artículo [6], estudiaron el rendimiento térmico y la reflectancia de pinturas acrílicas aditivadas con diferentes pigmentos inorgánicos. Para ello, diseñaron una cámara de ensayo, Figura 25. Las pinturas aplicadas sobre paneles de cemento se expusieron a una lámpara halógena, con una irradiancia de 750 y 800 W/m², colocada a una distancia de 60 cm de la superficie. Registraron las temperaturas de la superficie exterior, la superficie interior y en el interior de la caja, mediante el uso de sondas de temperaturas. En el estudio, calentaban la superficie de la pintura hasta una temperatura de 50-55°C, simulando una exposición real en un tejado en verano en la región tropical.

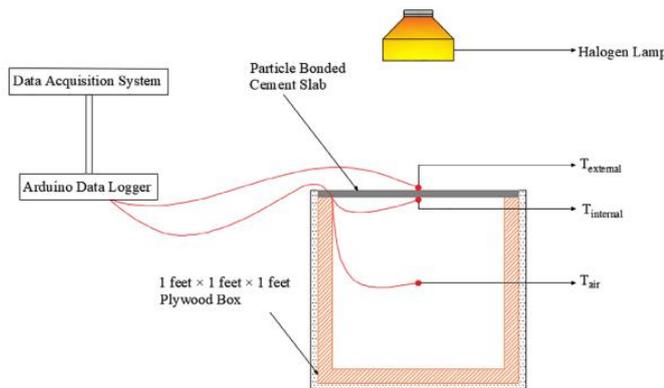


Figura 25. Esquema de cámara de ensayo para evaluar la capacidad aislante [6].

Debido a la falta de un procedimiento normalizado para la evaluación de las propiedades aislantes, en pinturas destinadas tanto para su uso en interior de viviendas, como en la parte envolvente del edificio, se ha establecido un método reproducible a partir de la información obtenida de la bibliografía.

En primer lugar, se diseñó y fabricó el equipo para llevar a cabo la medición de la capacidad aislante de los recubrimientos. Además, se han establecido unas condiciones de ensayo que permite evaluar comparativamente los recubrimientos.

La cámara de ensayo se fabricó de madera contrachapada con unas dimensiones de 300 x 230 x 230 mm, revestida por los laterales y por la parte inferior de láminas de poliestireno grafitado, Figura 26. Las láminas de fibrosilicato se colocan en la parte superior creando una cámara cerrada que simula el ambiente interior de un edificio. La superficie pintada de las muestras quedará expuesta y se irradiará con una lámpara de 250 W BR 125 infrarroja marca Philips, simulando el revestimiento exterior de un edificio expuesto a la luz solar.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental



Figura 26. Cámara de ensayo de resistencia a la temperatura interior RTI.

Se registrará la temperatura en tres puntos del montaje, uno en la cara expuesta irradiada por el foco (T_{ext}), otro en la superficie de la cara no expuesta (T_{int}), y otro en el interior de la cámara (T_{aire}). Las temperaturas de la cara expuesta y no expuesta de la muestra se midieron empleando una sonda de temperatura GreenTeg y la temperatura del interior de la cámara mediante un termómetro digital TR-72wf, Figura 27.

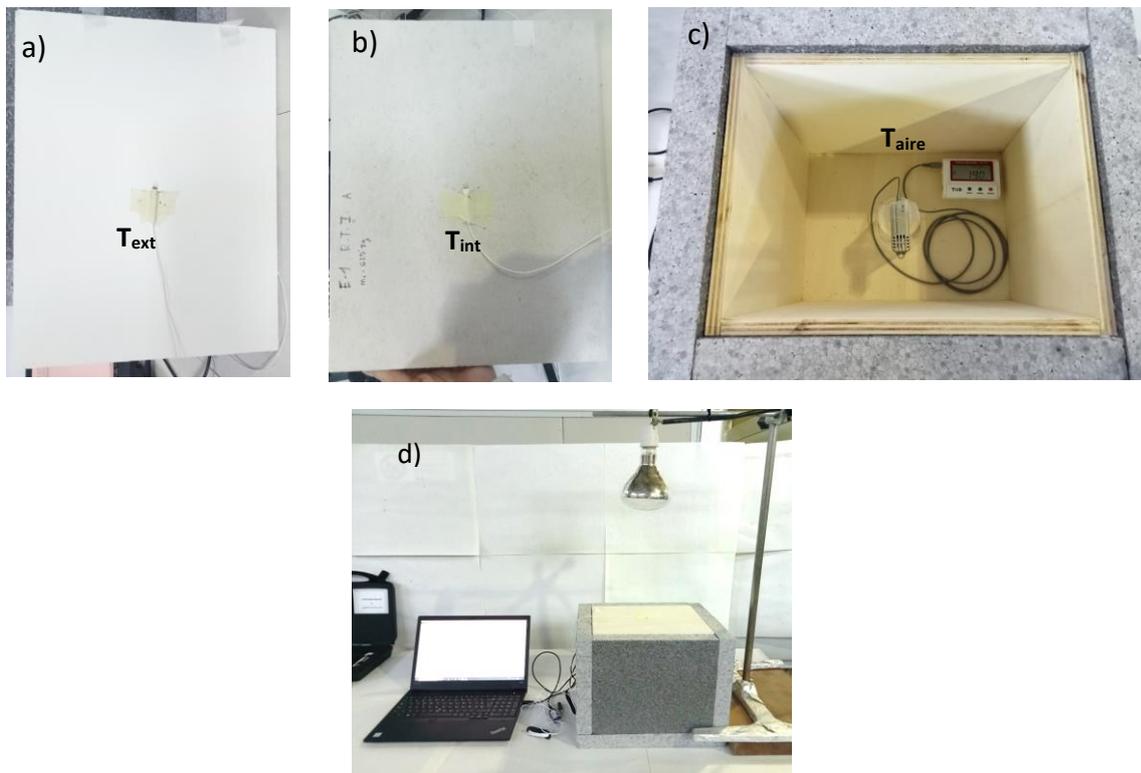


Figura 27. Colocación de sonda en cara expuesta (a), cara no expuesta (b), interior de la cámara (c) y montaje de ensayo.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

Se realizan dos ciclos de ensayo, el primero de irradiación, donde tendrá lugar un calentamiento del revestimiento. Posteriormente, se apagará el foco, teniendo lugar el enfriamiento de la superficie. Los tiempos de calentamiento y enfriamiento de las muestras se establecieron a partir de una lámina de fibrosilicato sin revestir. Se estudió tanto la distancia del foco, como el tiempo de exposición, para alcanzar una estabilidad térmica de 50 – 55°C. Definidos estos parámetros, se siguió el mismo procedimiento para el estudio comparativo del resto de muestras. El ensayo se realizó en una sala a temperatura ambiente.

Se realizaron un total de 9 ensayos variando la distancia entre el foco y muestra, registrando su temperatura en la cara expuesta, Tabla 16. Se estableció una distancia de 30 cm entre la muestra y el foco, alcanzando tras 25 min de exposición una estabilidad térmica entorno a 52°C, que corresponden a la Prueba 2. En el Gráfico 11 se observa el perfil de temperaturas registrado en las condiciones establecidas, donde se observa que, a partir de los 30 min, tiene lugar un periodo de estabilidad térmica, en el cual la velocidad de aumento de la temperatura es muy baja.

Tabla 16. Ensayos puesta a punto método de resistencia a la temperatura interior.

Prueba	Distancia del foco (mm)	Tiempo periodo exposición (min)	Temperatura estacionaria en cara expuesta (°C)
1*	25	15	55,0
2	30	30	52,0
3	31,5	45	50,0
4	33,5	47	52,0
5	35	65	48,0
6	38	63	45,0
7	42	62	40,6
8	46	45	38,6
9	50	50	34,6

*El ensayo se finaliza sin alcanzar una temperatura estacionaria, debido a que se supera el rango de temperaturas establecido 50 – 55°C.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental



Figura 28. Ensayo de resistencia a la temperatura interior (izquierda) y detalle de la superficie expuesta (derecha).

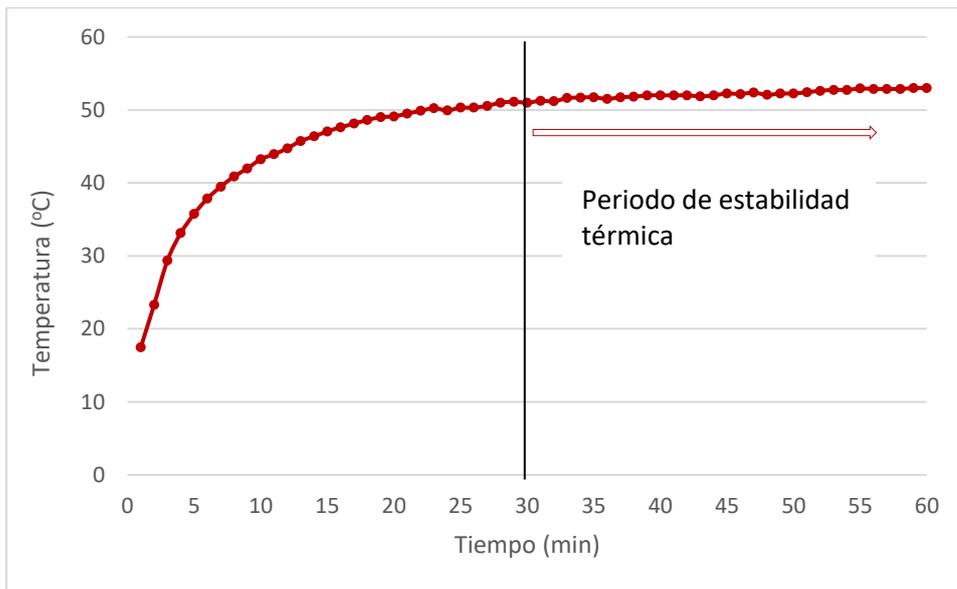


Gráfico 11. Perfil de temperatura registrada en la cara expuesta a una distancia de 30 cm entre muestra y foco, PRUEBA 2.

Por lo tanto, los parámetros establecidos y definidos para evaluar la capacidad térmica de las pinturas fueron:

- Etapa de exposición o calentamiento: 30 min
- Etapa de no exposición o enfriamiento: 30 min
- Distancia entre muestra y foco: 30 cm

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

Los recubrimientos a estudiar se aplicaron en soportes inertes de fibrosilicato de dimensiones 230 x 300 mm, a diferentes gramajes de aplicación, el recomendado por el fabricante y otros dos aumentando su gramaje. Se aplicaron, por tanto, gramajes de 700, 100 y 1200 g/m² húmedos, referenciados como A, B y C respectivamente.

Las aplicaciones y los gramajes aplicados reales tanto en húmedo como en seco de los diferentes recubrimientos se recogen en la Tabla 17. El procedimiento de aplicación seguido fue el mismo que el descrito en ensayos anteriores.

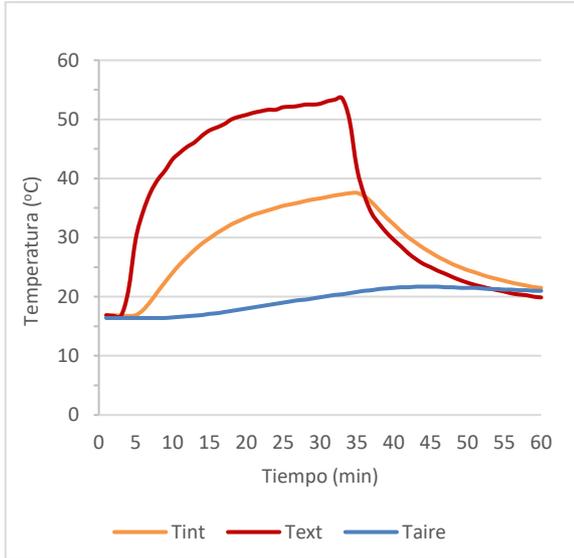
Tabla 17. Muestras para ensayo de resistencia a la temperatura interior.

Pintura	Aplicaciones (g/m ²)	% agua	Gramaje húmedo aplicado (g/m ²)	Gramaje seco aplicado (g/m ²)
I1	A (700)	10%	812	409
	B (1000)	10%	1045	516
	C (1200)	10%	1110	641
I2	A (700)	-	733	470
	B (1000)	-	1062	687
	C (1200)	-	1212	780
I3	A (700)	10%	894	545
	B (1000)	10%	1161	720
	C (1200)	10%	1358	833
I4	A (700)	-	719	455
	B (1000)	-	1013	678
	C (1200)	-	1225	768
E1	A (700)	10%	796	436
	B (1000)	10%	1129	614
	C (1200)	10%	1345	967
E2	A (700)	10%	839	532
	B (1000)	10%	1067	701
	C (1200)	10%	1346	858
E3	A (700)	-	848	561
	B (1000)	-	1006	691
	C (1200)	-	1294	880

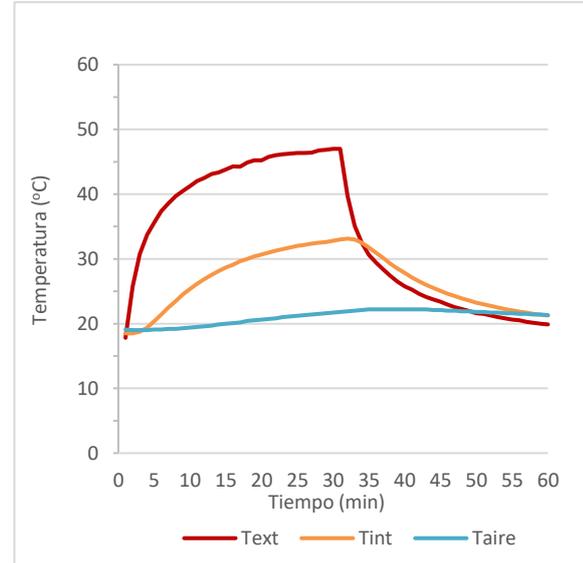
En el Gráfico 12 se observan los perfiles de temperaturas registradas correspondientes a T_{ext}, T_{int} y T_{aire} del total de las muestras especificadas en la Tabla 17.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

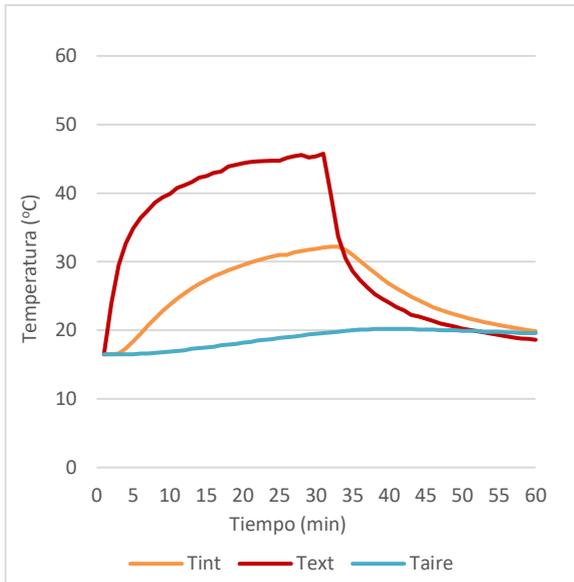
Sustrato sin aplicar



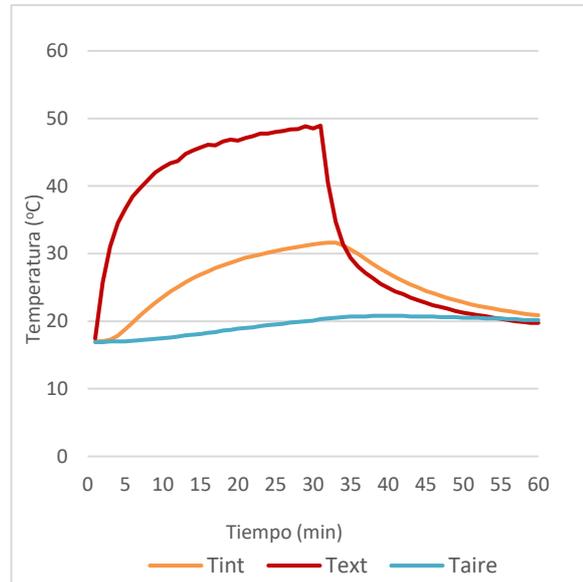
E1A



E1B

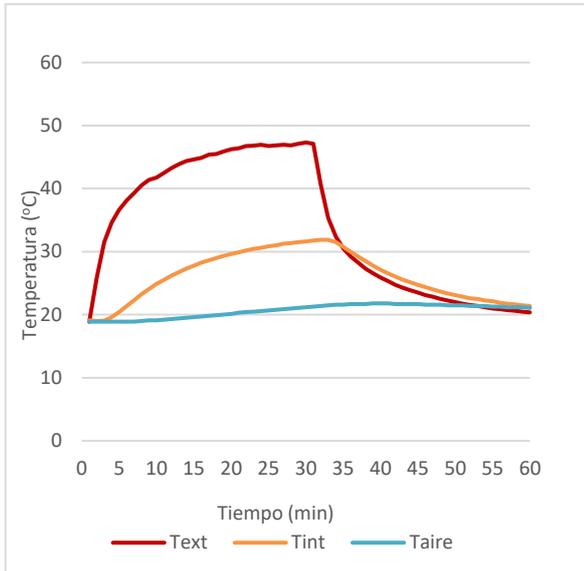


E1C

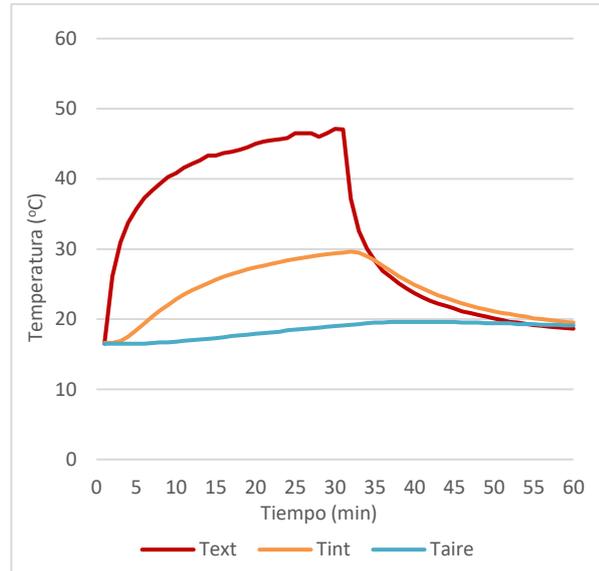


“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

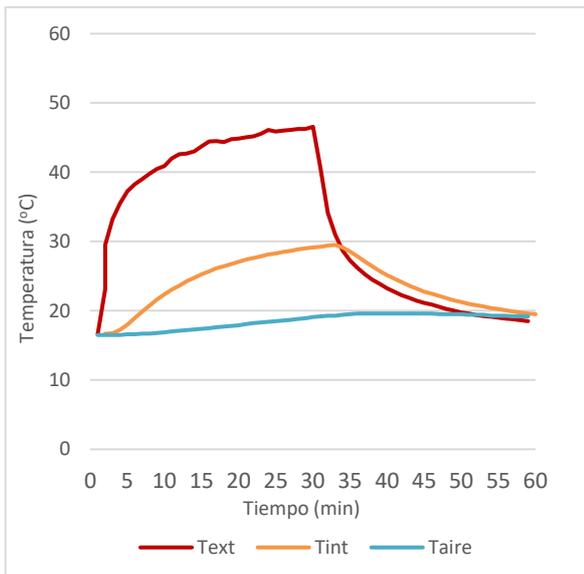
E2A



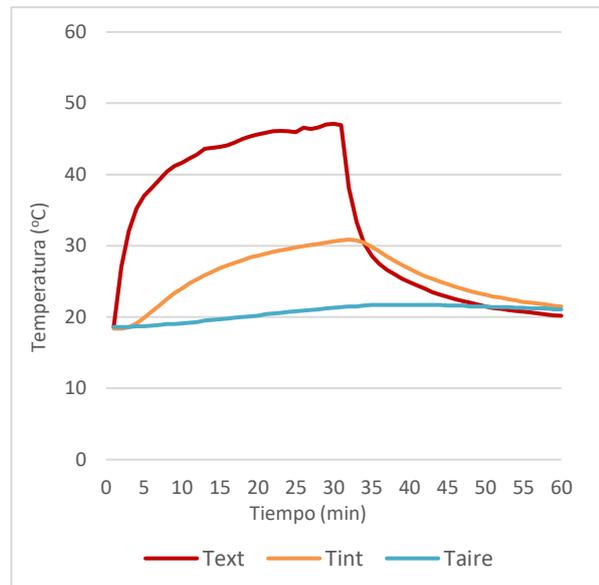
E2B



E2C

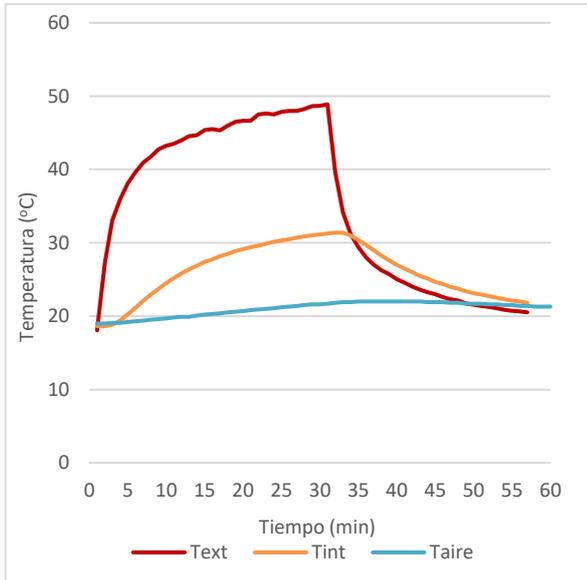


E3A

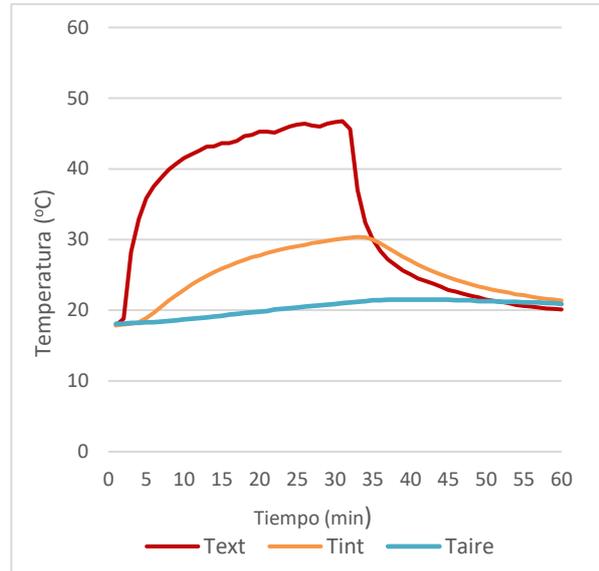


“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

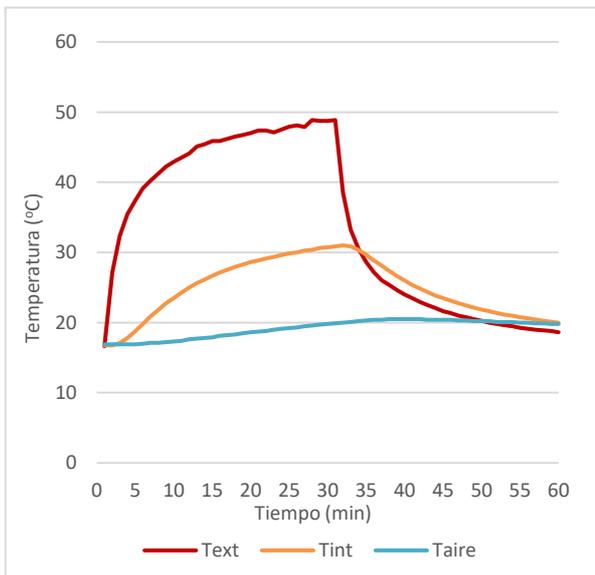
E3B



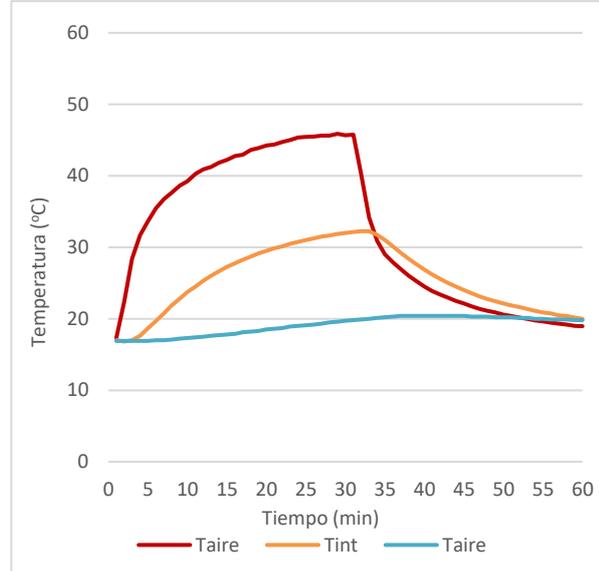
E3C



I1A

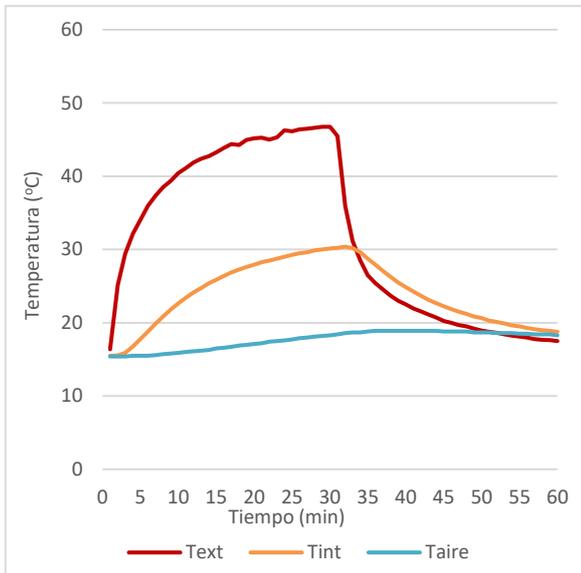


I1B

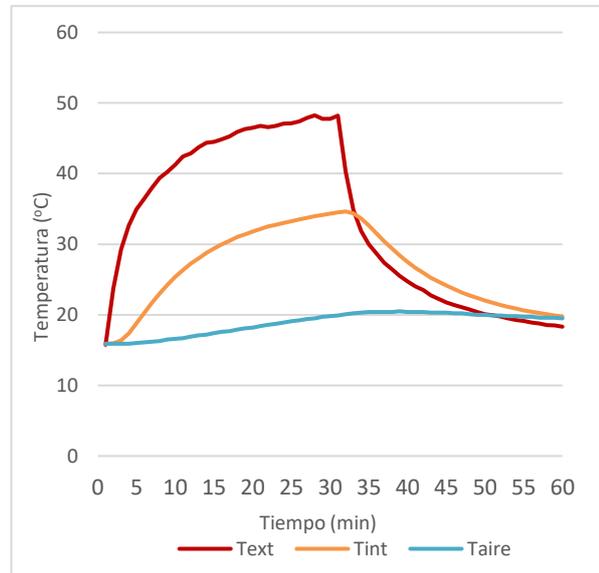


“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

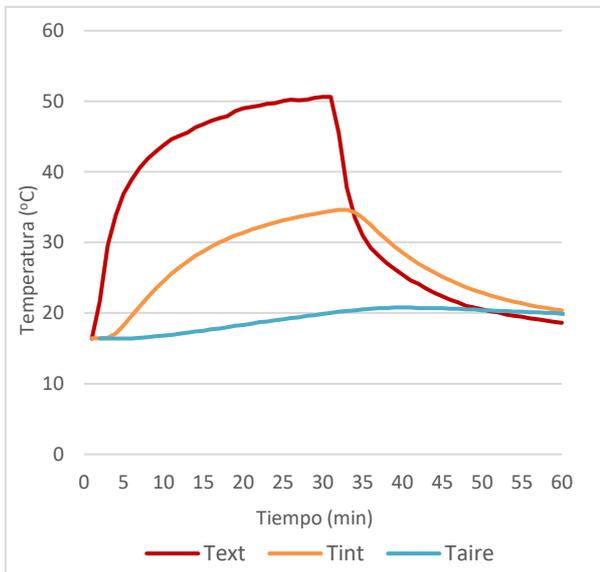
I1C



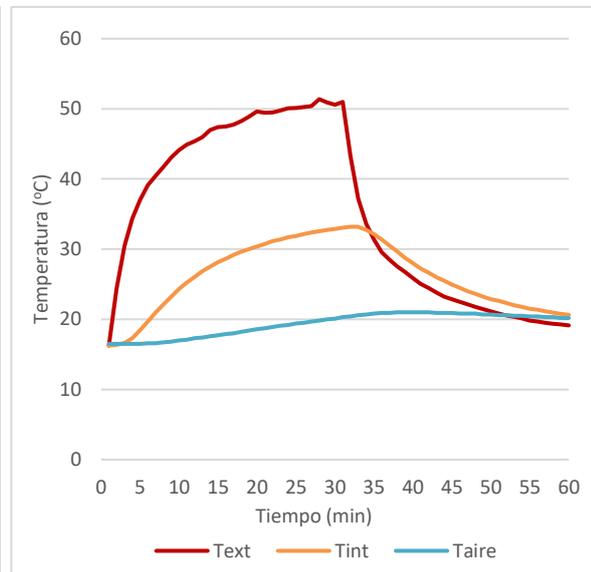
I2A



I2B

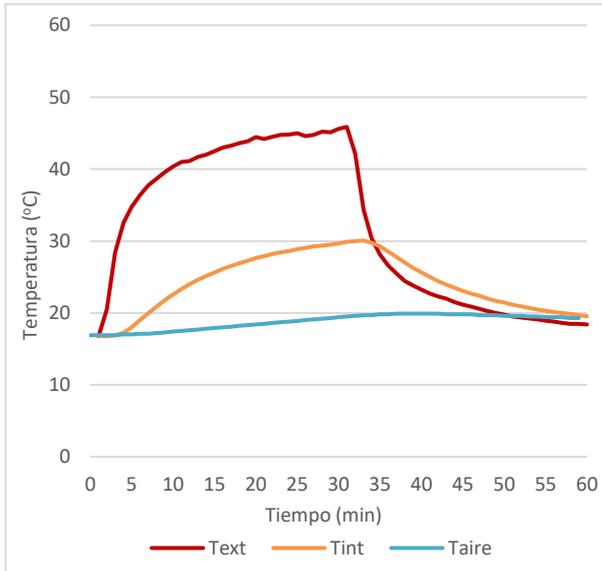


I2C

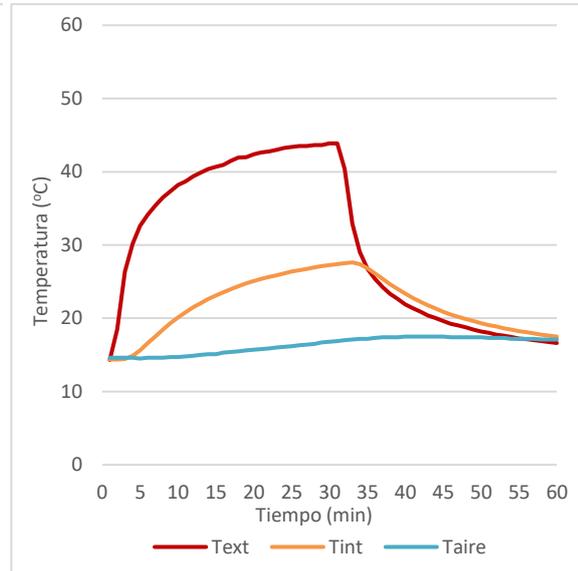


“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

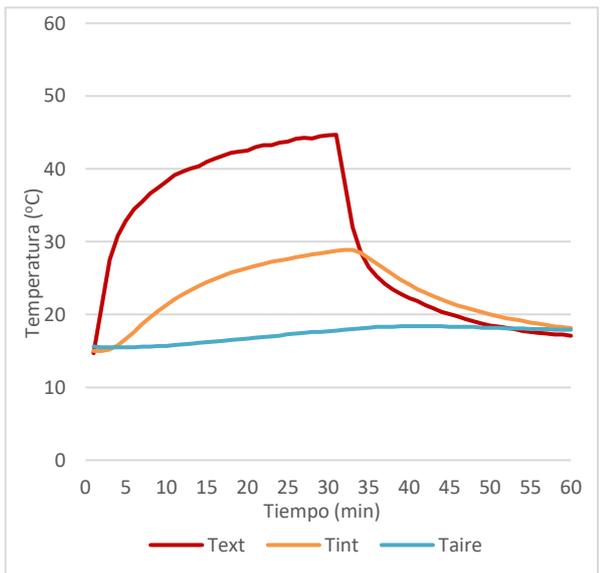
I3A



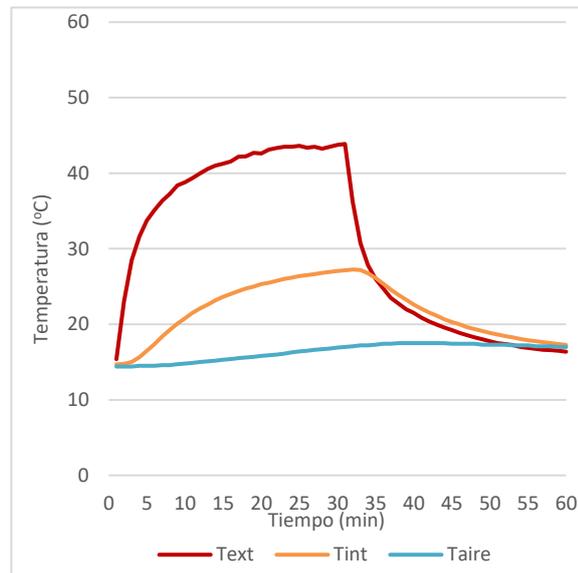
I3B



I3C

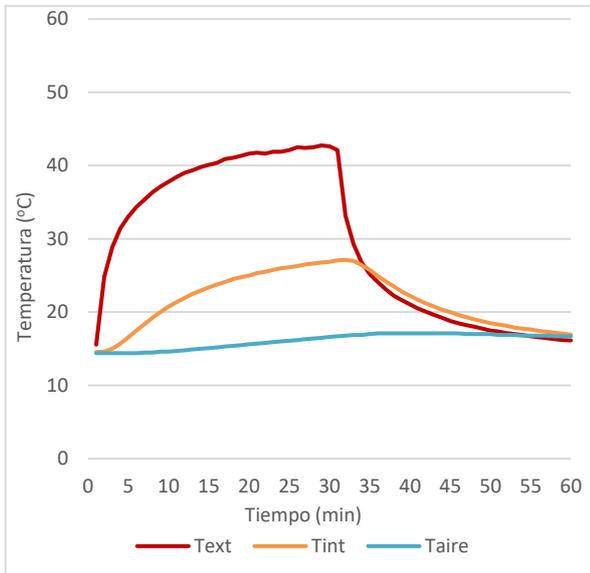


I4A



“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

I4B



I4C

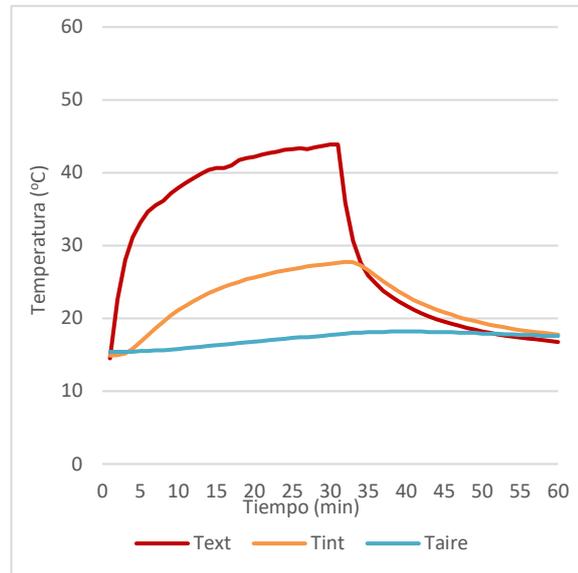


Gráfico 12. Gráficos de temperaturas *Text*, *Tint*, *Taire* de los recubrimientos térmicos y estándares en ensayo de resistencia a la temperatura interior.

En la Tabla 18 se muestran los resultados más relevantes del ensayo. Por una parte, las temperaturas máximas registradas a lo largo del ensayo en los tres puntos de medición. A partir de estos datos se calculan el aumento de la temperatura en el interior de la cámara y la temperatura amortiguada (que hace referencia a la cantidad de calor transferido) mediante los siguientes sencillos cálculos:

$$\text{Aumento } T_{\text{aire}} (\text{°C}) = T_{\text{aire máxima}} - T_{\text{aire inicial}}$$

$$\text{Amortiguación } (\text{°C}) = T_{\text{ext máxima}} - T_{\text{int máxima}}$$

La temperatura amortiguada nos dará una idea de la cantidad de calor transferido por conducción desde la cara exterior expuesta (más caliente), hacia la cara interna no expuesta (más fría).

El sustrato inerte sin recubrimiento alcanza una T_{ext} máxima de 53,56°C, y en las muestras recubiertas no alcanzan los 50°C, a excepción del recubrimiento I2. Además, el recubrimiento favorece un menor aumento de la temperatura en el interior de la cámara.

En los recubrimientos E1, E2, e I2 se observa una mayor amortiguación de la temperatura a mayores gramajes aplicados, que da lugar a recubrimientos con un espesor mayor. En el resto de los recubrimientos no se observa una mejora en su capacidad aislante al aumentar el espesor.

Se observan ligeras tendencias a un mejor comportamiento térmico, en algunas de las referencias, a mayores espesores aplicados.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

Dicho esto, atendiendo a las pinturas de uso exterior térmicas frente a la estándar, entre la referencia térmica E1 y la estándar E3 registraron temperaturas máximas alcanzadas en la superficie expuesta similares, es decir, el calentamiento de las superficies tuvo lugar en la misma línea. Indicar que la referencia térmica E1 registró, una menor capacidad de amortiguación térmica entre la superficie expuesta y la no expuesta, además de un mayor aumento de la temperatura en el interior de la cámara.

En cuanto a la referencia térmica E2, presentó un ligero mejor comportamiento frente a la estándar E3. La temperatura máxima registrada en la cara expuesta fue alrededor del 1,2% menor, además, el aumento de la temperatura en el interior de la cámara fue algo menor, entorno al 4%. Esta tendencia a un mejor comportamiento térmico, no se vio reflejado en la amortiguación térmica del recubrimiento, que se obtuvieron amortiguaciones similares en ambos casos.

Respecto de las pinturas de uso interior, el mejor comportamiento se observó en el estándar I4 y la referencia térmica I3. Aunque la temperatura en la superficie expuesta durante la etapa de irradiación fue alrededor del 3% mayor en la referencia térmica I3 frente a la estándar I4, tanto el aumento de la temperatura en el interior de la cámara, como la temperatura amortiguada por el recubrimiento presentan comportamientos muy similares.

La referencia térmica I1 presentó ligeramente una menor capacidad aislante, siendo I2 la que presentó peores resultados, la superficie expuesta superó los 51°C y la temperatura aumentó considerablemente.

Tabla 18. Resultados ensayo resistencia a la temperatura interior.

	T _{ext} máxima (°C)	T _{int} máxima (°C)	T _{aire} máxima (°C)	Aumento T _{aire} (°C)	Amortiguación T ^a (°C)
Sustrato sin aplicar	53,56	37,56	21,7	5,3	16,0
E1A	47,00	33,13	22,20	3,00	13,88
E1B	45,75	32,19	20,20	3,70	13,56
E1C	48,94	31,63	20,80	3,90	17,31
E2A	47,31	31,88	21,80	2,90	15,44
E2B	47,13	29,63	19,60	3,10	17,50
E2C	46,56	29,50	19,60	3,10	17,06
E3A	47,13	30,88	21,70	3,10	16,25
E3B	48,88	31,38	22,00	3,00	17,50
E3C	46,75	30,38	21,50	3,40	16,38
I1A	48,88	31,00	20,50	3,60	17,88
I1B	45,88	32,25	20,40	3,50	13,63
I1C	46,75	30,38	18,90	3,50	16,37
I2A	48,25	34,63	20,50	4,60	13,62
I2B	50,63	34,63	20,80	4,40	16,00
I2C	51,38	33,19	21,00	4,50	18,19
I3A	45,88	30,06	19,90	3,00	15,81

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

	T _{ext} máxima (°C)	T _{int} máxima (°C)	T _{aire} máxima (°C)	Aumento T _{aire} (°C)	Amortiguación T ^a (°C)
I3B	43,88	27,63	17,50	2,90	16,25
I3C	44,69	28,88	18,40	2,80	15,81
I4A	43,88	27,25	17,50	3,10	16,63
I4B	42,75	27,13	17,10	2,70	15,63
I4C	43,88	27,75	18,20	2,80	16,13

Finalizados y evaluados los ensayos realizados, la tendencia observada es que la generación de microcavidades de aire en el interior del recubrimiento, por las esferas de cerámica huecas, no producen mejoras significativas en la conductividad térmica, y sí una ligera tendencia positiva en la capacidad reflectiva de la luz en las pinturas estudiadas, aunque no demasiado significativa. Parece ser, que el compuesto TiO₂, pigmento inorgánico con mayor reflectancia (2,73 para rutilo y 2,55 para anatasa), en las pinturas estudiadas, es el aditivo que juega un papel fundamental en la mejora de la inercia térmica, frente a la exposición de ondas del espectro infrarrojo.

Se observa cierta relación entre la rugosidad de los recubrimientos y capacidad frente a la resistencia del aumento de la temperatura interior. Los recubrimientos térmicos con una menor rugosidad superficial, concretamente las referencias I3 y E2, presentaron también una menor temperatura alcanzada en la etapa de irradiación.

B.- Estudio de la evaluación de absorción de COVs.

Debido al aumento de la concentración de CO₂ y las posibles consecuencias del cambio climático, existe una gran necesidad en el desarrollo de materiales capaces de transformar este compuesto, con la finalidad de alcanzar una compensación ambiental.

En el presente proyecto se llevó a cabo el estudio de la capacidad de fijación de CO₂ de recubrimientos especialmente formulados para ello. La reducción de CO₂ puede realizarse por dos mecanismos. El primero, por la posibilidad de utilizar materias recicladas, evitando así la emisión de CO₂ debido al ahorro de recursos naturales. Y el segundo, por su acción directa de captación de CO₂, mecanismo que se estudiará en profundidad a continuación.

La fijación del CO₂ viene dado por la presencia del compuesto básico hidróxido de calcio Ca(OH)₂, también conocido como cal hidratada o cal apagada, y presenta un pH alcalino de 12,4. El hidróxido de calcio es un polvo blanco que se obtiene por la calcinación del carbonato cálcico (CO₃Ca) a partir de la siguiente reacción:



El proceso de obtención del hidróxido de calcio obtenido industrialmente a partir del carbonato de calcio que se encuentra en la naturaleza en forma de piedra caliza emite cantidades masivas de CO₂,

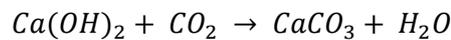


“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

por una parte, porque en la producción de óxido de calcio a partir de la piedra caliza se desprende CO₂, por otra parte, porque en la incineración hay un elevado consumo de energía, además de otras emisiones indirectas como excavaciones, operaciones de hidratación... Actualmente, existen alternativas para la obtención de este compuesto alcalino más respetuosas medioambientalmente, apostando por la economía circular. La obtención del hidróxido de calcio también puede ser fruto de procesos de reutilización de otros residuos generados, como, por ejemplo, a partir de cal de carburo residual generado en el proceso de obtención de gas acetileno [12].

Algunos fabricantes, afirman que pinturas formuladas con hidróxido de calcio, consiguen una absorción del CO₂ equivalente al 50% en peso respecto del compuesto alcalino incorporado.

La fijación del CO₂ sobre el recubrimiento viene dado por la reacción de este con el hidróxido de calcio, produciendo carbonato cálcico en polvo y agua, mediante la reacción siguiente:



Además, la capacidad antimicrobiana del hidróxido de calcio está relacionada con su elevado valor de pH, el cual se sitúa entre 12,4 y 12,8. La relación entre su alcalinidad y su capacidad antimicrobiana se ha comprobado ampliamente en multitud de estudios. Los iones del hidróxido de calcio se disocian lenta, pero suficientemente como para ocasionar la muerte bacteriana por desnaturalización de las proteínas y lisis de los cuerpos bacterianos y actuar por largos periodos de tiempo [13].

En este proyecto se ha establecido y puesto a punto un método interno para la evaluación de la capacidad fijadora de CO₂ de pinturas especialmente formuladas con este fin. Para ello, se empleó una cámara de evaluación de emisiones de sustancias COVs. Estas cámaras, Figura 29, con capacidad de 225L, son herméticas y revestidas en su totalidad de acero inoxidable, siendo, por tanto, óptimas para la determinación de la contribución del recubrimiento ensayado en la disminución del CO₂ en un espacio cerrado hermético controlado.

Se establecieron los siguientes parámetros de ensayo:

- Tiempo de ensayo: 17 horas.
- Superficie ensayada: 1m² por cada m³ de cámara.

Para la medición de la concentración de CO₂ se empleará. un medidor digital profesional DIOXCARE que emplea un sensor SenseAir S8. También se registró la temperatura y humedad durante el ensayo.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

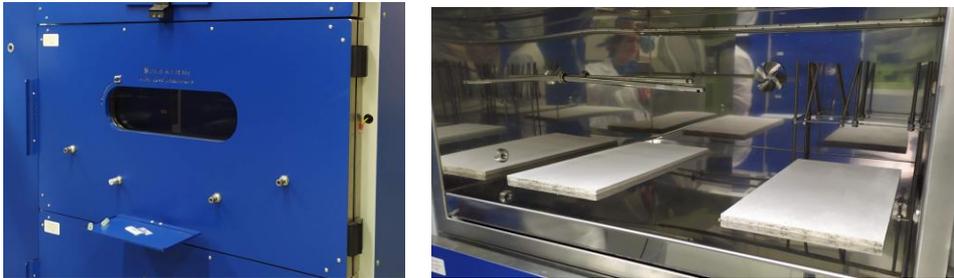


Figura 29. Cámara de ensayo medición de CO₂.

Se emplearon dos cámaras de ensayo de 225 L cada una, referenciadas como cámara 4 y cámara 5, y en base a los parámetros definidos (1m² de revestimiento por cada 1 m³ de cámara) se introdujeron en cada cámara de ensayo dos probetas, cuyas dimensiones individuales fueron de 235 x 455 mm, siendo, por tanto, la superficie total ensayada en cada cámara de 0,23 m².

Definidos tanto el método y montaje de ensayo, se procedió al estudio de la capacidad de los recubrimientos captadores de CO₂, referenciados como GE y I4, comparativamente con las referencias estándar E3 e I4. Además, se realizará un estudio de comportamiento en el tiempo. Se medirá la captación de fijación de CO₂ en el momento de su aplicación, es decir, durante su secado. Y posteriormente tras 7 y 30 días desde su aplicación.

Sobre soportes de fibrocemento con dimensiones 235 x 455 mm se aplicaron dos gramajes diferentes, uno recomendado por el fabricante, y otro más elevado, 500 y 1000 g/m² húmedos, referenciadas como A y B respectivamente. De cada gramaje se realizaron cuatro réplicas

Tabla 19. Muestras para ensayo de absorción de CO₂.

Referencia		Gramaje húmedo aplicado (g/m ²)	Gramaje seco aplicado (g/m ²)
GE	A1	534	330
	A2	532	336
	A3	544	328
	A4	550	339
	B1	976	578
	B2	970	583
	B3	959	570
	B4	968	587
E3	A1	715	489
	A2	712	498
	A3	713	479

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

Referencia		Gramaje húmedo aplicado (g/m ²)	Gramaje seco aplicado (g/m ²)
	A4	710	500
	B1	1068	980
	B2	1062	963
	B3	1068	979
	B4	1061	959
GI	A1	527	315
	A2	524	329
	A3	542	341
	A4	528	317
	B1	969	648
	B2	955	644
	B3	974	646
	B4	965	645
I4	A1	736	569
	A2	715	563
	A3	717	575
	A4	721	573
	B1	1002	869
	B2	977	866
	B3	975	848
	B4	977	860

En primer lugar, se realizó la medición de un blanco, con la finalidad de conocer la posible variación de CO₂ en el interior de la cámara. Se realizó un blanco de las cámaras 4 y 5 vacías, y otro de los sustratos de fibrocemento sin revestir, también en ambas cámaras, Tabla 20.

Se observó que la cámara hermética cerrada, durante un periodo de 17 horas, la concentración de CO₂ se redujo un 4,3% en la cámara de ensayo 5 y un 5,8 % en la cámara de ensayo 4. Estos valores resultan de la media aritmética de tres medidas. No se observaron diferencias significativas en el blanco, por lo tanto, los resultados de las muestras estudiados a continuación se considerarán reproducibles en ambas cámaras.

En cuanto al aporte del sustrato de fibrocemento, los componentes de este capturan un porcentaje de entre el 14,4 – 16,74 %. Estos valores resultan de la media aritmética de tres medidas. El fibrosilicato absorbe una pequeña cantidad de CO₂, y además en proporciones variables. Por este motivo se evaluará la tendencia de los resultados y no tanto la cuantificación de estos.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

Tabla 20. Reducción de CO₂ ocasionado por la cámara vacía y por el sustrato sin revestir.

	Reducción CO ₂ (%)	
	Cámara vacía	Fibrosilicato
Cámara 4	5,80	14,41
Cámara 5	4,34	16,74

Posteriormente se ensayaron los recubrimientos captadores de CO₂ y las referencias estándar. En la Tabla 21 se recoge, por una parte, la reducción total de CO₂ en ppm, y por otra parte, la concentración de CO₂ en la cámara tras finalizar los ensayos. Los valores de cada gramaje, A y B son el resultado de una media aritmética de las cuatro réplicas evaluadas.

De forma generalizada, se observó que tanto las pinturas formuladas específicamente para la absorción de CO₂, como las pinturas estándares del mercado seleccionadas, redujeron su concentración considerablemente a 0 días. Este comportamiento se va atenuando tras su proceso de curado a 7 y 30 días.

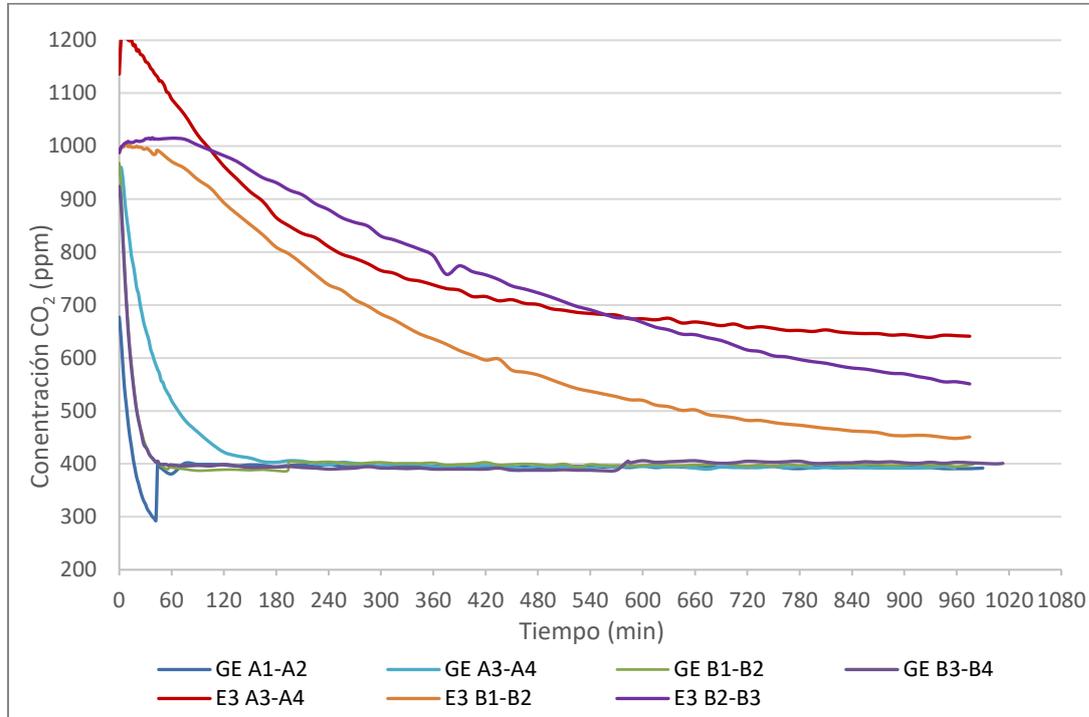
Tabla 21. Resultados de reducción de CO₂ (%) de los revestimientos ensayados.

Referencia		0 días		7 días		30 días	
		Reducción CO ₂ (ppm)	Concentración CO ₂ en la cámara tras finalizar ensayo (ppm)	Reducción CO ₂ (ppm)	Concentración CO ₂ en la cámara tras finalizar ensayo (ppm)	Reducción CO ₂ (ppm)	Concentración CO ₂ en la cámara tras finalizar ensayo (ppm)
GE	A	351	392	314	636	226	818
	B	546	400	392	568	232	831
E3	A	560	641	270	636	206	950
	B	488	500	237	694	92	959
GI	A	542	391	551	696	125	880
	B	511	407	186	878	91	944
I4	A	452	665	60	977	9	904
	B	671	468	71	942	2	954

Hay que destacar que las referencias GE y GI a tiempo 0, consiguen reducir la concentración en la cámara a un valor en torno a 400 ppm. Por el contrario, los estándares E3 e I4, solo consiguen reducir la concentración a valores variables entre 468 – 665. Aun observando una reducción en las pinturas estándares, tiene lugar una diferencia muy notable en la velocidad de captación del compuesto. Este comportamiento se refleja en el Gráfico 13 para las referencias GE y E3, y en el Gráfico 14 para las referencias GI e I4.

En ambos gráficos se observan las mediciones de todas las réplicas para ambos gramajes ensayados.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental



*Las mediciones de las réplicas E3 A1-A2 no se obtuvieron debido a un fallo en el medidor de la concentración de CO₂.

Gráfico 13. Concentración de CO₂ de las referencias GE y E3 con gramajes de 500 g/m² (A) y 1000 (B) g/m² húmedos durante el proceso de secado.

En la muestra GE, tanto en las de bajo gramaje (A1-A2 y A3-A4), como las de alto gramaje (B1-B2 y B3-B4), se observa una drástica reducción de la concentración de CO₂ durante la primera hora de ensayo, hasta un valor en torno a 400 ppm, a excepción de la referencia GE (A1-A2) que desciende por debajo de 300 ppm, para después estabilizarse a 400 ppm. Se observó una elevada condensación en el interior de la cámara, registrando una humedad por encima del 80%. Esta condensación de agua es resultado, junto al carbonato cálcico, de la reacción entre el hidróxido de calcio y el CO₂. Se piensa que la reacción de fijación dejó de tener lugar, debido a la saturación de vapor de agua en el interior de la cámara.

En la muestra E3 de forma generalizada se observa una reducción del CO₂ a una menor velocidad de captación, disminuyendo gradualmente hasta finalización del ensayo. A mayor cantidad aplicada en el revestimiento, se observa una tendencia a captar una mayor cantidad de CO₂.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

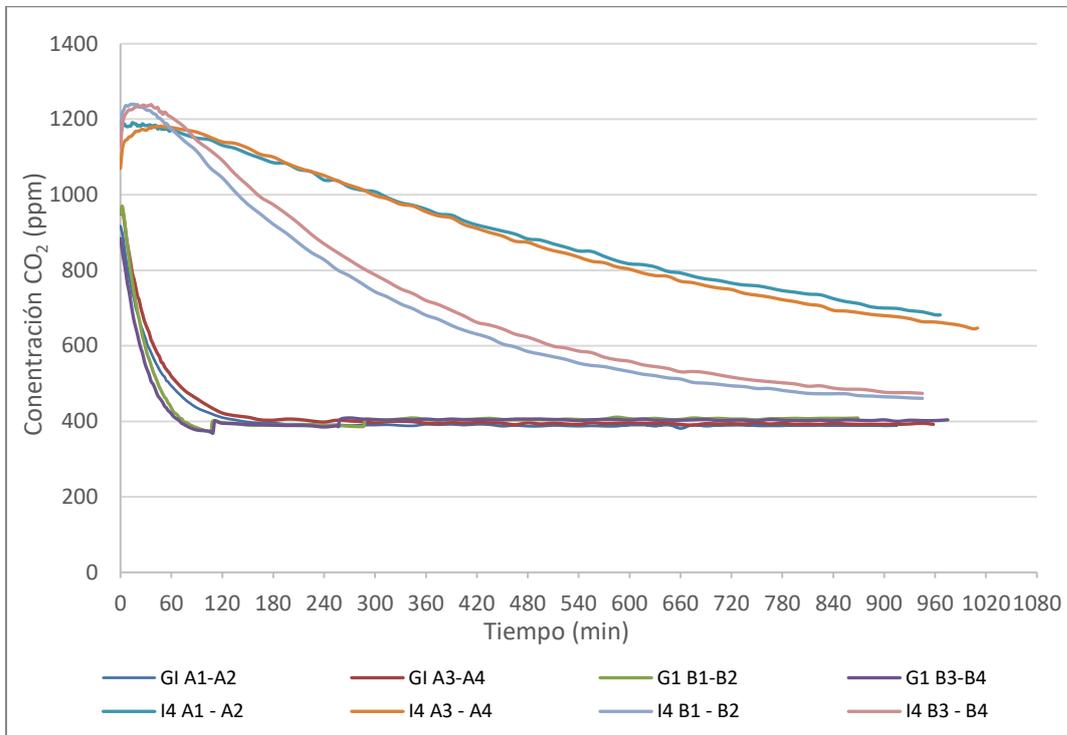


Gráfico 14. Concentración de CO₂ de las referencias GI e I4 con gramajes de 500 g/m² (A) y 1000 (B) g/m² húmedos durante el proceso de secado.

Una tendencia similar se observó en las referencias para su uso interior. En la muestra GI se registró una velocidad de reducción elevada durante los primeros 120 minutos de ensayo, estabilizándose en torno a 400 ppm. No se observan diferencias de comportamiento en función del gramaje aplicado. También tuvo lugar una elevada condensación en el interior de la cámara, registrando una humedad por encima del 80%.

En la muestra estándar I4, sí se observaron diferencias entre gramajes aplicados. En las referencias de bajo gramaje (A1-A2 y A3-A4), tiene lugar una reducción gradual durante el transcurso del ensayo más lenta, pero continua. Un ligero mejor comportamiento se registró en las referencias de mayor gramaje (B1-B2 y B3-B4), donde ocurre una reducción lenta pero continua hasta valores cercanos a 400 ppm.

Para una mejor evaluación y comparación de los resultados a diferentes tiempos desde su aplicación, se calculó el porcentaje de reducción de CO₂, Tabla 22.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

Tabla 22. Porcentajes de reducción de CO₂.

Referencias		Reducción CO ₂ (%)		
		0 días	7 días	30 días
GE	A	46,82	33,19	21,35
	B	57,69	40,52	20,13
E3	A	43,57	29,60	17,91
	B	49,37	25,04	10,23
GI	A	58,08	39,73	13,19
	B	56,07	17,41	8,54
I4	A	40,45	3,83	2,23
	B	58,91	3,29	0,16

En la muestra GE, en ambos gramajes aplicados se observó en la totalidad de los ensayos que la capacidad de absorción tiene lugar principalmente durante la etapa de secado (0 días), atenuándose con el transcurso del tiempo. Comparando las pinturas fijadoras frente a los estándares, la tendencia observada fue que ambas pinturas fijadoras, GE y GI, redujeron en mayor medida el CO₂ en la cámara. La eficacia y rendimiento de las pinturas captadoras de CO₂ permanece hasta su completa carbonatación.

Respecto la pintura estándar de uso exterior E3, se observó una capacidad de reducción notable, tanto inicialmente como con el trascurso del tiempo, aunque menor que la referencia GE.

En cuanto a la referencia de interior I4, inicialmente presenta una reducción de CO₂ considerable, pero algo menor que la referencia GI. Destacar que su capacidad de captación se reduce totalmente tras finalizar el secado.

Posiblemente, la reducción observada en las pinturas estándares es debida a la activación del pigmento TiO₂ y su consecuente reducción del CO₂. El semiconductor es activado por la luz solar dando lugar a un fuerte proceso de oxidación que provoca la transformación de sustancias orgánicas e inorgánicas nocivas, por compuestos de óxidos de nitrógeno [14].

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

5 Resultados y conclusiones.

Se trabajó en 2 líneas fundamentalmente, analizando/investigando sobre recubrimientos que son capaces de interactuar con diferentes agentes externos, para la mejora de la eficiencia energética y el confort de las viviendas, y en ambos casos con puesta a punto de métodos analíticos apropiados.

A.-) Recubrimientos que tengan una conductividad térmica que mejore la inercia térmica de la superficie de la vivienda ...

B.-) Recubrimientos con capacidad de absorción de COV,s.

A.-) Recubrimientos aislantes térmicos. Se estudiaron recubrimientos de uso interior y exterior, por un lado, tanto básicos, como aditivados para la interacción con la temperatura externa. Con las formulaciones, se aplicaron diferentes espesores sobre soporte de fibrosilicato cálcico (soporte habitualmente utilizado para que sea de alcance universal):

- Se ha concluido que la propiedad de la película de recubrimiento que más influye en el calentamiento del material y del recinto en que se encuentra es la reflectividad de su superficie. Asimismo, el efecto del retardo de incremento de temperatura mejora cuanto más alto es el gramaje de aplicación (de 700 μm a 1.000 μm)
- En conductividad térmica no se han detectado diferencias significativas entre pinturas, y dado los bajos espesores aplicados (máximo 1.000 μm), su aporte aislante no es relevante.

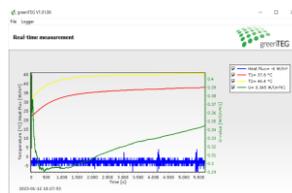


Figura 30. Incidencia de calor en la superficie del soporte tratado y medición del flujo de calor y alcance de temperaturas.

B.-) Recubrimientos con capacidad de absorción de COV. Se han estudiado recubrimientos con tecnología captadora de CO₂ de uso interior y exterior, así como esos mismos recubrimientos sin los captadores. Se han ensayado muestras con diferentes gramajes aplicados sobre un sustrato inerte, fibrosilicato cálcico, y se ha evaluado la disminución de la concentración de CO₂ en una cámara hermética, durante su secado/curado y una vez finalizado este proceso (7 y 30 días).

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

- Se comprueba que durante el proceso de secado tiene lugar una elevada disminución de CO₂ en los recubrimientos aditivados con hidróxido de calcio frente a los recubrimientos no aditivados. Este comportamiento ya no se pone de manifiesto pasados 7 días desde su aplicación, aunque continúa la disminución de CO₂ a una velocidad de captación más lenta, similar a la de los productos no aditivados. Se considera que esta ligera disminución se debe a la capacidad de absorción del soporte, fibrosilicato cálcico.

En cuanto al gramaje aplicado, durante las primeras horas de secado se observa un aumento del rendimiento de captación de CO₂ a mayores espesores aplicados, que se minimiza con el tiempo.

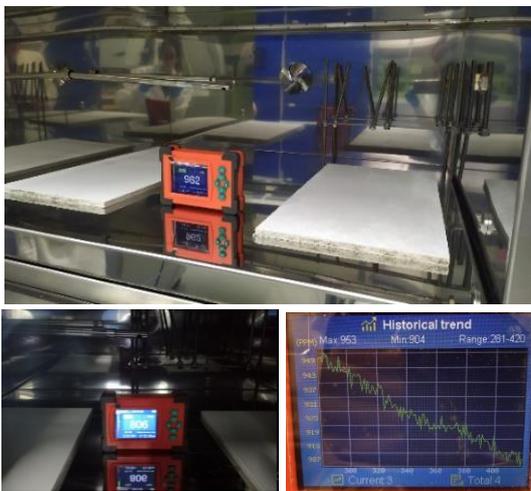


Figura 31. Medición de CO₂ en cámara hermética con superficies inteligentes.

“RECINT” - Desarrollo de recubrimientos inteligentes que contribuyan al ahorro energético y mejora ambiental

6. Bibliografía.

- [1] K. A. Zaidi, B. Demirel, C. D. Atis y F. Akkurt, «Investigation of mechanical and thermal properties of nano SiO₂/hydrophobic silica aerogel co-doped concrete with thermal insulation properties,» *Structural Concrete*, vol. 21, n° 3, pp. 1123-1133, 2019.
- [2] S. Karami, S. Motahari, M. Pishvaei y N. Eskandari, «Improvement of thermal properties of pigmented acrylic resin using silica aerogel,» *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 135, 2017.
- [3] «Ecoultravioleta,» [En línea]. Available: <https://ecoultravioleta.coop/como-funciona-la-pintura-aislante/>. [Último acceso: 4 07 2022].
- [4] A. Comite, E. S. Cozzaa, G. Di Tanna, C. Mandolfinob, F. Milellac y S. Vicini, «Thermal barrier coatings based on alumina microparticles,» *Progress in Organic Coatings*, pp. 124-132, 2014.
- [5] Z. Xing, H. Ke, X. Wang, T. Zheng, Y. Qiao, K. Chen, X. Zhang, L. Zhang, C. Bai y Z. Li, «Investigation of the Thermal Conductivity of Resin-Based Lightweight Composites Filled with Hollow Glass Microspheres,» *College of Materials Science and Chemical Engineering*, vol. 518, n° 12, 2020.
- [6] S. R. Suwal y A. P. Ramaswamy, «Performance of roof-cool paints prepared using organic acrylic polymer binder and inorganic additives for the thermal reduction in buildings,» *Environmental Progress & Sustainable Energy*, vol. 41, 2021.
- [7] Y. Lu, Z. Liu, X. Li, X. J. Yin y H. D. Utomo, «Development of water-based thermal insulation paints using silica aerogel made from incineration bottom ash,» *Energy and Buildings*, vol. 259, 2022.
- [8] J. Jeon, H.-i. Kim, J. H. Park, S. Wi y S. Kim, «Evaluation of thermal properties and acetaldehyde adsorption performance of sustainable composites using waste wood and biochar,» *Environmental Research*, vol. 196, 2021.
- [9] S. Kiil, «Model-based analysis of thermal insulation coatings,» *Journal of Coatings Technology and Research*, vol. 11, pp. 495-507, 2014.
- [10] P. C. W. Peña, «Fachada antirradiante para el tropico caribeño: viabilidad de una fachada antirradiante para revestimientos de cemento mediante la aplicación de pigmentos NIR,» *Tesis maestría. Universitat Politècnica de Catalunya.*, 2016.
- [11] L. Yanru, L. Zihe, L. Xiaodong, Y. Jiang y D. U. Handoyo, «Development of water-based thermal insulation paints using silica aerogel made from incineration bottom ash,» *Energy and Buildings*, vol. 259, 2022.
- [12] M. Á. Bermejo Sotillo, «Aglomerante captador de CO₂, método de fabricación mediante selección, purificación y optimización de la cal de carburo y aglomerados de actividad medioambiental». España Patente PCT/ES/2010/070294, 09 09 2011.
- [13] C. Salazar Soto, «Hidróxido de calcio. Efectos biológicos y mecanismos de acción,» *Revista Facultad de Odontología U. de A.*, 1994.
- [14] S. Kreft, D. Wei, H. Junge y M. Beller, «Recent Advances on TiO₂-based Photocatalytic CO₂ Reduction,» *EnergyChem*, vol. 2, 2020.