



UNIVERSITAT JAUME I

ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
I CIÈNCIES EXPERIMENTALS

MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

“El material cerámico en la Rehabilitación”

PROYECTO FINAL DE MÁSTER

AUTOR

Jorge Corrales García

DIRECTOR

Ángel Pitarch Roig

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor Ángel Pitarch Roig por la tutorización y asesoramiento durante el desarrollo de este trabajo fin de máster.

A mis compañeros de trabajo, por el apoyo y el conocimiento aportado durante estos años y al ITC por permitirme compatibilizar la formación en el Máster con la jornada laboral.

A mis amigos y familia el apoyo prestado durante este periodo. En especial a mi pareja Laura y a mi hija Lucia, por apoyarme en todo momento, cada una de una manera especial.

Por último, agradecer a los compañeros, profesores y amigos del Máster, por la formación y los buenos momentos compartidos durante estos años.

Gracias,

Jorge Corrales García

RESUMEN

El proyecto titulado "El material cerámico en la rehabilitación", se basa en la recopilación, el análisis y la evaluación de los productos y sistemas cerámicos existentes en el mercado, enfocados a la rehabilitación de revestimientos interiores, envolventes en los edificios y pavimentación urbana. La evaluación de los sistemas y soluciones constructivas cerámicas, se realiza mediante el desarrollo de una serie de comparativas y simulaciones que permiten analizar las ventajas y desventajas de los diversos sistemas cerámicos en la rehabilitación.

El proyecto se estructura en cinco bloques. En el primero de ellos se realiza una introducción sobre el estado actual de la rehabilitación y del material cerámico. El segundo, se centra en el estudio de las características del material cerámico de revestimiento frente a otros materiales y en la recopilación de productos cerámicos innovadores o con beneficios medioambientales. En el tercer bloque, se analizan sistemas cerámicos enfocados a la rehabilitación de edificios y pavimentos urbanos, y se realizan una serie de comparativas entre los distintos sistemas, mientras que en el cuarto bloque, se procede a la evaluación ambiental y económica de diversos sistemas cerámicos, en base a los resultados obtenidos mediante el desarrollo de simulaciones. Finalmente, en el quinto bloque, se extraen las conclusiones del proyecto y se plantean nuevas estrategias para la mejora de los sistemas cerámicos en la rehabilitación.

INDICE

RESUMEN

1 INTRODUCCIÓN

1.1	ESTADO ACTUAL DE LA REHABILITACIÓN	1
1.2	CAMPOS DE APLICACIÓN DEL MATERIAL CERÁMICO EN LA REHABILITACIÓN	1
1.3	METODOLOGÍA Y OBJETIVO	2

2 CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS CERÁMICOS

2.1	TIPOLOGÍAS DE PRODUCTO CERÁMICO	4
2.2	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	6
2.3	CARACTERÍSTICAS FRENTE A OTROS MATERIALES	9
2.4	CICLO DE VIDA DE LOS PRODUCTOS CERÁMICOS	18
2.5	PRODUCTOS CERÁMICOS INNOVADORES O CON BENEFICIOS MEDIOAMBIENTALES	26

3 COMPARATIVA DE SISTEMAS CERÁMICOS PARA LA REHABILITACIÓN

3.1	METODOLOGÍA	36
3.2	PAVIMENTOS Y REVESTIMIENTOS INTERIORES	37
3.3	FACHADAS	51
3.4	CUBIERTAS PLANAS	71
3.5	PAVIMENTOS URBANOS	78

4 SIMULACIÓN DE SISTEMAS CERÁMICOS EN LA REHABILITACIÓN

4.1	METODOLOGÍA	87
4.2	DEFINICIÓN DEL EDIFICIO TIPO A SIMULAR	89
4.3	RESULTADOS DEL EDIFICIO DE LOS AÑOS 80	106
4.4	RESULTADOS DEL EDIFICIO REHABILITADO	109
4.5	EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA	113
4.6	EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL	119
4.7	RESUMEN DE LOS RESULTADOS	133

5 CONCLUSIONES

5.1	CONCLUSIONES PRINCIPALES	136
5.2	ESTRATEGIAS DE MEJORA	138

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PRIMER BLOQUE. **INTRODUCCIÓN**

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	ESTADO ACTUAL DE LA REHABILITACIÓN	1
1.2	CAMPOS DE APLICACIÓN DEL MATERIAL CERÁMICO EN LA REHABILITACIÓN	1
1.3	METODOLOGÍA Y OBJETIVOS	2

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Estado actual de la Rehabilitación

En los últimos años el sector de la construcción se está orientando hacia políticas de rehabilitación de edificios del sector público y privado, centradas en la reducción del consumo energético y la mejora de la eficiencia energética, con el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ y cumplir con las exigencias que establece la Directiva 2012/27/UE de eficiencia energética, entre las que destacan la reducción en 2050 de las emisiones de gases de efecto invernadero entre un 80 % y un 95 % respecto a las que se emitían en 1990.

El parque edificado a nivel nacional **(1)**, que comprende 10 millones de edificios de los cuales 9,7 millones son de uso residencial (suponiendo aproximadamente 25 millones de viviendas) y 0,3 millones de uso terciario, representa el 30% del consumo final de energía, correspondiendo el 18% a las viviendas y el 12% al sector terciario. Además, este sector es el responsable de un tercio de las emisiones de gases de efecto invernadero, un tercio de la generación de residuos y un tercio del consumo de recursos, en términos globales.

En materia de eficiencia energética el déficit es muy importante, ya que el 90% de los edificios son anteriores a la aplicación de CTE y el 60% se construyeron sin la aplicación de normativas que contemplaran la de eficiencia energética (son anteriores norma NBE-CT 79). En el caso de la Comunidad Valenciana, el 55% del parque de viviendas existentes fue construido antes de 1980, de las cuales un 8% son anteriores a 1940. Estos datos posicionan al parque edificatorio de España como uno de los más obsoletos de la Unión Europea.

La rehabilitación de edificios y del entorno urbano, se debe consolidar como una prioridad en el sector de la construcción, involucrando a profesionales, concienciando al ciudadano y ofreciendo financiación y programas de ayuda por parte de la administración que ajusten los periodos de amortización de la inversión (principalmente en sector privado), con el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ y la dependencia energética, mejorando al mismo tiempo la calidad de vida y generando nuevos puestos de trabajo en el sector.

Según el informe sectorial de CESCE, el sector de la construcción crecerá en 2015 alrededor del 3%, marcando un cambio de tendencia con respecto a los siete años anteriores de decrecimiento y que en el año 2016 acelerará su crecimiento, estimando que el campo de la rehabilitación y mantenimiento de edificios crecerá hasta un 3,9%.

1.2 Campos de aplicación del material cerámico en la Rehabilitación

Los materiales cerámicos, que tradicionalmente se han empleado en el revestimiento de suelos y paredes, especialmente en las zonas interiores húmedas como cocinas y baños, han dado un salto cualitativo en los últimos años, tanto en prestaciones técnicas como estéticas, que le ha permitido posicionarse como un material de referencia en nuevos campos de aplicación, como las fachadas o los pavimentos urbanos, etc. El avance tecnológico y las innovaciones desarrolladas por el sector en productos y sistemas cerámicos, lo convierten en un material de referencia en la rehabilitación de edificios y entornos urbanos.

Actualmente, los campos de aplicación del material cerámico en la rehabilitación son:

- Rehabilitación del patrimonio histórico
- Rehabilitación de envolventes de edificios (Fachadas aplacadas con aislamiento por el exterior, fachadas ventiladas, cubiertas invertidas con solado fijo, cubiertas ventiladas)

- Rehabilitación de espacios interiores. (Pavimentos en seco y revestimientos en seco, pavimentos técnicos, pavimentos radiantes, láminas delgadas)
- Rehabilitación de espacios urbanos, pavimentos urbanos, mobiliario.

En los diversos campos de aplicación, el material cerámico puede aportar mejoras en las siguientes líneas:

- Ahorro de energía (Eficiencia energética de la rehabilitación)
- Uso sostenible de los recursos naturales (Gestión de materiales y sistemas, ACV)
- Accesibilidad al medio físico (reducción de barreras arquitectónicas)
- Seguridad y Salud

1.3 Metodología y objetivos

En primer lugar, se define la **metodología** aplicada a los diferentes bloques del proyecto:

- En el presente bloque, se realiza una introducción sobre el estado actual de la rehabilitación y del material cerámico.
- En el segundo bloque del proyecto “**Características de los productos cerámicos**”, la metodología seguida se basa en la recopilación de información sobre el material cerámico, analizando las tipologías de producto, las características prestacionales y ambientales en función del uso y aquellas innovaciones interesantes para su aplicación en la rehabilitación de edificios y espacios urbanos.
- En el tercer bloque del proyecto “**Comparativa entre sistemas cerámicos para la rehabilitación**”, se aplica una metodología que consta de dos partes. En la primera parte, se **recopilan y describen** diversos sistemas cerámicos clasificados en función de su ámbito de aplicación y enfocados a la rehabilitación de edificios y pavimentos urbanos. Mientras que en la segunda parte, se desarrollan **comparativas** entre distintos sistemas cerámicos en función del uso, con el objetivo de valorar los sistemas cerámicos idóneos para la rehabilitación de envolventes, revestimientos interiores y pavimentos urbanos.
- En el cuarto bloque del proyecto “**Simulación de sistemas cerámicos para la rehabilitación de la envolvente**”, la metodología planteada consiste en: En primer lugar se define el edificio tipo de los años 80 y las soluciones constructivas cerámicas a emplear en su rehabilitación. Una vez definido el edificio, se modela y se realizan una serie de simulaciones para la obtención de demandas tanto para el edificio de los años 80, como para el edificio rehabilitado con los diferentes sistemas cerámicos. Finalmente se procede a la evaluación de la reducción de demanda energética y la evaluación económica y ambiental de los sistemas incorporados en la rehabilitación.
- Por último, en el quinto bloque “**Conclusiones**”, se sintetizan los resultados obtenidos en el proyecto, definiendo una serie de conclusiones para cada uno de los sistemas cerámicos evaluados. En base a las conclusiones extraídas se plantean y describen una serie de estrategias de mejora para los sistemas cerámicos.

Los objetivos del proyecto son:

- Aportar una recopilación de productos y sistemas cerámicos comerciales e innovadores enfocados a la rehabilitación de edificios y espacios urbanos.
- Analizar las características prestacionales y ambientales del material cerámico respecto a otros materiales en función de los requerimientos para los distintos usos.

- Analizar las características del material cerámico respecto a otros materiales en función de los requerimientos exigidos en los distintos usos.
- Desarrollar una herramienta que permita comparar las características más relevantes de los sistemas cerámicos en la rehabilitación de pavimentos y revestimientos interiores, fachadas, cubiertas y pavimentos urbanos.
- Cuantificar la eficiencia energética de las diferentes soluciones constructivas cerámicas en rehabilitación de la envolvente, mediante el desarrollo de simulaciones en Energy+.
- Determinar el periodo de amortización de diversos sistemas cerámico, en base a los resultados obtenidos en las simulaciones.
- Evaluar las fortalezas y debilidades de los sistemas cerámicos en la rehabilitación de edificios y espacios urbanos, y plantear nuevas estrategias para la mejora de los sistemas.

SEGUNDO BLOQUE. **CARACTERÍSTICAS DE LOS
PRODUCTOS CERÁMICOS**

2	CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS CERÁMICOS	4
2.1	TIPOLOGÍAS DE PRODUCTO CERÁMICO	4
2.2	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	6
2.2.1	<i>Características dimensionales</i>	6
2.2.2	<i>Características mecánicas</i>	7
2.2.3	<i>Características adicionales</i>	7
2.3	CARACTERÍSTICAS FRENTE A OTROS MATERIALES	9
2.3.1	<i>Comparativa de productos para su uso en envolventes</i>	9
2.3.2	<i>Comparativa de productos para su uso en pavimentación urbana</i>	16
2.4	CICLO DE VIDA DE LOS PRODUCTOS CERÁMICOS	18
2.4.1	<i>Análisis del ciclo de vida de la baldosa cerámica a nivel sectorial</i>	18
2.4.2	<i>Comparativa de DAPs de productos cerámicos</i>	22
2.4.3	<i>Comparativa impactos ambientales frente a otros materiales</i>	24
2.5	PRODUCTOS CERÁMICOS INNOVADORES O CON BENEFICIOS MEDIOAMBIENTALES	26
2.5.1	<i>Productos con mejoras ambientales en la etapa de producción</i>	26
2.5.2	<i>Productos con recubrimientos funcionales durante la etapa de uso</i>	28
2.5.3	<i>Productos para nuevos campos de aplicación</i>	33

2 CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS CERÁMICOS

La metodología seguida en este bloque se basa en la recopilación de información sobre el material cerámico, analizando las tipologías de producto, las características prestacionales y ambientales en función del uso y las innovaciones en los productos cerámicos que pueden ser interesantes para su aplicación en la rehabilitación de edificios y espacios urbanos.

2.1 Tipologías de producto cerámico

Se realiza una breve introducción al producto cerámico, basada en el documento fundamentos [2], en la que se clasifican las tipologías de producto cerámico en base a la norma UNE-EN 14411:2007. Esta norma establece para las baldosas cerámicas, una clasificación básica en base a la porosidad de la pieza (medida como absorción de agua), y al método de conformado utilizado, según se recoge en la siguiente tabla:

Tipo de moldeo	Grupo Ia $E \leq 0.5\%$	Grupo Ib $0.5\% < E \leq 3\%$	Grupo IIa $3\% < E \leq 6\%$	Grupo IIb $6\% < E \leq 10\%$	Grupo III $E > 10\%$
A Baldosas extrudidas	Grupo AIa Absorción de agua muy baja	Grupo AIIb Absorción de agua baja	Grupo AIIIa Absorción de agua media-baja	Grupo AIIb Absorción de agua media-alta	Grupo III Absorción de agua alta
B Baldosas prensadas en seco	Grupo BIa Absorción de agua muy baja	Grupo BIIb Absorción de agua baja	Grupo BIIIa Absorción de agua media-baja	Grupo BIIb Absorción de agua media-alta	Grupo III Absorción de agua alta

Grupos normalizados de baldosas cerámicas. Fuente Fundamentos

Azulejo

Es la denominación tradicional de las baldosas cerámicas con una absorción de agua alta, prensadas en seco y esmaltadas. Su fabricación puede ser por monococción o bicocción. Sus características técnicas los hacen particularmente adecuados para revestimiento de paredes interiores en locales residenciales o comerciales.

medidas usuales	grosor usual	absorción de agua	carga de rotura	abrasión GL	abrasión UGL	resistencia a la helada	resistencia química
10x10 a 35x70 cm	< 10 mm	11 - 15 %	300 - 1200 N	variable	-	no	variable

Características técnicas de azulejos. Fuente Fundamentos

Gres esmaltado

Es la denominación más frecuente de las baldosas cerámicas de absorción de agua baja o media-baja, prensadas en seco, esmaltadas y fabricadas generalmente por monococción. Se conocen también bajo la denominación de pavimento gresificado, pavimento cerámico esmaltado o simplemente pavimento cerámico.

medidas usuales	grosor usual	absorción de agua	carga de rotura	abrasión GL	abrasión UGL	resistencia a la helada	resistencia química
10x10 a 35x70 cm	< 10 mm	11 - 15 %	300 - 1200 N	variable	-	no	variable

Características técnicas de gres esmaltado. Fuente Fundamentos

Gres porcelánico

Es la denominación de las baldosas cerámicas con muy baja absorción de agua, prensadas en seco, generalmente no esmaltadas y fabricadas por monococción. Se utilizan para recubrimientos interiores en edificaciones residenciales, comerciales e incluso industriales, para suelos exteriores y fachadas y, para revestimiento de paredes interiores, en este caso generalmente con acabado pulido.

medidas usuales	grosor usual	tipos	absorción de agua	carga de rotura	abrasión UGL	resistencia a la helada	resistencia química
15x15 a 60x120 cm	> 8 mm	UGL GL	< 0.1 % < 0.5 %	1800 - 5200 N	110 - 160 mm ³ variable	sí	sí variable

Características técnicas de gres porcelánico. Fuente Fundamentos

Gres rústico

Es el nombre empleado para designar las baldosas cerámicas con absorción de agua baja o media baja y extrudidas, generalmente no esmaltadas. No deben confundirse con gres esmaltado de acabado intencionalmente rústico. Sus características particulares los hacen especialmente adecuados para revestimiento de fachadas, solados exteriores (incluso de espacios públicos), suelos de locales públicos, suelos industriales, etc. Las irregularidades de color, superficie y aristas les confieren posibilidades decorativas particulares.

medidas usuales	grosor usual	absorción de agua	carga de rotura	abrasión GL	abrasión UGL	resistencia a la helada	resistencia química
11.5x11.5 a 24x40 cm	> 10 mm	1.5 - 6 %	2200 - 4500 N	-	240 - 400 mm ³	sí - no	sí

Características técnicas de gres rústico. Fuente Fundamentos

Baldosín catalán

Es el nombre tradicional de baldosas con absorción de agua desde media-alta a alta o incluso muy alta, extrudidas, generalmente no esmaltadas. La producción y el consumo son estables o con suave tendencia a la baja, y como su nombre indica, su fabricación está concentrada mayoritariamente en Cataluña. El baldosín no esmaltado se utiliza para solado de terrazas, balcones y porches, con frecuencia en combinación con olambrillas (pequeñas piezas cuadradas de gres blanco con decoración azul, o de loza esmaltada con decoración en relieve o multicolor).

medidas usuales	grosor usual	absorción de agua	carga de rotura	abrasión GL	abrasión UGL	resistencia a la helada	resistencia química
13x13 a 24x40 cm	< 8 mm	gran dispersión	500 - 1800 N	-	700 - 900 mm ³	no	variable

Características técnicas de baldosín catalán. Fuente Fundamentos

Barro cocido

Es la denominación que se aplica comúnmente a una gran variedad de baldosas con características muy diferentes, coincidentes solo en la apariencia rústica y en la alta absorción de agua y, en que la mayoría de ellas no están esmaltadas.

La producción es limitada, discontinua y muy dispersa y generalmente se fabrican en pequeñas unidades productivas y con medios artesanales.

medidas usuales	grosor usual	absorción de agua	carga de rotura	abrasión GL	abrasión UGL	resistencia a la helada	resistencia química
gran dispersión	> 10 mm	6 - 15 %	2300 - 3200 N	variable	300 - 800 mm ³	no	variable

Características técnicas de barro cocido. Fuente Fundamentos

Mosaico

Es el nombre aplicado a las piezas generalmente cuadradas y pequeñas, considerando como tales a las que pueden inscribirse en un cuadrado de 7x7cm, aunque generalmente miden entre 2x2cm y 5x5cm. La denominación mosaico solo hace referencia a las medidas de las piezas pero no a la clase de material.

Piezas complementarias

Son de muy diversas medidas y formas, incluso algunas de ellas no son planas. Existe una gran variedad, con fines decorativos como listelos, tacos, tiras, molduras y cenefas y con funciones claramente definidas: rodapiés, peldaños, zanquines, vierteaguas, escuadras, cubrecantos, pasamanos, etc.

2.2 Características técnicas

En la elección del producto cerámico para la rehabilitación de superficies interiores y exteriores, se debe tener en cuenta una serie de características básicas en función de las condiciones de uso previstas y la seguridad de que dichas características se mantendrán inalteradas durante un período de tiempo económicamente razonable.

Es por tanto imprescindible que las baldosas cerámicas cumplan con una serie de especificaciones técnicas, algunas de ellas comunes para todas ellas y otras específicas según el uso al que vayan destinadas, como se recoge en el documento de Fundamentos referenciado en el apartado anterior.

Dichas características técnicas comunes para las baldosas cerámicas, sus valores críticos y las normas para su medición, basadas en la metodología propuesta en "La Guía de la Baldosa Cerámica", se recogen en la siguiente tabla.



Diagrama de obtención de código de la baldosa. Fuente Fundamentos

En función del uso al que se destinen los recubrimientos cerámicos en la rehabilitación se debe tener en cuenta, además de las características comunes antes definidas, una serie de requerimientos técnicos los cuales se clasifican en tres grupos:

2.2.1 Características dimensionales

Hace referencia a las dimensiones, rectitud de lados, ortogonalidad y planitud de superficie (curvatura central, curvatura lateral y alabeo) de las baldosas cerámicas, propiedades que deben ser determinadas a la salida de los hornos de producción como control de calidad propio del fabricante.

Según las especificaciones de la norma UNE-EN-ISO 10545-2, debe tomarse medida de todas las características dimensionales sobre 10 piezas diferentes y comparar entre sí y con una pieza modelo de producción para comprobar las desviaciones que aparecen.

En función de que estas desviaciones, sean mayores o menores, se puede hablar de tres tipos de uso de las baldosas en función de sus características dimensionales:

- **Tipo 1:** designa baldosas que se han de instalar con junta de colocación, habitualmente en superficies horizontales. Es el menos exigente, y las piezas que se inscriben en este grupo son recomendables para pavimentos.
- **Tipo 2:** designa baldosas que pueden ser instaladas sin junta de colocación y en superficies horizontales (pavimentos).
- **Tipo 3:** designa baldosas que pueden ser instaladas sin junta de colocación en superficies verticales (revestimientos). Es el tipo más exigente.

2.2.2 Características mecánicas

Hacen referencia a la capacidad de la baldosa cerámica de soportar el peso (carga de rotura a la tracción) y la resistencia al desgaste (resistencia a la abrasión) durante su uso.

En función de los valores obtenidos al aplicar las normas UNE-EN-ISO 10545-4 y UNE-EN-ISO 10545-7 correspondientes, se pueden diferenciar entre siete grados de baldosas cerámicas:

- **Tipo 1:** Uso en revestimiento (valores de rotura a la flexión $>450\text{N}$ y resistencia a abrasión <600 revoluciones en baldosas esmaltadas).
- **Tipo 2:** Uso en pavimento con tránsito peatonal leve (valores de rotura a la flexión $>900\text{N}$ y resistencia a abrasión ≥ 600 revoluciones en baldosas esmaltadas).
- **Tipo 3:** Uso en pavimento con tránsito peatonal moderado (se diferencia del anterior sólo en el volumen de materia eliminada para baldosas no esmaltadas, que debe ser $<2.356\text{mm}^3$ para el tipo 2, y $<1.419\text{mm}^3$ para el tipo 3.)
- **Tipo 4:** Uso en pavimento con tránsito peatonal medio (valores de rotura a la flexión $>900\text{N}$ y resistencia a abrasión ≥ 1500 revoluciones en baldosas esmaltadas).
- **Tipo 5:** Uso en pavimento con tránsito intenso (valores de rotura a la flexión $>900\text{N}$ y resistencia a abrasión ≥ 2.100 revoluciones en baldosas esmaltadas).
- **Tipo 6:** Uso en pavimento con tránsito peatonal muy intenso (valores de rotura a la flexión $>900\text{N}$ y resistencia a abrasión ≥ 6.000 revoluciones en baldosas esmaltadas).
- **Tipo 7:** Uso en pavimento con tráfico rodado (valores de rotura a la flexión $>2000\text{N}$ y resistencia a abrasión ≥ 6.000 revoluciones en baldosas esmaltadas).

2.2.3 Características adicionales

Resistencia al deslizamiento

El Código Técnico de la Edificación, ha adoptado, como sistema de evaluación, el método del péndulo de fricción (UNE-ENV 12633) para definir los requisitos exigibles relativos a la resbaladricidad de los suelos en edificios y zonas de uso hospitalario, docente, comercial y de pública concurrencia. En base a este método, los pavimentos se clasifican en 4 categorías, de la 0 a la 3, donde a un mayor número le corresponde una mayor resistencia al deslizamiento, como se observa en la siguiente tabla:

Clase	Une-env 12633	tipo de superficie
0	$R_d \leq 15$	sin requisitos
1	$15 < R_d \leq 35$	interiores con pendientes menores del 6%
2	$35 < R_d \leq 45$	interiores con pendientes igual o mayores del 6% y escaleras, interiores húmedos (vestuarios, duchas, aseos, cocinas, etc.) con pendientes menores de 5%
3	$R_d > 45$	interiores húmedos (vestuarios, aseos, cocinas, etc.) con pendientes superiores a 6%, interiores húmedos con grasas, aceites, etc. exteriores y piscinas

Clasificación según su resistencia al deslizamiento. Fuente Fundamentos

Dado que la fricción depende tanto de la rugosidad de la superficie como de la geometría del relieve presente en la misma, es posible anticipar la tipología de superficie que se requerirá en cada condición de uso. De forma orientativa se incluye en la siguiente tabla, un criterio para relacionar ambos aspectos, detallando el tipo de superficie recomendada en función del nivel de resistencia al deslizamiento exigido.

Clase	Une-env 12633	tipo de superficie
0	$R_a \leq 15$	Pulido, Brillante granilla protectora, Brillante serigrafía protectora, Liso sin relieve, Liso satinado
1	$15 < R_a \leq 35$	Brillante serigrafía protectora, Liso satinado, Liso mate, Mate con granilla, Porcelánico natural, Liso con relieve, Liso mate rugoso, Porcelánico natural rugoso
2	$35 < R_a \leq 45$	Liso mate muy rugoso, Liso con aplicación antideslizante, Liso con relieve
3	$R_a > 45$	Con relieve y con aplicación antideslizante

Clase de deslizamiento según tipo de superficie. Fuente Fundamentos

Resistencia a la helada

Esta característica está enfocada al material cerámico a emplear en la rehabilitación de envolvente o espacios urbanos exteriores y relacionada directamente con la porosidad del material cerámico ya que la penetración de agua en los poros y su posterior expansión por congelación, pueden producir la rotura de la pieza o el desconchado del esmalte. Es por ello que para que el material cerámico sea considerado antihielo debe presentar una absorción de agua inferior al 3% y superar el ensayo UNE-EN ISO 10545-12.

En este ensayo, en primer lugar, se procede a la impregnación por vacío de una muestra de 10 baldosas sin defectos (al menos 0.25m²), y posteriormente, se somete a las baldosas a 100 ciclos de hielo-deshielo en una cámara frigorífica.

Al diseñar una instalación en exteriores con condiciones climáticas adversas, debe prestarse especial atención a la selección de la técnica de colocación, material de agarre y material de rejuntado, con el objeto de garantizar la ausencia de acumulación de humedad bajo el embaldosado y así, evitar la impregnación de las baldosas.

Resistencia química

Este ensayo se realiza siguiendo el método descrito en la norma ISO 10545-13, que consiste en aplicar, sobre la superficie de las probetas (5 para cada reactivo), una cantidad determinada de cada reactivo, durante un cierto tiempo.

Para evitar alteraciones superficiales del pavimento, además de la resistencia química a los productos domésticos de limpieza, exigible en cualquier condición de uso, siempre se debe, al menos, exigir la resistencia a los ácidos y a las bases en baja concentración en todos aquellos locales con requisitos de higiene especial (baños, cocinas, hospitales, etc.) o donde se requiera la utilización de agentes de limpieza enérgicos o productos químicos (terrazas, locales comerciales, usos industriales).

Por otro lado, siempre que se exija este tipo de resistencia química, se debe tener en cuenta que no resultará adecuado el rejuntado con lechada de cemento y deberá considerarse la utilización de materiales de rejuntado con resistencia química equivalente a la del pavimento (clase CG2).

2.3 Características frente a otros materiales

Se muestra una comparativa de las prestaciones del gres porcelánico respecto a otros materiales para dos aplicaciones específicas, como son las envolventes exteriores (fachadas y cubiertas) y los pavimentos urbanos. Estas comparativas han sido extraídas de varios proyectos desarrollados en el sector cerámico, que se detallan a continuación.

2.3.1 Comparativa de productos para su uso en envolventes

El material cerámico, debido a su composición química y al proceso utilizado para su fabricación, tiene una serie de características intrínsecas, entre las que cabe destacar:

- Incombustibilidad y ausencia de reacción al fuego (clase A – 96/603 CE)
- Equipotencialidad eléctrica y ausencia de generación de cargas estáticas
- Resistencia a productos químicos agresivos (atmosféricos, limpieza, etc.)
- Asepsia y resistencia a los agentes biológicos
- Elevada resistencia a la abrasión
- Resistencia al agua (lluvia, condensaciones, etc.)

En este punto se muestran los resultados de un estudio desarrollado por la empresa TAU Cerámica en el proyecto “Revestimientos cerámicos de altas prestaciones para el recubrimientos de fachadas” [3], en cuyo marco se realizó por parte de un laboratorio externo, un estudio de las características del gres porcelánico que se evaluó por comparación con las prestaciones de los productos tradicionales.

En la siguiente tabla, se recoge un análisis comparativo entre materiales, asignando una clasificación de los productos en tres niveles (alto, medio y bajo), en base a los resultados obtenidos para cada producto en los diversos ensayos de resistencia y prestaciones:

Características		materiales								
		porcelánico natural	porcelánico pulido	mármol	caliza	granito	madera	plástico	aluminio lacado	hormigón
características dimensionales	UNE-EN ISO 10545-2	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	-	-
resistencia a la flexión	UNE-EN ISO 10545-4	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	bajo	alto
resistencia a la helada	UNE-EN ISO 10545-12	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	bajo
permeabilidad	BS 4131	alto	alto	medio	medio	medio	medio	medio	alto	bajo
relación masa/superficie		medio	medio	bajo	bajo	bajo	medio	medio	alto	bajo
expansión por humedad		alto	alto	alto	alto	alto	bajo	bajo	-	medio
dilatación térmica lineal	UNE-EN ISO 10545-8	alto	alto	alto	alto	alto	bajo	bajo	bajo	medio
resistencia a las manchas		alto	alto	bajo	alto	bajo	alto	alto	medio	bajo
corrosión niebla salina	UNE 112017 ISO 9227	alto	alto	bajo	bajo	alto	alto	alto	alto	bajo
atmósfera SO ₂	UNE-EN ISO 6988	alto	alto	bajo	bajo	medio	medio	alto	alto	bajo
envejecimiento solar	UNE-EN ISO 11341 (M2, C-A)	alto	alto	bajo	bajo	medio	bajo	medio	medio	-

Nivel de prestaciones por tipo de producto. Fuente TAU cerámica

Como se observa en los resultados de la tabla, las baldosas de gres porcelánico presentan un nivel de prestaciones iguales o superior a otros productos habitualmente utilizados en el revestimiento de fachadas, garantizarse así su adecuada durabilidad en estas condiciones de uso y posicionándose como un excelente material a emplear en la rehabilitación de envolventes.

A modo de resumen, en la siguiente tabla se detallan las ventajas e inconvenientes principales de cada uno de los tipos de material:

Material	Comportamiento en fachadas	
	Ventajas	Inconvenientes
Gres	Elevada estabilidad mecánica y dimensional porcelánico Impermeabilidad Inalterable frente a agentes externos y atmosféricos	Relación masa/superficie media
Mármol y Caliza	Elevada estabilidad mecánica y dimensional	Elevada relación masa / superficie Baja resistencia a los agentes atmosféricos
Granito	Elevada estabilidad mecánica y dimensional Resistencia media a los agentes	Elevada relación masa / superficie Resistencia media a los agentes atmosféricos
Plástico	Integridad mecánica Resistencia a las manchas y a los agentes atmosféricos	Inestabilidad dimensional Resistencia media a la radiación solar
Madera	Integridad mecánica Resistencia a las manchas	Inestabilidad dimensional Pérdida de color por efecto de la radiación solar
Aluminio	Impermeabilidad Relación masa / superficie mínima	Baja resistencia mecánica Inestabilidad dimensional Resistencia media a la radiación solar
Hormigón		Elevada permeabilidad Relación masa / superficie Baja resistencia a agentes atmosféricos y manchas

Ventajas e inconvenientes del material cerámico en fachadas.

A continuación se procede a explicar con mayor detalle, el proceso de aquellos ensayos más relevantes, realizados en el estudio de TAU cerámica. En la comparativa, se ensayaron las características de los siguientes productos:

- Baldosas cerámicas de gres porcelánico no esmaltadas con distintos acabados superficiales (natural, pulido, satinado, luciente brillo y mate).
- Baldosas de gres porcelánico esmaltado (Alpax y Serie Mítica).
- Baldosas de mármol (Blanco Macael y Rojo Alicante).
- Baldosas de caliza recristalizada (CremaMarfil y Negro Marquina).
- Baldosas de granito (Blanco Cristal y Rosa Porriño).
- Revestimientos de madera para exteriores sobre laminado plástico.
- Revestimientos de plástico laminado para exteriores.
- Revestimientos de aluminio lacado sobre goma intermedia.
- Placa de hormigón para exteriores.

2.3.1.1 Características propias del producto

Como puede observarse en la siguiente tabla, en la que se muestran las **características dimensionales** de los distintos materiales, en general todos los productos presentan desviaciones dimensionales reducidas, aunque cabe destacar la elevada precisión dimensional de las baldosas de gres porcelánico.

Porcelánico Pulido	Mármol	Caliza	Granito	Madera	Plástico
Medida media (mm)					
300.3	299.4	300.1	299.0	302.4	300.6
Desviación máxima respecto a la medida media (%)					
0.00/0.01	0.08/0.24	0.03/0.03	0.16/0.13	0.03/0.00	0.07/0.03
Rectitud de lados (%)					
0.03/0.03	0.09/0.04	0.02/0.01	0.05/0.10	0.04/0.04	0.06/0.04
Ortogonalidad (%)					
0.10/0.16	0.18/0.18	0.13/0.11	0.28/0.34	0.23/0.20	0.16/0.13
Curvatura central (%)					
0.03/0.00	0.04/0.05	0.01/0.02	0.07/0.00	0.05/0.21	0.05/0.08
Curvatura lateral (%)					
0.03/0.00	0.02/0.02	0.03/0.03	0.08/0.01	0.03/0.22	0.08/0.08
Alabeo (%)					
0.02/0.02	0.06/0.06	0.02/0.02	0.02/0.02	0.06/0.06	0.03/0.03

Características dimensionales según UNE EN ISO 10545-2. Fuente TAU cerámica

En la tabla siguiente se detallan los valores calculados de **relación masa/ superficie** cubierta para los distintos tipos de productos, según los espesores habitualmente utilizados en el recubrimiento de fachadas. Destaca el revestimiento de aluminio lacado, aunque el valor total del revestimiento instalado en la fachada puede aumentar sensiblemente, ya que debido a su reducida resistencia a la flexión suele ser necesario incluir perfiles de refuerzo laterales. Las baldosas de piedra natural y placas de hormigón presentan valores elevados, debido al elevado espesor requerido para garantizar las propiedades mecánicas, mientras que el empleo de materiales técnicos de menor espesor, como las baldosas cerámicas, permite reducir sensiblemente el peso de la instalación y los costes asociados al tipo de adhesivos o sistemas de anclaje utilizados.

Muestra	Masa / Superficie (g/cm ²)
Gres porcelánico	1.85
Gres porcelánico Serie Mítica	2.29
Mármol	5.32
Caliza	5.20
Granito	5.43
Plástico	1.39
Madera	1.38
Aluminio	0.54
Hormigón	8.22

Relación masa/superficie. Fuente TAU cerámica

2.3.1.2 Prestaciones mecánicas del producto

Los resultados de **resistencia a flexión**, que se detallan a continuación han sido obtenidos para baldosas de 300mm x 300mm de cada tipo de material. Si se utiliza el modulo de rotura como parámetro de comparación, cuyo valor es una característica intrínseca del material que no depende de su forma o espesor, se comprueba que las baldosas cerámicas presentan módulos de rotura muy superiores a los productos naturales, lo que permite obtener cargas de rotura equivalentes con piezas de espesor mucho más reducido.

Muestra	Valor medio Fuerza de rotura (N)	Desv. típica Fuerza de rotura (N)	Valor medio Módulo de rotura (N/mm ²)
Gres porcelánico claro (natural)	1859	95	47
Gres porcelánico claro (pulido)	1781	125	50
Gres porcelánico claro (luciente)	1761	77	47
Gres porcelánico oscuro (natural)	2194	57	56
Gres porcelánico oscuro (pulido)	1820	135	49
Gres porcelánico oscuro (luciente)	2223	156	57
Gres porcelánico Serie Mítica	2945	78	52
Mármol claro (blanco Macael)	3094	555	11
Mármol oscuro (rojo Alicante)	2398	906	10
Caliza claro (crema marfil)	2167	435	9
Caliza oscuro (negro marquina)	3327	197	12
Granito claro (blanco cristal)	4538	748	16
Granito oscuro (rosa Porriño)	2997	520	11
Plástico	6639	1591	107
Madera	6770	2297	108
Hormigón	2975	215	3

Resistencia a flexión según UNE-EN ISO 10545-4. Fuente TAU cerámica

En la tabla siguiente se detalla el **incremento dimensional y la absorción de agua** para cada tipo de material, después de un periodo de 7 días de inmersión en agua a temperatura ambiente. Tanto las baldosas cerámicas de gres porcelánico como la piedra natural y el aluminio, presentan expansiones no significativas cuando se impregnan con agua

Muestra	Expansión por humedad (mm/m)	Absorción de agua (%)
Gres porcelánico	< 0.1	0.1
Mármol	< 0.1	0.3
Caliza	< 0.1	0.2
Granito	< 0.1	0.3
Plástico	1.5/0.6	1.4
Madera	1.5/0.7	2.0
Aluminio	< 0.1	0.2
Hormigón	0.9	10.2

Expansión por humedad. Fuente TAU cerámica

Otro de los factores que puede contribuir a la generación de tensiones en la estructura es la **dilatación térmica lineal** asociada a cambios en la temperatura ambiente o debido a la irradiación solar. Como puede observarse en la tabla, en la que se detallan los coeficientes de dilatación térmica (25-100° C) de los distintos materiales, las baldosas cerámicas, la piedra natural y el hormigón presentan valores reducidos del coeficiente de dilatación, y por lo tanto, no contribuirán a generar tensiones en el sistema de fachada.

Muestra	Coeficiente dilatación térmica lineal (°C-1)*10 ⁶	
	Paralelo	Perpendicular
Gres porcelánico	6.0	6.0
Mármol	4.6	4.1
Caliza	4.6	4.4
Granito	7.1	7.9
Plástico	9.4	19.4
Madera	9.4	19.7
Aluminio	23.1 (según bibliografía)	
Hormigón	5.8	5.2

Dilatación térmica lineal. Fuente TAU cerámica

2.3.1.3 Durabilidad frente a los agentes atmosféricos

El ensayo de **permeabilidad frente a la lluvia**, realizado en base al procedimiento descrito en la norma BS 4131, consiste en determinar capacidad de absorción de agua a través de la superficie vista de las piezas. Como puede observarse en la siguiente tabla, a excepción de las placas de hormigón, todos los materiales presentan reducida porosidad superficial, destacando especialmente las baldosas de gres porcelánico.

Muestra	Absorción de agua por la cara vista (g/cm ²)
Gres porcelánico natural	<0.001
Gres porcelánico pulido	< 0.001
Gres porcelánico luciente	< 0.001
Mármol	0.006
Caliza	0.013
Granito	0.013
Plástico	0.008
Madera	0.007
Aluminio	0.001
Hormigón	0.737

Absorción de agua. Fuente TAU cerámica

La **resistencia a la corrosión en niebla salina neutra**, permite evaluar los cambios de aspecto generados durante la exposición en una cámara de niebla salina neutra. Para ello se han realizado medidas de brillo y color utilizando un reflectómetro normalizado (ISO 2813) y un espectrofotómetro de reflectancia difusa D/8° respectivamente, previa y posteriormente a un periodo de exposición de 500 horas consecutivas.

En relación al cambio de brillo después de la exposición, las baldosas de mármol y caliza presentan una pérdida completa de su aspecto inicial, mientras que en el resto de materiales no se observa un cambio de brillo apreciable. Respecto al cambio de color, solamente las placas de hormigón y las baldosas de caliza presentan cambios definidos, apreciándose un ligero efecto en el mármol.

Muestra	Cambio de brillo		Cambio de color
	Brillo inicial	Δ Brillo	ΔE
Gres porcelánico natural	4.3	-0.4	0.21
Gres porcelánico pulido	79.2	-6.9	0.22
Gres porcelánico satinado	7.4	-1.1	0.20
Gres porcelánico luciente brillo	17.9	-1.5	0.40
Gres porcelánico luciente mate	5.4	-0.1	0.20
Gres porcelánico Serie mítica	7.7	0.8	0.76
Gres porcelánico Alpax	11.6	-0.9	0.29
Mármol	68.7	-60.9	1.60
Caliza	69	-61.5	2.15
Granito	77.5	-6.2	0.65
Plástico	9.9	-1.5	0.67
Madera	17.4	0.7	0.55
Aluminio	31.7	-2.1	0.16
Hormigón	2.5	-1.1	7.36

Resistencia a la corrosión según norma UNE 112017 (ISO 9227). Fuente TAU cerámica

Respeto a la **resistencia a la radiación solar**, se comprueba la estabilidad de las características superficiales después de periodos prolongados de exposición solar, sometiendo a las muestras al ensayo de envejecimiento acelerado que se utiliza para evaluar los elementos de carpintería metálica y pinturas. Solamente las baldosas cerámicas de gres porcelánico, tanto esmaltadas como no esmaltadas, mantienen sin alteración apreciable sus características superficiales iniciales después de 500 horas de exposición a la radiación luminosa.

Muestra	Medidas de brillo		Medidas de color
	Brillo inicial	Δ Brillo	ΔE
Gres porcelánico pulido	79.2	-10.2	0.41
Gres porcelánico Serie mítica	7.7	1.8	0.24
Gres porcelánico Alpax	11.6	-0.6	0.14
Mármol	68.7	-67.7	6.62
Caliza	69	-68.1	2.68
Granito	77.5	-7.7	1.88
Plástico	9.9	-0.8	1.44
Madera	17.4	-7.7	9.35
Aluminio	31.7	-2.3	1.11

Envejecimiento acelerado según UNE EN ISO 11341. Fuente TAU cerámica

En la tabla siguiente se detallan los resultados de **resistencia a la helada**, que consiste en una impregnación inicial mediante vacío a 400 mbar, impregnación final y daños generados después de 100 ciclos de hielo-deshielo. Todos los materiales soportan los ciclos de hielo-deshielo sin manifestar daños apreciables, a excepción de las placas de hormigón.

Muestra	Impregnación inicial (%)	Impregnación después de los 100 ciclos (%)	Nº de baldosas con defectos después de los 100 ciclos
Gres porcelánico	< 0.1	< 0.1	0
Mármol	0.1	0.1	0
Caliza	0.3	0.4	0
Granito	0.3	0.3	0
Plástico	0.2	2.1	0
Madera	0.3	2.6	0
Aluminio	0.2	0.3	0
Hormigón	9.9	Pérdida de masa	Rotura de todas las probetas

Resistencia a la helada según UNE-EN ISO 10545-12. Fuente TAU cerámica

2.3.1.4 Durabilidad frente a los agentes externos

La capacidad de retención de suciedad de un material, depende no solo de sus propiedades superficiales (textura, porosidad, rugosidad), sino también de las características del producto que genera la mancha así como del mecanismo con que se ha producido. Los mecanismos de actuación previsibles en recubrimientos de fachadas pueden reducirse principalmente a dos tipos: Agentes que actúan por impregnación y Agentes de acción pelicular. Con el fin de reproducir las condiciones de uso más desfavorables se ensayaron, para las manchas por impregnación, una solución rodamina 0.1 g/l, y para manchas de acción pelicular, un rotulador permanente de color negro.

Muestra	Valor de ΔE después de limpieza	
	Bayeta + disolvente	Estropajo + disolvente
Gres porcelánico natural	0.19	0.09
Gres porcelánico pulido	0.30	0.41
Gres porcelánico satinado	0.54	0.57
Gres porcelánico luciente brillo	0.33	0.11
Gres porcelánico luciente mate	0.22	0.30
Gres porcelánico Alpax	0.22	0.35
Mármol	7.39	1.20
Caliza	5.68	1.35
Granito	7.52	1.35
Plástico	0.23	0.04
Madera	0.51	0.42
Aluminio	0.03	0.87
Hormigón	5.28	6.93

*Ensayo manchas con rodamina
Fuente TAU cerámica*

Muestra	Valor de ΔE después de limpieza	
	Bayeta + disolvente	Estropajo + disolvente
Gres porcelánico natural	1.08	0.93
Gres porcelánico pulido	0.71	0.66
Gres porcelánico satinado	1.86	1.71
Gres porcelánico luciente brillo	0.18	0.16
Gres porcelánico luciente mate	0.10	0.07
Gres porcelánico Alpax	0.26	0.61
Mármol	9.48	9.24
Caliza	0.27	0.27
Granito	6.20	6.12
Plástico	0.18	0.23
Madera	0.42	0.14
Aluminio	1.83	1.62
Hormigón	6.20	6.12

*Ensayo manchas con rotulador
Fuente TAU cerámica*

En los ensayos de **“resistencia a las manchas de rodamina”**, a excepción del hormigón, en todos los materiales es posible eliminar las manchas originadas por la penetración de líquidos coloreados. Destacan por sus prestaciones frente a este tipo de manchas, las placas de plástico y aluminio, así como todos los tipos de baldosas de gres porcelánico en sus distintos acabados.

En los ensayos de **“Resistencia a las manchas de rotulador”**, se concluye que, a excepción de las muestras de mármol, granito y hormigón, en todos los materiales es posible eliminar las manchas visibles ($DE < 2$). Por su reducida capacidad de retención frente a este tipo de manchas, cabe destacar especialmente las baldosas de gres porcelánico con aplicación luciente (brillo o mate) y las placas de plástico laminado.

2.3.2 Comparativa de productos para su uso en pavimentación urbana

En este punto se muestran los resultados de un estudio comparativo desarrollado en el proyecto LIFECERAM [4], sobre las principales características técnicas de los productos habitualmente empleados en la pavimentación urbana. Los productos evaluados son las baldosas de piedra natural, terrazo, hormigón y gres porcelánico.



B. piedra natural 400x400x30mm



B. terrazo 400x400x40mm



Gres porcelánico 400x400x16mm



B. hormigón 250x250x30mm

Cada uno de estos productos posee una normativa propia, tanto de ensayo como de especificaciones o requisitos técnicos, lo que dificulta la comparación de sus propiedades. En la tabla siguiente se recopilan las diferentes normativas Europeas de referencia:

Tipo de baldosa	Normativa
Piedra natural	UNE-EN 1341:2013. Baldosas de piedra natural para uso como pavimento exterior. Requisitos y métodos de ensayo
Hormigón	UNE-EN 1339:2004 y UNE-EN 1339:2004/AC:2006 Baldosas de hormigón. Especificaciones y métodos de ensayo
Terrazo	UNE-EN 13748-2:2005 Baldosas de terrazo. Parte 2: Baldosas de terrazo para uso exterior
Gres porcelánico	UNE-EN 14411:2013 Baldosas cerámicas. Definiciones, clasificación, características, evaluación de la conformidad y marcado

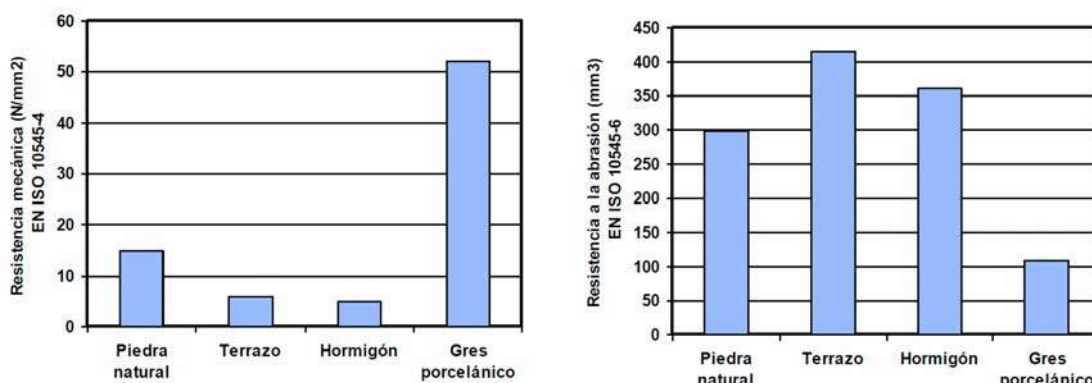
Normas europeas aplicables a los diferentes tipos de pavimento urbano. Fuente LIFECERAM

Para poder comparar los materiales, se estudiaron los diferentes procedimientos de ensayo de cada una de las normativas, y se seleccionaron unas técnicas de ensayo únicas para comparar que los diferentes materiales sean capaces de reproducir de la forma más precisa posible el comportamiento real de las baldosas durante su utilización como pavimento urbano. En la siguiente tabla se recogen los resultados obtenidos.

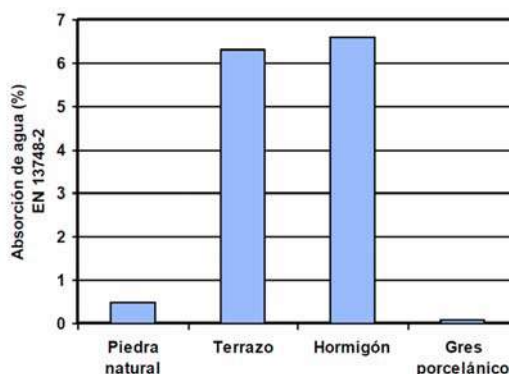
Características técnicas	Piedra natural	Hormigón	Terrazo	Gres porcelánico
 Carga de rotura. EN ISO 10545-4 (N)	9500	2500	4500	7000
 Resistencia mecánica. EN ISO 10545-4 (N/mm ²)	15	5	6	50
 Resistencia a la abrasión. EN ISO 10545-6 (mm ³)	300	360	415	120
 Resistencia al impacto. Cahier CSTB 3735 Anexo 6	Resiste	Resiste	Resiste	Resiste
 Resistencia al deslizamiento. ENV 12633. USRV	> 45	> 45	> 45	> 45
 Resistencia hielo/deshielo EN ISO 10545-12	Resiste	Resiste	Resiste	Resiste
 Absorción de agua capilaridad. EN 13748-2 (g/cm ²)	0,01	0,28	0,47	< 0,01
 Absorción de agua total. EN 13748-2 (%)	0,5	6,6	6,3	0,1
 Expansión por humedad. EN ISO 10545-10 (mm/m)	0,8	1,3	1,2	< 0,1
 Dilatación térmica. EN ISO 10545-8 (K ⁻¹)	5,0 x 10 ⁻⁶	5,3 x 10 ⁻⁶	4,6 x 10 ⁻⁶	5,7 x 10 ⁻⁶
 Retención de suciedad. Mancha carbón activo	Baja	Media	Media	Muy baja

Características técnicas de los materiales para pavimentación urbana. Fuente LIFECERAM ITC

En las siguientes gráficas se comparan los resultados de los diferentes materiales en función de algunas prestaciones, como la resistencia mecánica, la resistencia a la absorción y la absorción de agua.



Comparativa Resistencia mecánica y a la abrasión. Fuente LIFECERAM ITC



Comparativa absorción de agua. Fuente LIFECERAM ITC

2.4 Ciclo de vida de los productos cerámicos

En este punto se recopila información relacionado con el Análisis del ciclo de vida de la baldosa cerámica, se muestran los resultados medios de los impactos de las tipologías de producto cerámico más producidas en el sector cerámico a nivel nacional y se realiza una comparativa del impacto ambiental y el coste del producto cerámico respecto a otros materiales empleados como pavimentos de espacios interiores.

2.4.1 Análisis del ciclo de vida de la baldosa cerámica a nivel sectorial

Las baldosas cerámicas, a lo largo de todo su ciclo de vida (extracción, producción, distribución, uso, mantenimiento, valorización o fin de vida) generan una serie de impactos ambientales. Para cuantificar estos impactos, se desarrolló un Análisis de ciclo de Vida (ACV) de la baldosa cerámica a nivel sectorial, que permitió obtener unos valores de referencia científicamente válidos y objetivos, sobre las diversas cargas ambientales de la baldosa cerámica.

La metodología de trabajo seguida para la elaboración del ACV, se basó en las normas de referencia: UNE EN ISO 14040:2006 y UNE EN ISO 14044:2006. En el proceso de obtención de los datos de inventario necesarios para la realización del ACV, participaron más de 50 empresas españolas del sector cerámico (fabricantes de producto acabado, atomizado, esmaltes, etc.) y para completar los datos relativos a otras etapas del ciclo de vida de la baldosa, se utilizó información bibliográfica y la base de datos del programa informático GaBi de PE International.

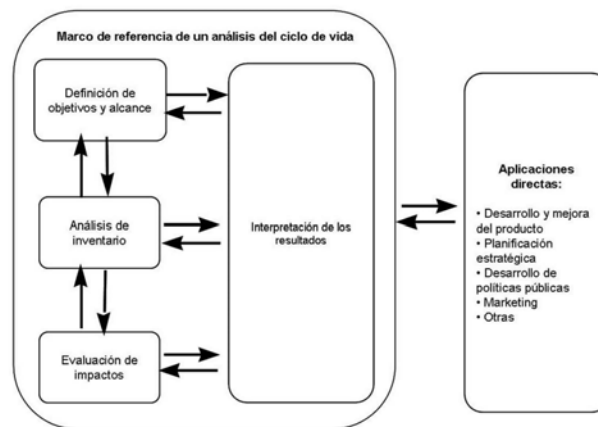
En el artículo "Análisis de ciclo de vida y reglas de categoría de producto en la construcción. El caso de las baldosas cerámicas" [5], se muestran los resultados obtenidos por el Grupo de Investigación de Gestión Ambiental (GiGa, ESCI-UPF) y el Instituto de Tecnología Cerámica (ITC-AICE), contando con la colaboración de la Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos (ASCER) a través de sus asociados, que se resumen a continuación.

En primer lugar se define la **metodología de Análisis de Ciclo de Vida**. El ACV es una herramienta válida para determinar, clasificar y cuantificar los impactos ambientales de un producto o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas que lo constituyen hasta que se convierte en un residuo. Tal y como queda reflejado en la norma UNE EN ISO 14040, la metodología ACV permite determinar los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados a un producto a lo largo de su ciclo de vida: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos potenciales asociados a estas entradas y salidas e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación a los objetivos del estudio.

El ACV se estructura en cuatro grandes fases:

- **Definición de objetivos y alcance del estudio:** Incluye tanto la definición exacta del sistema a estudiar, como el alcance y la profundidad del estudio.
- **Análisis de inventario:** recogida de datos para cuantificar las entradas y salidas de materia y energía del sistema de estudio definido en la fase anterior. Se debe llegar hasta los flujos elementales, es decir, las entradas y salidas directas al medio natural.
- **Evaluación de impacto:** identificación, caracterización y cuantificación de los efectos sobre el medio ambiente del sistema estudiado.
- **Interpretación de los resultados:** se identifican los puntos significativos basados en los resultados obtenidos en la fase anterior, verificando su integridad, sensibilidad y coherencia. Además se añaden las conclusiones del estudio así como sus limitaciones y recomendaciones.

En la siguiente figura se muestra el esquema de las fases de un ACV:



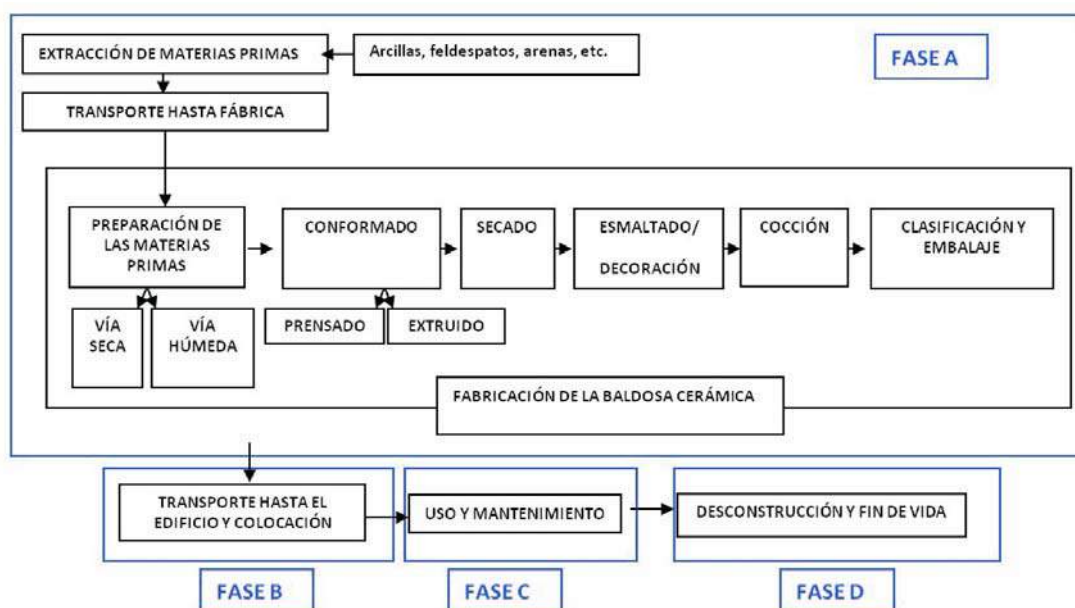
Fases de ACV. Fuente ITC

En segundo lugar, se marcan los **objetivos y alcance** del ACV. En esta fase de la metodología, se definen las características funcionales del producto, cuya función principal en el caso de las baldosas es la de pavimentar o revestir. Además se define la unidad funcional, que consiste en el “revestimiento de 1 m² de superficie (pared o suelo) de un edificio con gres/azulejo durante 50 años considerando un uso residencial, comercial o sanitario”.

En el estudio, se analizaron los comportamientos ambientales de tres tipos de baldosas cerámicas considerando dos coloraciones del soporte distintas, consideradas como las tipologías de mayor producción en el territorio español para poder obtener de esta forma el perfil medio característico del sector:

- Azulejo de pasta roja (AR) o blanca (AB), agrupado como Azulejo medio, para revestimiento de paredes.
- Gres esmaltado de pasta blanca (GEB) o pasta roja (GER), agrupado como Gres esmaltado medio, para pavimento
- Gres porcelánico (GP), para pavimento.

Se analizó el ciclo de vida de estas tres baldosas cerámicas, incluyendo la extracción de las materias primas, su transporte, la fabricación del producto, su distribución hasta el punto de consumo y la gestión de sus residuos, como se muestran en el siguiente esquema:



Ciclo de vida de las baldosas cerámicas. Fuente ITC

La tercera fase, consiste en el **análisis de inventarios**, en el que se recogen las entradas y salidas de cada uno de los procesos que se incluyen en los límites del sistema estudiado. Al tratarse de un análisis a nivel sectorial, los datos utilizados para el análisis son promedios ponderados en función de la producción, establecidas entre un número representativo de fabricantes del sector.

La recogida de datos se realizó mediante cuestionarios compilando datos sobre consumos y, orígenes de las materias primas y energía utilizadas (energía térmica o electricidad), consumos de agua, materiales de embalaje, medios y distancias de transporte de la pieza finalizada, residuos producidos y emisiones directas producidas en la fábrica.

Finalmente, se procede a la **evaluación de impactos e interpretación**. Las categorías de impacto ambiental escogidas para la evaluación de Impactos son las siguientes:

Categoría de impacto	Agotamiento de Recursos Abióticos (ADP)
Resultado del inventario:	Extracción de minerales y combustibles fósiles (en kg)
Factor de caracterización y unidades del indicador	Potencial de agotamiento para cada extracción de minerales y combustibles fósiles (kg de Sb equivalente/kg extraídos)
Categoría de impacto	Acidificación (AP)
Resultado del inventario:	Emisiones de sustancias acidificantes (en kg)
Factor de caracterización y unidades del indicador	potencial de acidificación de cada emisión ácida (kg de SO ₂ equivalente/kg de emisión ácida)
Categoría de impacto	Calentamiento Global (GWP)
Resultado del inventario:	Emisiones atmosféricas de gases de efecto invernadero (en kg)
Factor de caracterización y unidades del indicador	Potencial de calentamiento global de cada gas de efecto invernadero en un horizonte temporal de 100 años (kg de CO ₂ equivalente/kg de gas de efecto invernadero)
Categoría de impacto	Formación de foto-oxidantes (POPC)
Resultado del inventario:	Emisiones de sustancias (VOC, CO) al aire (en kg)
Factor de caracterización y unidades del indicador	Potencial de creación de ozono fotoquímico de cada emisión de VOC o CO al aire (kg de etileno equivalente/kg de emisión foto-oxidante)
Categoría de impacto	Potencial de agotamiento del ozono estratosférico (ODP)
Resultado del inventario:	Emisiones de sustancias al aire (en kg)
Factor de caracterización y unidades del indicador	Potencial de agotamiento de cada emisión en el aire (kg de R11 equivalente/kg de emisión)
Categoría de impacto	Eutrofización (EP)
Resultado del inventario:	Emisiones de nutrientes al aire, agua o suelo (en kg)
Factor de caracterización y unidades del indicador	Potencial de eutrofización de cada emisión eutrofizante en el aire, agua o suelo (kg de PO ₄ ³⁻ equivalente/kg de emisión eutrofizante)

Indicadores de impacto utilizados. Fuente ITC

Además de estas categorías, en la evaluación de impactos se incluyeron una serie de indicadores de flujo para ayudar a la toma de decisiones y la interpretación de resultados. Estos indicadores son:

- Consumo de energía primaria: cantidad total de energía calorífica bruta consumida por el sistema, procedente tanto de recursos renovables como no renovables, teniendo en cuenta tanto los consumos directos para la fabricación del producto, como los indirectos derivados de las actividades para la obtención de la energía directa. Unidad de medida: Mega Joules (MJ).

- Consumo de agua: cantidad total de agua dulce consumida por el sistema. Se calcula sumando la cantidad de todos los consumos de agua que se producen a lo largo del ciclo de vida del producto. Unidad de medida: kilogramos (kg).

De los resultados obtenidos en el estudio, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El ACV a escala sectorial ha permitido evaluar el impacto ambiental total y de cada una de las fases del ciclo de vida de los tipos de baldosas cerámicas mayoritarios, detectando aquellas fases y procesos que contribuyen en mayor medida en cada una de las categorías de impacto evaluados. Los resultados obtenidos muestran que, para todas las baldosas analizadas, la **fase de fabricación** es la que mayor impacto tiene.
- Los resultados han determinado que la fase de fabricación es la que contribuye en mayor medida al impacto ambiental de este producto. Esto se debe mayoritariamente al consumo de gas natural en los procesos de cocción, secado por atomización y secado de las piezas conformadas, provocando una contribución del 71% sobre el indicador de Potencial de Calentamiento Global (PCG).
- Valorando las posibles mejoras ambientales, se ha podido comprobar como el ahorro energético durante la fase de fabricación puede significar una reducción considerable en las emisiones de gases de invernadero.
- Durante su fase de uso, la baldosa cerámica es un producto que no requiere consumos energéticos para su correcto funcionamiento, y su vida útil puede ser equivalente a la del edificio mismo. La única operación de mantenimiento para este tipo de recubrimiento es la de limpieza. Cabe destacar que la actividad de limpieza, convenientemente especificada, es aplicable a otros tipos de materiales utilizados como recubrimiento. Para esta operación, se ha identificado como las diferentes opciones y frecuencia de lavado influyen en los consumos de agua y detergente. De hecho, el tipo de limpieza en función del lugar de aplicación de las baldosas (residencial, comercial y sanitaria) influye considerablemente los potenciales de eutrofización, destrucción de recursos abióticos y consumo de energía primaria. Aumentar la frecuencia de lavado significa aumentar proporcionalmente estos impactos.
- También cabe destacar la fase de transporte de las baldosas hasta el lugar de destino debido a su impacto significativo, aunque es claramente inferior a las fases de fabricación y uso. Se ha podido comprobar que en el caso de largas distancias y para transportar la misma cantidad de producto, el transporte terrestre tiene un impacto ambiental mayor que el marítimo.
- El esfuerzo de investigación y recopilación de datos de inventario realizado para este ACV ha sido sumamente útil a la hora de redactar las Reglas de Categoría de Producto para los revestimientos cerámicos. La definición de estas RCP para las baldosas cerámicas, ha permitido a las empresas, de forma independiente, elaborar estudios de ACV y Desarrollo de Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) de sus productos individuales. Estas DAP son utilizadas tanto por el fabricante para conocer mejor su sistema productivo y poder optimizarlo y también como herramienta de marketing y comunicación ambiental, útil para ser utilizada como criterio de compra.

2.4.2 Comparativa de DAPs de productos cerámicos

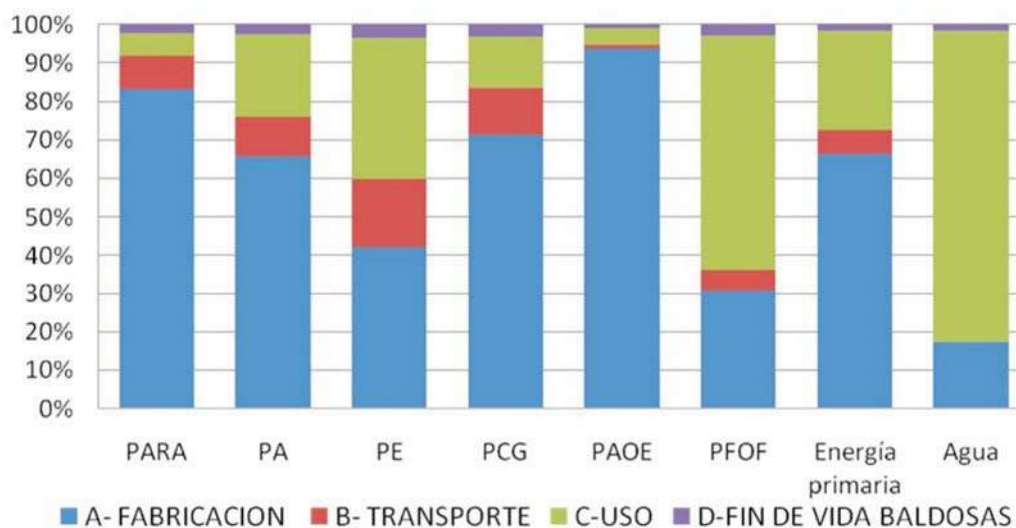
En este punto se muestran los valores de las categorías de impacto para cada tipo de baldosa, obtenidos en el estudio comentado en el punto anterior:

Tipología	Unidades	Gres Porcelánico medio	Gres esmaltado medio	Azulejo medio
Agotamiento de Recursos Abióticos	kg de Sb eq.	1,1E-01	1,0E-01	1,0E-01
Potencial de Acidificación	kg de SO ₂ eq.	7,9E-02	7,0E-02	6,8E-02
Potencial de Eutrofización	kg de PO ₄ ³⁻ eq.	9,6E-03	9,1E-03	8,9E-03
Potencial de Calentamiento Global	kg de CO ₂ eq.	1,8E+01	1,7E+01	1,9E+01
Potencial de Agotamiento de Ozono Estratosférico	kg de R11 eq.	2,1E-07	1,7E-07	1,8E-07
Potencial de Formación de Ozono fotoquímico	kg de C ₂ H ₄ eq.	2,0E-02	2,0E-02	1,9E-02
Consumo de Energía Primaria	MJ	3,0E+02	2,9E+02	3,0E+02
Consumo de Agua	kg	3,4E+02	3,3E+02	3,4E+02

Perfil ambiental para cada tipo de baldosas (unidades/m²). Fuente ITC

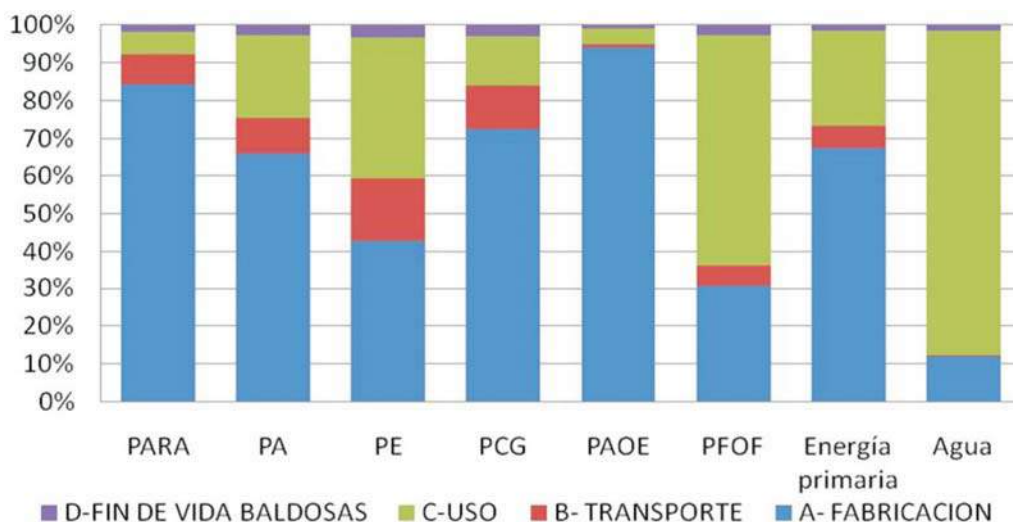
A continuación muestran las contribuciones en %, de las fases de ciclo de vida a las categorías de impacto para los tres productos cerámicos estudiados: gres porcelánico, gres esmaltado y azulejo.

El siguiente gráfico corresponde a los impactos del Gres porcelánico:



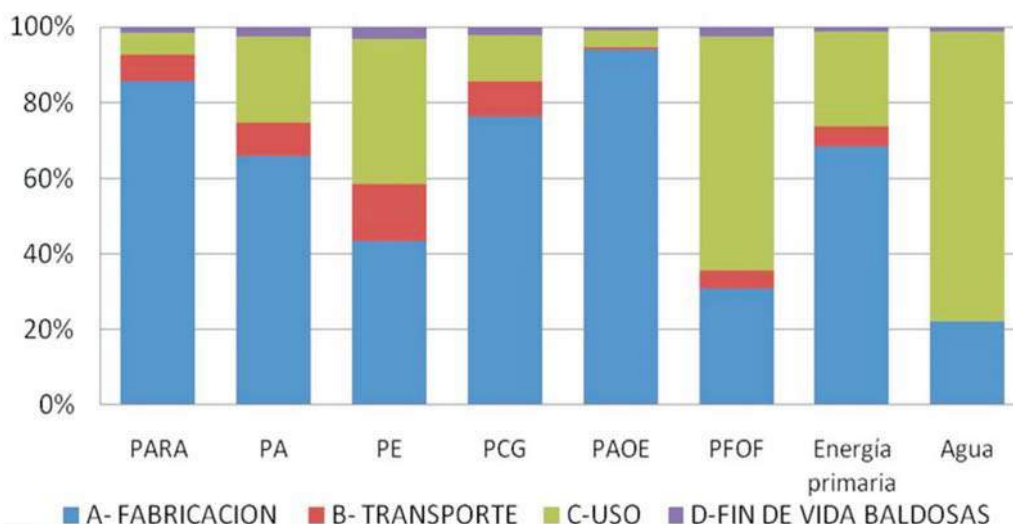
*Contribuciones de las fases de ciclo de vida a las categorías de impacto para el GRES PORCELÁNICO
Fuente ITC*

El siguiente gráfico corresponde a los impactos del Gres esmaltado (medio):



*Contribuciones de las fases de ciclo de vida a las categorías de impacto para el GRES ESMALTADO MEDIO
Fuente ITC*

Por último, en el siguiente gráfico se muestran los impactos del Azulejo (medio):



*Contribuciones de las fases de ciclo de vida a las categorías de impacto para el AZULEJO MEDIO.
Fuente ITC*

Como se puede observar, las fases que mas influyen en los indicadores ambientales (energía y agua) son las de fabricación y uso. Los impactos de fabricación son los más representativos y es en esta fase donde se deben focalizar los esfuerzos a la hora de disminuir los impactos ambientales, ya que éstos quedan dentro del alcance del productor.

Respecto a los generados en la fase de uso, cabe destacar que son derivados exclusivamente de la actividad de limpieza, actividad que depende altamente de los hábitos del usuario final de la baldosa y del escenario en el que se encuentre, por lo que puede ser un dato subjetivo. De hecho, la actividad de limpieza es aplicable cualquier tipo de recubrimiento, sea cual sea el material. Sin embargo, si que se debe tener presente, que en la vida útil del producto cerámico, no se contemplaron los impactos asociados a la sustitución de las baldosas (fase de uso) y esto implicaría un ahorro en impactos potenciales provocados por el reemplazo de material, al ser el material cerámico un material de elevada durabilidad durante su vida útil (50 años).

2.4.3 Comparativa impactos ambientales frente a otros materiales

La comparativa de las Declaraciones Ambientales de diferentes productos es compleja, ya que se deben comparar DAPs desarrolladas con los mismos programas (IBU, EPD), en el mismo periodo y con dirigidas a los mismos usos o aplicaciones.

Por ello, para el desarrollo de la siguiente comparativa de impactos ambientales y económicos de los productos cerámicos frente a otros materiales, se ha empleado la herramienta informática Solconer [6], promovida por diputación de Castellón, que permite la evaluación de soluciones constructivas cerámicas respecto a otros materiales de la competencia para un determinado uso.

Actualmente, esta herramienta solo permite la evaluación de soluciones constructivas para particiones horizontales, por ello en esta comparativa se evaluarán los impactos ambientales y los costes de los materiales empleados para pavimentación interiores. Para ello se consideran únicamente los datos que la herramienta ofrece sobre la dermis de las Soluciones Constructivas (entendiendo por dermis, el material de acabado de la solución constructiva + material de agarre).

Para el desarrollo de la comparativa con la herramienta, se han definido los siguientes escenarios, que permite evaluar en igualdad de condiciones los distintos materiales de acabado:

- Uso: Residencial
- Intensidad de tránsito: Baja
- Tipo de local: Seco
- Sin necesidades especiales de higiene
- Frecuencia de mantenimiento baja.

Indicador		Unidades	Baldosa Cerámica	Piedra Natural	Suelo Laminado	Loseta de PVC	Moqueta
			50 años	50 años	15 años	20 años	10 años
AMBIENTALES	Potencial de calentamiento global (GWP)	kg CO2-Equiv	1.41 E1	7.60 E1	1.97 E1	2.36 E1	1.53 E2
	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico (ODP)	kg R11-Equiv.	1.53 E-4	9.87 E-6	3.37 E-6	2.29 E-5	1.92 E-3
	Potencial de acidificación del suelo (AP)	kg SO2-Equiv.	4.77 E-2	3.46 E-1	2.09 E-1	7.65 E-2	4.48 E-1
	Potencial de eutrofización (EP)	kg Phosphate-Equiv.	6.51 E-3	7.05 E-2	4.98 E-2	9.17 E-3	8.16 E-2
	Potencial de formación de ozono troposférico (POCP)	kg Ethene-Equiv.	4.33 E-3	3.22 E-2	2.08 E-2	1.80 E-2	5.44 E-2
	Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos fósiles (ADP-combustibles fósiles)	MJ	1.71 E2	9.56 E2	7.73 E2	4.97 E2	1.72 E3
	Valoración		6	5.1	5.6	5.9	2.7

Comparativa de indicadores ambientales Solconcer. Elaboración propia

Indicador		Unidades	Baldosa Cerámica	Piedra Natural	Suelo Laminado	Loseta de PVC	Moqueta
			50 años	50 años	15 años	20 años	10 años
ECONÓMICOS	Coste de fabricación	€/m2	20.65	29.82	11.68	22.95	15.41
	Coste de transporte	€/m2	0.54	1.26	0.12	0.07	0.05
	Coste de construcción	€/m2	10.81	13.32	3.46	6.53	4.33
	Coste de limpieza	€/m2	0.42	0.42	1.12	1.12	7.62
	Coste de sustitución	€/m2	0.00	0.00	55.00	72.05	101.85
	Coste de reparación	€/m2	0.00	113.00	0.00	0.00	0.00
	Coste de fin de vida	€/m2	8.68	10.66	3.07	6.47	5.67
	Coste total	€/m2	41.1	168.5	74.5	109.2	134.9

Comparativa de indicadores económicos Solconcer. Elaboración propia

Como se observa en los resultados de las comparativas, tanto a nivel ambiental, como a nivel económico, el material cerámico obtiene los mejores resultados durante el periodo de tiempo evaluado (50 años), gracias a su vida útil de 50 años y a la durabilidad durante su vida útil que evita las operaciones de reparación y sustitución, mientras que en otros materiales, como en el caso de la piedra natural se requieren operaciones de reparación mediante pulido o en el caso de materiales con vida útiles inferiores, como el suelo laminado, la loseta o la moqueta se requieren de operaciones de sustitución.

En la comparativa, no se ha contemplado el terrazo y el parquet multicapa al ser productos que no disponen de DAP. La definición en detalle de cada uno de los escenarios puede extraerse de la herramienta Solconcer.

2.5 Productos cerámicos innovadores o con beneficios medioambientales

Se recopilan las características innovadoras o que aportan beneficios medioambientales, que actualmente se están aplicando en el desarrollo de productos cerámicos y que pueden ser empleados en la rehabilitación de espacios interiores, envolventes de edificios y espacios urbanos. La recopilación de información se realiza considerando diversas fuentes, entre las que destacamos, los fabricantes del sector cerámico, informes de los ganadores de Alfa de oro en las distintas ediciones de Cevisama y proyectos de ecodiseño [7].

2.5.1 Productos con mejoras ambientales en la etapa de producción

Se describen los productos que aportan mejoras ambientales durante la etapa de producción

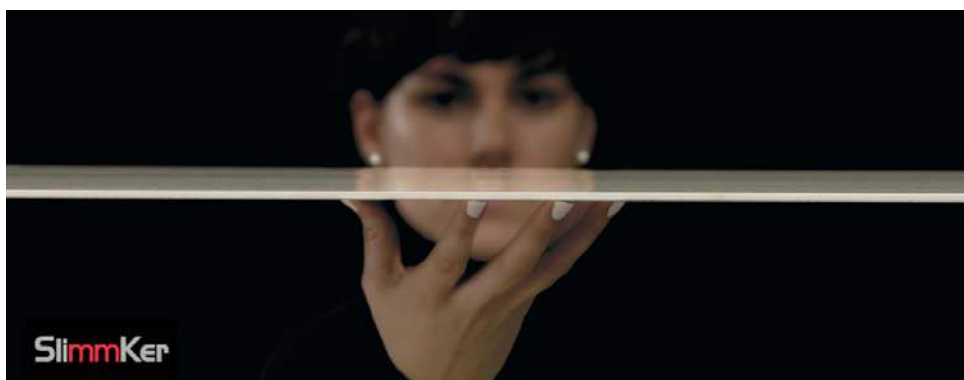
2.5.1.1 Reducción del espesor de las piezas cerámicas. Láminas cerámicas

En el año 2002 se presentó la primera planta cerámica para fabricar piezas de gres porcelánico de grandes dimensiones, con un espesor muy inferior al que habitualmente presentan las baldosas. Posteriormente, esta tipo de planta fue perfeccionada y actualmente puede llegar a fabricar piezas de 3600 x 1200 milímetros y un espesor de 3 milímetros aunque debido a su fragilidad, normalmente se sirven encoladas de dos en dos interponiendo algún tipo de malla, como la fibra de vidrio.

Estos productos tienen una serie de ventajas medioambientales, entre las que cabe señalar:

1. Reducción del consumo de materias primas (en la fase de fabricación)
2. Reducción del consumo de energía (en las fases de fabricación y transporte)
3. Reducción de las emisiones a la atmósfera de partículas de CO₂, Nox, So₂, HF, HCl y metales pesados
4. Reducción de los residuos generados
5. Reducción del volumen de almacenamiento en stock
6. Reducción de los requisitos de anclaje debido a su menor pesos y espesor
7. Optimización y reducción de las emisiones de CO₂ en la fase de transporte

En el campo de la rehabilitación se considera un material con gran potencial, al permitir su instalación directamente sobre el revestimiento existente. Algunas de las empresas con mayor relevancia en el desarrollo de esta tipología de producto son: Inalco, Thesize, laminam y Levantina.



Producto Slimmker Inalco

2.5.1.2 *Incorporación de residuos en el producto*

La incorporación de residuos producidos en el proceso de producción de las baldosas, en el propio producto cerámico es una estrategia que están empleando diversas empresas del sector. De este modo, muestran su compromiso con el medio ambiente en todas las etapas del proceso de fabricación, desde el diseño inicial hasta la producción final, pasando por la distribución y el ciclo de vida del producto. Entre las ventajas ambientales de estos productos, podemos destacar:

1. Reducción de Emisiones de CO₂ y ahorro energético
2. Reciclaje del 100% de las pérdidas de producción y del material desechado en el control de calidad
3. Vertido cero
4. Recuperación del agua empleada en el proceso productivo
5. Reciclaje selectivo de diferentes residuos.
6. Reciclaje de todo lo que no puede reutilizarse en el proceso productivo

Algunas de las empresas que están desarrollando productos cerámicos son: Plaza (Eco-logik) Roca (Greentiles), inalco (clean System), Porcelanosa"Ston-Ker Ecologic", etc.

2.5.1.3 *Procesos de producción alternativos*

La empresa Keros Cerámica presentó en Cevisama 2011, DRYTILE, un producto de gres porcelánico obtenido mediante un proceso de fabricación alternativo a la vía húmeda. La granulación frente a la atomización se caracteriza principalmente por un consumo de agua y energía mucho más reducido y, por tanto, por su menor impacto medioambiental. Concretamente, mediante el proceso estudiado y validado por esta empresa se han obtenido reducciones en un 55% del consumo de energía, un 75 % el consumo de agua y en un 65%.las emisiones de CO₂.

2.5.1.4 *Pavimentos urbanos con 0 residuos*

En el proyecto Europeo LIFE CERAM, referenciado en el apartado anterior [4], se han estudiado, cuantificado y caracterizado los distintos residuos que se generan en el proceso de fabricación cerámico, así como los residuos que generan empresas de fabricación de vidrio y empresas vinculadas a la energía. A partir de estos estudios, se definirá la composición de las materias primas que permitirán el desarrollo de un nuevo producto destinado a la pavimentación urbana.

Los residuos caracterizados en el proceso de fabricación de baldosas, se pueden clasificar en:

1. Tiestos crudos y polvo de aspiraciones (azulejo de cocción roja, gres esmaltado, porcelánico esmaltado, etc)
2. Tiestos cocidos (azulejo de cocción roja, gres esmaltado, porcelánico esmaltado, etc)
3. Otros residuos del proceso de fabricación de baldosas (fangos cerámicos, residuos de procesos de pulido y rectificado y residuos de los filtros de depuración de los hornos)
4. Los residuos caracterizados en el proceso de fabricación de fritas y esmaltes son Lodos cerámicos, polvo de frita y sólidos cerámicos, mientras que los residuos no cerámicos son residuos de vidrio hueco, de vidrio plano y cenizas volantes de las centrales térmicas.

A partir de estos residuos, se define que el soporte del nuevo pavimento debería incluir una proporción elevada de tiestos crudos y polvo de aspiraciones, para asegurar el correcto procesado en crudo. Por otra parte, la elevada fundencia que presentan los vidrios, lodos de pulido y fangos de esmalte, indican que puede ser adecuado su uso para evitar problemas durante el proceso de cocción. En cuanto al engobe y esmalte, se plantea su obtención a través de la mezcla de lodos y polvo de frita, con los que se preparará posteriormente una nueva frita que se convertirá en el engobe definitivo del producto.

2.5.1.5 *Geopolímeros*

Actualmente se están realizando trabajos de investigación sobre el empleo de geopolímeros [8], como nueva técnica de procesamiento del material cerámico, con el objetivo de mejorar el ahorro energético y de bajo coste para la fabricación de baldosas cerámicas.

Los geopolímeros son polímeros silicoaluminosos no cristalinos que se forman mediante la mezcla de soluciones silicato-alcálinas con materiales silicoaluminosos reactivos en condiciones de temperatura normales. Las reacciones de geopolimerización constan de una etapa de disolución y otra de policondensación. Diferentes materias primas, que incluyen la utilización del metacaolín y otras meta-arcillas, así como materias primas secundarias tales como cenizas volantes, escorias y residuos cerámicos son, en general, adecuadas para la geopolimerización.

Las propiedades de los geopolímeros difieren significativamente debido a la reactividad de las materias primas, a la composición de los activadores y a las condiciones de endurecimiento (curado). La etapa de curado ofrece la posibilidad de alcanzar importantes ahorros de energía en el proceso de fabricación cerámica; no es necesaria una etapa de cocción a alta temperatura para obtener materiales que son parecidos a los cerámicos en cuanto a su estructura y propiedades. Podrían fabricarse baldosas cerámicas resistentes al agua sin necesidad de cocción.

Entre las ventajas de esta nueva tecnología, destacan:

1. **Ahorro de energía:** Los geopolímeros endurecen bajo condiciones climáticas normales y no requieren tratamientos de calor a altas temperaturas. En consecuencia, el potencial de ahorro de energía es considerable (las etapas de secado y cocción utilizan alrededor del 65% de la energía total necesaria para el proceso cerámico).
2. **Materias primas alternativas:** En general, se puede utilizar una amplia variedad de materias primas. Además de metacaolines de alta pureza, es posible utilizar diferentes meta-arcillas y productos industriales secundarios como cenizas volantes. El geopolímero funciona como una fase de aglutinado y puede diluirse hasta un 30% mediante la utilización de diferentes tipos de materiales de relleno.
3. **Reducción de emisiones de CO₂:** Debido a que las baldosas cerámicas se cuecen a una temperatura de 1100-1200 °C, se producen enormes cantidades de emisiones de CO₂. Al utilizar geopolímeros, que se endurecen a temperaturas inferiores (25-150°C), es posible reducir de forma importante dicha fuente de contaminación.

2.5.2 *Productos con recubrimientos funcionales durante la etapa de uso*

Se describen los productos que aportan mejoras ambientales durante la etapa de uso a través del desarrollo de recubrimientos funcionales.

2.5.2.1 *Cerámicas fotocatalíticas y Biocidas*

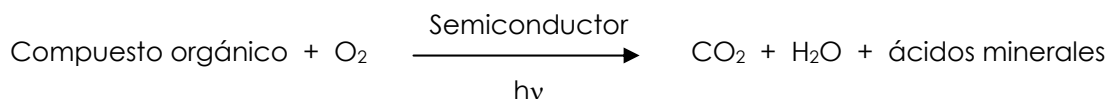
La fotocatálisis [9], es un proceso en el que la incidencia de radiación ultravioleta sobre un semiconductor produce la degradación de la materia orgánica en contacto con el mismo. Este proceso encuentra diversas aplicaciones que requieren el uso del fotocatalizador (semiconductor) en suspensión o soportado sobre un sustrato.

La aplicación de recubrimientos fotocatalíticos sobre sustratos cerámicos da lugar a la obtención de superficies multifuncionales con propiedades autolimpiantes relacionadas con la capacidad de degradación e incluso mineralización de compuestos orgánicos presentes en el agua o el aire.

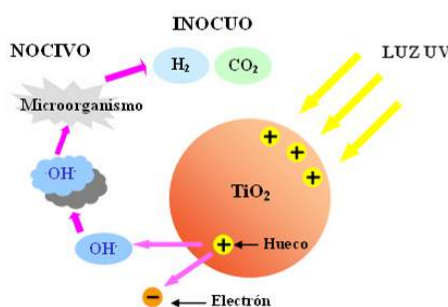
En el sector cerámico, se suele emplear el **Óxido de Titanio** como agente fotocatalítico o biocida (agente oxidante) para aquellas aplicaciones exteriores que reciben radiación ultravioleta, debido a su estabilidad en disolución acuosa y no toxicidad. Por otra parte, existen otros agentes biocidas no oxidantes, como la **Plata**, enfocado para aplicaciones

interiores, que no reciben radiación ultravioleta directa. En primer lugar, se explica el funcionamiento del **Óxido de Titanio**:

El efecto biocida es un proceso en el cual tiene lugar una reacción fotocatalítica producida por la absorción de radiación por parte del TiO_2 . La fotocatalisis es un proceso en el que la incidencia de radiación ultravioleta sobre un semiconductor produce la degradación de la materia orgánica en contacto con el mismo. El proceso transcurre según la siguiente reacción:



En la siguiente figura se muestra un esquema del mecanismo de eliminación de los microorganismos biológicos por parte del TiO_2 fotocatalítico.



Mecanismo del efecto biocida por parte del TiO_2 fotocatalítico.

El proceso fotocatalítico comienza con la generación de pares electrón/hueco en las partículas del semiconductor por efecto de la luz. Así, cuando sobre el semiconductor incide un fotón con una energía $h\nu$ igual o superior al salto de banda del mismo, se produce el salto de un electrón (e^-) de la banda de valencia a la de conducción, generándose un hueco (h^+) en la primera. Los electrones que llegan a la banda de conducción pueden desplazarse a través de la red del semiconductor y del mismo modo pueden hacerlo los huecos generados en la banda de valencia. Los electrones y los huecos generados pueden migrar a la superficie del semiconductor llevando a cabo una transferencia electrónica con las sustancias adsorbidas en la superficie de la partícula.

De este modo, los huecos formados oxidan el agua adsorbida en la superficie formando radicales hidroxilo ($\cdot\text{OH}$) con un fuerte poder oxidante. Los ($\cdot\text{OH}$), a su vez, reaccionan con los compuestos orgánicos, produciendo radicales libres (moléculas inestables que tienen un electrón desapareado), que con el oxígeno molecular presente, comienzan una serie de reacciones en cadena que en un corto plazo de tiempo degradan la materia orgánica hasta CO_2 y H_2O .

Cuando el fotocatalizador se aplica como recubrimiento, se utilizan nanopartículas de TiO_2 que pueden ser aplicadas sobre distintos tipos de sustratos como papel, madera, plástico, vidrio o cerámica y dan lugar a la obtención de superficies multifuncionales que se denominan autolimpiantes. La propiedad de autolimpieza se debe a los efectos fotocatalítico e hidrófilo que proporciona el recubrimiento. Ambos efectos son debidos a la absorción de radiación por parte del TiO_2 , el primero se caracteriza porque produce una oxidación que destruye la materia orgánica en contacto con la superficie y el segundo porque da lugar a la reducción del ángulo de contacto del agua con la superficie, así en lugar de gotas el agua forma una lámina, lo que facilita la limpieza y evita el ensuciamiento.

Entre los **productos comerciales existentes** en el mercado que emplean el dióxido de titanio podemos destacar:

4. **Bionictile. Ceracasa.** (www.ceracasa.com)

Este producto cerámico es estable y mantiene sus propiedades de descomposición de NOx en el tiempo, de forma indefinida. Según Ceracasa, empresa productora, un metro cuadrado de Bionictile es capaz de descomponer 31.2mg de NOx a la hora.



Imágenes de Bionictile. Ceracasa

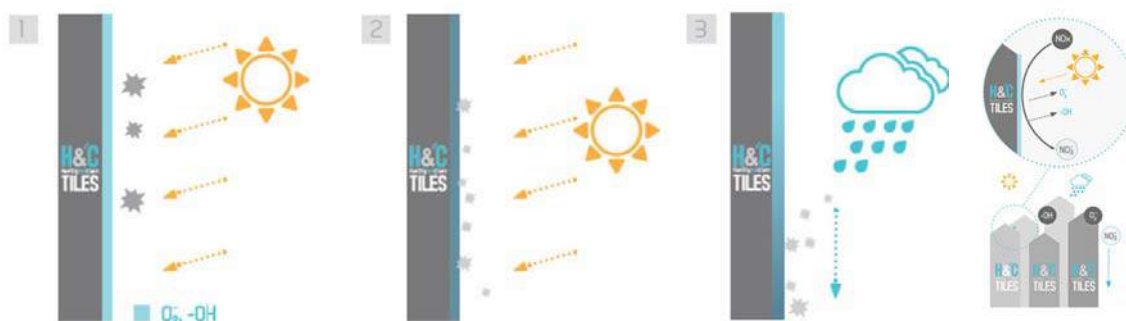
5. **Active Clean Air & Antibacterial Ceramic**(www.active-ceramic.es)

Active Clean Air & Antibacterial Ceramic™ son pavimentos y revestimientos que se consiguen aplicando a temperatura elevada partículas micrométricas de dióxido de titanio (TiO₂) que, sirviéndose del proceso de fotocatalisis activado por la luz solar o por una luz artificial, permiten producir losas de cerámica técnica, para revestir suelos y paredes, anticontaminantes y antibacterianas, que contribuyen de modo eficaz a mejorar la calidad de vida de las personas.

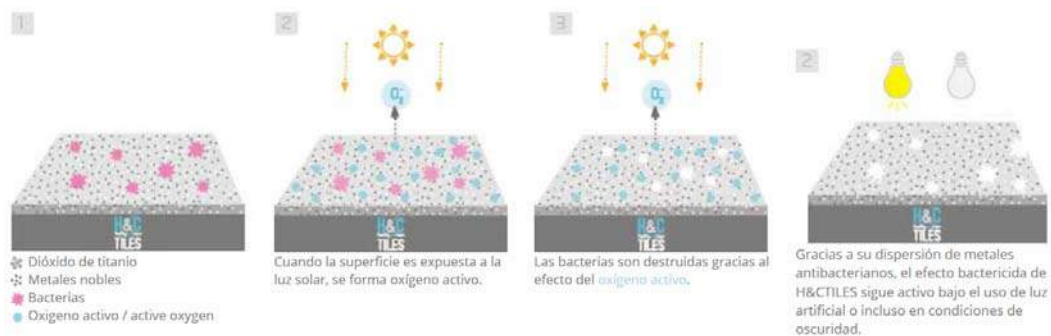
En efecto, las sustancias orgánicas nocivas se transforman, mediante su oxidación, en sustancias inocuas, dando origen a tres importantes factores: Depuración del aire de las sustancias orgánicas e inorgánicas nocivas, Desinfección de las superficies de las bacterias, de superficies auto-limpiantes, aprovechando las superhidrofilia inducida por la presencia del semiconductor irradiado (TiO₂).

6. **Grespania (H&CTILES)** (<http://grespania.imk.es>)

H&CTILES es la aplicación en el campo de la cerámica de la tecnología Hydrotect, un recubrimiento de Dióxido de Titanio que permite reducir la contaminación ambiental y proporciona al material cerámico propiedades autolimpiables, bactericidas y de eliminación de malos olores.



Efecto autolimpieza y descontaminante H&C Tiles. Grespania



Efecto bactericida en exterior e interior. H&C Tiles. Grespania

En segundo lugar, se explica el **funcionamiento de la Plata** como agente biocida: La plata, cuando entra contacto con las bacterias y otros microorganismos afecta a su metabolismo celular e inhibe el crecimiento celular. Estas nanopartículas obstruyen la "respiración" de la membrana celular y el sistema de intercambio entre la célula y el medio. Esto inhibe la multiplicación y crecimiento de esas bacterias y microorganismos, los cuales causan infecciones, enfermedades y olores.

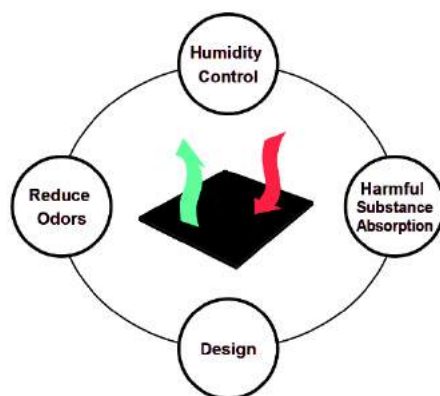
El mecanismo de actuación de estas nanopartículas radica en la destrucción de los "radicales -SH" de las paredes celulares de las bacterias gracias al oxígeno activo producido por la catálisis del ión plata de la nanopartícula. Estas nanopartículas tienen un fuerte poder antibiótico, debido a sus funciones tales como:

- A. Función antibiótica y esterilizante proporcionado por la plata.
- B. Función esterilizante por el oxígeno activado:
- C. Efecto Antibiótico como metal.

2.5.2.2 Reguladora de humedad (Ecocarar_Neox)

Ecocarar es un material cerámico que permite regular la humedad, los olores y las sustancias nocivas del aire en los espacios interiores. Esta constituido principalmente por alófono, un mineral natural arcilloso, que se consigue con la alteración de cenizas volcánicas y que proporciona al silicio y al aluminio propiedades coloidales, que en los azulejos les aporta una mayor capacidad de absorción de humedad, los olores, y compuestos orgánicos volátiles.

Los microporos absorben vapor de agua cuando aumenta la humedad del ambiente, y lo liberan cuando ésta disminuye, evitando que el aire de la estancia se humedezca o seque en exceso. De este modo se inhibe el desarrollo de moho y ácaros y se evita la condensación. Asimismo, ayuda a eliminar compuestos orgánicos volátiles como el formaldehído y el tolueno y reduce los olores.



Producto Ecocarar. Inax

2.5.2.3 *Regulador térmico con material de cambio de fases*

ECOM4TILE es un producto cerámico que reúne cuatro características destacables: ahorro energético, confort, fácil limpieza y acción biocida, que lo convierten en un pavimento /revestimiento con elevado potencial en la eco-construcción o construcción sostenible. Para ello se han incorporado materiales de cambio de fase, sustancias que requieren cierta energía térmica para cambiar de fase a baja temperatura. Una forma de almacenar energía térmica es aprovechando la entalpía asociada a este cambio de fase.



Ecom4tile. Ceracasa

2.5.2.4 *Cerámica reflectivas. Reducción de consumo energético*

“Cool Coverings” es un proyecto europeo desarrollado por Keraben [10], que consiste en el desarrollo de recubrimientos que reducen la ganancia de radiación del infrarrojo cercano (NIR- Near infrared) consiguiendo de este modo reducir el calentamiento de las superficies de color oscuro tanto en fachadas como en cubiertas. Este producto ayuda a reducir las cargas por refrigeración en zonas climáticas cálidas y con ello a la reducción de las emisiones de CO₂.

La aplicación de este tipo de productos en la rehabilitación de envoltorio de edificios, permitiría reducir la temperatura de la pieza cerámica y con ello reducir el consumo de refrigeración del edificio. Actualmente se está monitorizando el comportamiento de este sistema en el proyecto Building Technologies Accelerator (BTA) de la Climate-KIC.



Instalación de Fachada ventilada Reflectiva en edificio CIES. KERABEN- ITC

2.5.3 Productos para nuevos campos de aplicación

Se recopilan los productos cerámicos que abren nuevos campos de aplicación para el material cerámico, tanto en obra nueva como en la rehabilitación.

2.5.3.1 Cerámicas de baja densidad (Neos, Azuliber, bestile)

En 2008, las empresas Azuliber, Bestile y Neos empezaron a trabajar conjuntamente en el desarrollo del proyecto Neoceiling, con el objetivo de obtener un soporte de baja densidad y poco peso enfocado a su aplicación en techos, abriendo así un nuevo campo de aplicación del material cerámico y consiguiendo generar ambientes personalizables, más resistentes y de mayor durabilidad que los materiales empleados habitualmente.



Producto cerámico de baja densidad decorado con impresión digital. Neos.Azuliber.Bestile

Actualmente, se ha desarrollado una nueva tipología de esmaltes [11], galardonado con el Alfa de Oro en la feria de Cevisama 2015, que cumple con los requisitos y normativas establecidas para techos suspendidos, dando lugar a una placa cerámica que presenta las siguientes características técnicas:

Propiedades	Valores
Densidad aparente	1240 Kg/m ³
Contracción lineal	0%
Módulo de rotura	19,3 N/mm ²
Expansión por humedad	0,045%
Espesor nominal	9,8mm
Dimensiones nominales	595x595mm
Peso	10,2 Kg
Reacción al fuego	A.1
Color cara	Diferentes diseños
Color dorso	Blanco
Coefficiente conductividad térmica	0,31 W/mK
Rango de absorción de agua	>45
Facilidad de limpieza/higiene	Si

La pasta cerámica y el esmalte permeable al vapor de agua, permite reducir casi a la mitad los tiempos de cocción respecto a un producto convencional, reduciendo un 15% la cantidad de emisiones de Co₂ en su proceso de cocción. Otras ventajas a destacar son:

- Diseño y personalización mediante técnicas decorativas cerámicas (inkjet)
- Resistencia y facilidad de corte
- Durabilidad (no se producen grietas, ni humedades)
- Mantenimiento nulo (no se mancha)
- Evita condensaciones en baños y cocinas
- Aplicación en la rehabilitación de espacios de múltiples uso (residencial, hostelería, terciario, educativo, sanitario, etc)

2.5.3.2 *Cerámica translúcida.*

La empresa Inalco, ha desarrollado un gres pocelánico translúcido, denominado Slimmker-Light. Este producto se ha desarrollado a partir del empleo de materias primas de última generación, que abre un espacio estético hasta ahora cerrado para la cerámica.

Su composición permite mantener la resistencia del porcelánico, aportando la propiedad de la translucidez. Además, sobre la superficie, se pueden aplicar relieves que potencian las características decorativas del producto. Sus interesantes características estéticas abren un amplio abanico de aplicaciones en el mundo del interiorismo, donde se puede jugar con la luz y hacer que ésta se funda con nuestras piezas, creando efectos realmente excepcionales.



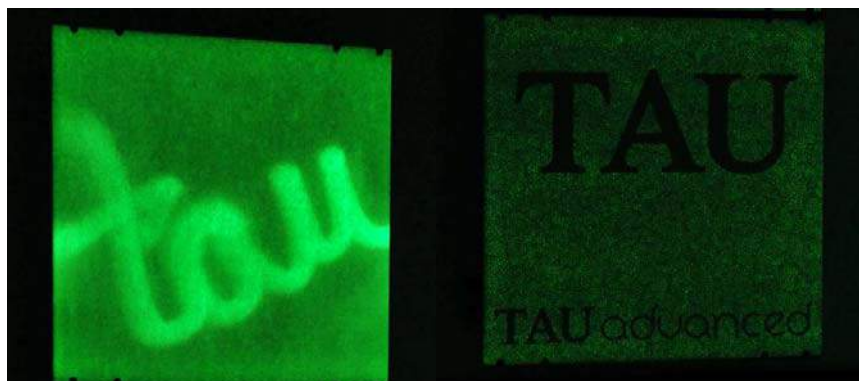
Infografía Slimmker de Inalco.

2.5.3.3 *Baldosa cerámicas de alta atenuación de la radiación*

EL producto Kerxshield, desarrollado por Kerafrit en colaboración con Keraben e ITC, consiste en la obtención de baldosas cerámicas como escudo de apantallamiento para radiaciones ionizantes, primordialmente Rayos X de baja a alta energía, como elemento constructivo alternativo a las soluciones actuales, que se basan en la incorporación de láminas de plomo como aislante de radiación. En la formulación de la pasta cerámica se incorpora una cantidad superior al 50% en peso de fritas de bisilicato de Plomo y/o Bismuto y/o Bario.

2.5.3.4 *Cerámica fotoluminiscente*

Afterdark, de la empresa Tau, es un producto cuyo esmaltado contiene un material fosforescente y esta enfocado para servir como señalización en revestimientos interiores así como para ser colocado en fachadas en las que se quiera dar un efecto estético o llamar la atención del observador. En el fenómeno físico de la fosforescencia, la luminiscencia solo se hace detectable una vez ha cesado la fuente de excitación que la ha cargado, disminuyendo progresivamente de intensidad hasta apagarse. La Luminancia a los 10 min de la excitación es de aproximadamente $45,1 \text{ mcd/m}^2 = 0,142 \text{ lúmenes/m}^2$ (suponiendo un haz de 120°) y la Luminancia a los 60 min de la excitación es de $4,5 \text{ mcd/m}^2 = 0,014 \text{ lúmenes/m}^2$ (suponiendo un haz de 120°)



Imágenes del producto Afterdark. Tau Cerámica

2.5.3.5 *Espumas cerámicas*

Las espumas cerámicas [12], son materiales con elevada superficie, alta permeabilidad, baja densidad, bajo calor específico y elevado aislamiento térmico. El tamaño de celda, la morfología y el grado de interconexión entre celdas son también factores importantes que influyen en las potenciales aplicaciones de estos materiales. Estos materiales pueden aportar nuevas propiedades como permeabilidad, aislamiento térmico o acústico.

Las técnicas empleadas en su obtención se pueden dividir en tres grandes grupos:

- Técnicas de replicado.
- Técnicas de incorporación de fases fugitivas orgánicas o inorgánicas
- Técnicas de espumado por introducción de una fase gaseosa. (Dentro de este último grupo se distingue entre la generación de gas en fundidos y la incorporación de una fase gaseosa en suspensiones)



Imagen de Espuma cerámica desarrollada en proyecto Aliacuster. ITC

2.5.3.6 *Pavimento multijunta reutilizado*

Como resultado de un proyecto de investigación [13], se desarrolló un pavimento cerámico filtrante, basado en el empleo de piezas cerámicas obsoletas procedentes del stock existente, cortadas y colocadas de canto, generando una superficie de tránsito con múltiples juntas.

El proceso de producción del pavimento consiste en el corte de las piezas cerámicas mediante disco en cintas de diferentes anchos en función de la resistencia del pavimento que se pretenda alcanzar. Una vez cortadas las piezas cerámicas, se agrupan las cintas en grupos de 5 a 8 piezas, formando así unos bloques cerámicos, que proporcionan rapidez y sencillez en la colocación del pavimento. Esta tipología de productos, entendidos dentro de un sistema urbano de drenaje sostenible, adquiere gran potencial en la rehabilitación de los espacios urbanos.



Módulo de pavimentación compuesto por varias cintas. ITC

TERCER BLOQUE. **COMPARATIVA DE SISTEMAS
CERÁMICOS PARA LA REHABILITACIÓN**

3	COMPARATIVA DE SISTEMAS CERÁMICOS PARA LA REHABILITACIÓN	36
3.1	METODOLOGÍA	36
3.2	PAVIMENTOS Y REVESTIMIENTOS INTERIORES	37
3.2.1	<i>Sistemas de colocación estándar</i>	37
3.2.2	<i>Sistema de Láminas cerámicas</i>	39
3.2.3	<i>Sistemas de colocación en seco</i>	41
3.2.4	<i>Sistema de suelos técnicos sobreelevados</i>	45
3.2.5	<i>Comparativa entre sistemas cerámicos</i>	48
3.3	FACHADAS	51
3.3.1	<i>Sistemas mixtos para Fachada Aplacada</i>	51
3.3.2	<i>Sistema de Fachadas SATE/ETICS con aplacado cerámico</i>	54
3.3.3	<i>Sistema de Fachadas Ventiladas</i>	58
3.3.4	<i>Comparativa</i>	68
3.4	CUBIERTAS PLANAS	71
3.4.1	<i>Sistema de cubierta invertida con solado fijo</i>	71
3.4.2	<i>Sistema de cubierta invertida con solado flotante</i>	72
3.4.3	<i>Comparativa</i>	75
3.5	PAVIMENTOS URBANOS	78
3.5.1	<i>Sistema de pavimentación urbana con gres porcelánico</i>	78
3.5.2	<i>Comparativa</i>	83

3 COMPARATIVA DE SISTEMAS CERÁMICOS PARA REHABILITACIÓN

3.1 Metodología

La metodología seguida en este bloque consta de dos partes diferenciadas:

- En la primera parte, se **recopilan y describen** diversos sistemas cerámicos clasificados en función de su ámbito de aplicación y enfocados a la rehabilitación de edificios y pavimentos urbanos.
- En la segunda parte, se desarrollan **comparativas** entre distintos sistemas cerámicos en función del uso, con el objetivo de valorar los sistemas cerámicos idóneos para la rehabilitación de envolventes, revestimientos interiores y pavimentos urbanos.

La evaluación de los distintos sistemas se realiza en base a **5 grupos de indicadores**:

1. **Diseño y prestaciones.** Se consideran las características prestacionales y de diseño.
2. **Instalación.** Se consideran los materiales y medios necesarios para la instalación.
3. **Mantenimiento.** Se consideran los procesos de limpieza, reparación y sustitución.
4. **Sostenibilidad.** Se valoran los beneficios ambientales de los sistemas.
5. **Coste.** Se considera el coste del producto, de instalación y coste total.

A su vez, cada uno de los grupos está formado por una serie de indicadores, que varían en función del uso al que se dirigen los sistemas a comparar. Para la valoración de los indicadores que permitirán la evaluación de los sistemas, se han establecido una serie de escalas cualitativas, puntuadas con el siguiente criterio:

Escala indicadores favorables	
Muy alto.....5 puntos	Si.....5 puntos
Alto.....4 puntos	No.....1 punto
Medio.....3 puntos	
Bajo.....2 puntos	
Muy Bajo.....1 punto	
Escala indicadores desfavorables	
Muy alto.....1 punto	Si.....1 punto
Alto.....2 puntos	No.....5 puntos
Medio.....3 puntos	
Bajo.....4 puntos	
Muy Bajo.....5 puntos	

La valoración de cada uno de los indicadores, para cada uno de los sistemas contemplados, se ha realizado en base a datos cuantitativos (extraídos de bases de datos de la construcción, de fichas técnicas de sistemas o productos) y datos cualitativos, basados en la búsqueda de información realizada para cada uno de los sistemas (guías técnicas, catálogos comerciales), en la experiencia individual y consultas a expertos del ITC en sistemas y productos cerámicos, todo ello con el objetivo de aportar el mayor grado de objetividad en la valoración.

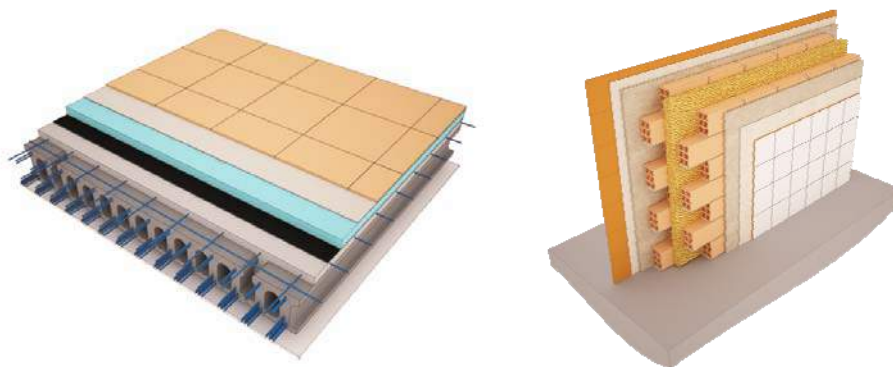
Con el objetivo de poder ofrecer una primera aproximación y cuantificar cada uno de los sistemas en función del uso (asumiendo la subjetividad que se introduce en esta metodología), se establece una ponderación tanto para cada uno de los 5 grupos, como para cada uno de los indicadores que los conforman. Para establecer una ponderación de mayor fiabilidad, sería interesante plantear un estudio estadístico a nivel nacional, con entrevistas a prescriptores, que permita definir unos valores medios para cada uno de los indicadores. Otra posibilidad consistiría en el desarrollo de una herramienta informática, que permitiera a prescriptores ajustar las ponderaciones en base las exigencias o prioridades del proyecto de rehabilitación a desarrollar.

3.2 Pavimentos y revestimientos interiores

En este punto se realiza una recopilación y descripción de los sistemas cerámicos existentes en el mercado para la rehabilitación de pavimentos y revestimientos interiores.

3.2.1 Sistemas de colocación estándar

Descripción de los sistemas de colocación en capa gruesa y capa fina, según la guía de la baldosa [14], empleados en instalación de pavimentos y revestimientos cerámicos.



Soluciones constructivas para pavimentos y revestimientos cerámicos. Fuente Solconcer

3.2.1.1 Capa gruesa

Sistema tradicional de colocación de la cerámica sobre el soporte mediante la aportación de material de agarre con un espesor generoso, habitualmente se aplican espesores superiores a los 10mm e inferiores a los 25mm. En los pavimentos se suele aplicar una base tipo 1 de gravilla u otro sistema de desolidarización.



Instalación de azulejo en capa gruesa

Los materiales de agarre empleados en capa gruesa son los siguientes: Mortero de cemento (MC); Lecho de mortero de cemento y una fase adherente formada por una fina capa de cemento o de lechada de cemento y Adhesivo cerámico especial para aplicación en capa gruesa.

- **Ventajas:** Es un sistema económico. Las principales ventajas de este método es la rapidez de colocación y la capacidad de adaptación a la irregularidad del soporte, además permite un buen control de la nivelación y alineación de las baldosas.
- **Inconvenientes:** Es incompatible con baldosas de baja porosidad (gres porcelánico o baldosas con absorción de agua menor del 3%) y con soportes de baja porosidad (ej. revestimientos existentes de cerámica, terrazo o piedra natural) o superficie muy lisa (ej. tabaquería de yeso laminado). Con esta técnica no se garantizan valores mínimos de adherencia, por ello, no se recomienda en exteriores o cuando se utilicen baldosas de formato mayor de 35 x 35 cm. Tiene limitadas exigencias de uso en pavimentos.

3.2.1.2 *Capa fina*

Sistema de colocación de uso y evolución reciente adaptado a todos los tipos de baldosas cerámicas, y a la diversidad de soportes. La colocación se realiza sobre una capa previa de regularización o nivelación del soporte, ya sean enfoscados en los paramentos o bases de mortero en los pavimentos. Para las superficies habituales, con enfoscados maestreados, soleras niveladas y maestreadas, el rango de espesores de adhesivo se sitúa entre los 3 -6mm mientras que para superficies planas, lisas y aplomadas con desviaciones mínimas, el espesor del adhesivo oscila entre 1 y 3mm.



Instalación baldosa cerámica en capa fina

Los materiales de agarre empleados en capa gruesa son los siguientes: Adhesivos cementosos (morteros cola) de varios tipos: Adhesivo cementoso para uso exclusivo en interiores (Ci), adhesivo cementoso normal (C1), adhesivo cementoso mejorado (C2); Adhesivos en dispersión, D1 y D2 y Adhesivos de resinas reactivas, R1 y R2.

- **Ventajas:** Sistema que proporciona gran adherencia, apto para cualquier tipo de baldosa y compatible con cualquier soporte. Existen adhesivos adecuados para cualquier colocación. El tiempo de rectificación es alto y, en general, permite una mayor deformabilidad del soporte sin perder adherencia. La mayor facilidad de aplicación, seguridad y mejor adherencia, la resistencia elevada en solados y la alta resistencia química, han contribuido al predominio de la técnica de colocación con adhesivos en capa delgada, tanto en pavimentos como en revestimientos.
- **Inconvenientes:** Se requiere una superficie de colocación muy bien nivelada y seca, lo que supone que hay que respetar un tiempo de espera desde la aplicación de la base de nivelación o mortero de regularización, hasta la posterior colocación de las piezas.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los materiales de agarre a emplear en función de la técnica de colocación:

(Colocación en capa fina)	Adhesivo cerámico	Cementoso	Ci
			C1
			C2
		En dispersión	D1
			D2
		De resinas reactivas	R1
	R2		
(Colocación en capa gruesa)	Mortero de cemento		MC
	Mortero de cemento + Lechada de cemento		MC + L
	Adhesivo cerámico en capa gruesa		

Materiales de agarre en capa fina y capa gruesa. Fuente Guía de la baldosa cerámica

3.2.2 Sistema de Láminas cerámicas

El sistema de colocación de láminas cerámicas se base en la técnica del doble encolado. Esta técnica consiste en la aplicación de una capa de adhesivo en el soporte y también en el reverso de la baldosa que incrementa la humectación y cubre toda la superficie. Por una parte, debe extenderse el adhesivo con una llana dentada adecuada en línea recta sobre la superficie de colocación, por otra parte, se debe extender el adhesivo por el reverso de la baldosa con la parte recta de la llana o la paleta.

Las láminas cerámicas, como se ha comentado en el bloque anterior, son piezas cerámicas de grandes dimensiones y reducido espesor. Las dimensiones pueden alcanzar los 3600 x 1200 milímetros con un espesor de 3 milímetros, aunque debido a su fragilidad, normalmente se sirven encoladas de dos en dos interponiendo algún tipo de malla, como la fibra de vidrio. Estos productos son idóneos para la rehabilitación tanto de pavimentos como de revestimientos, debido a que se pueden instalar directamente sobre el soporte existente aumentando ligeramente el espesor de revestimiento.



Instalación de lámina cerámica sobre soporte existente

En revestimientos suele emplearse láminas cerámicas de 3mm de espesor, mientras que para su aplicación en pavimentos suelen emplearse espesores de 3+3 o de 5mm, que garantizan las prestaciones técnicas del producto. Es necesario señalar que la aplicación de este tipo de productos en pavimentos requerirá una minuciosa colocación cuidando especialmente el perfecto macizado del trasdós de la lámina.

Entre las **ventajas** a destacar, desde el punto de vista de la colocación:

- Facilidad de manipulación, acopio y corte
- Reducción de las tensiones del sistema por su mayor flexibilidad
- Menor volumen añadido en rehabilitación
- Menor peso y requisitos de anclaje al tratarse de un producto ligero
- Posibilidad de utilizarlas en otras aplicaciones, como techos, mobiliario, etc.

Las **desventajas** desde el punto de vista de la colocación son:

- Mayor riesgo de fracturas en el transporte
- Requiere de colocadores experimentados
- En suelos, aumenta el tiempo para la puesta en servicio

3.2.2.1 *Sistemas comerciales*

Entre las empresas que actualmente están desarrollando láminas delgadas, podemos destacar las siguientes: Neolight (Thesize), Xlight (Butech), Laminam, Coverlam (Grespania), Slimtech (Lea Ceramiche), Techlam (Levantina). A continuación se muestran las características principales de uno de estos productos.

- **Techlam (Levantina)**

Techlam es una lámina de porcelánico desarrollado por Levantina. Entre sus características más relevantes destacan, sus dimensiones y bajo peso, con paneles de hasta 3x1m, 3 mm de espesor y un peso de 7.1 Kg/m². Además este producto se puede encontrar en diferentes espesores (desde 3mm hasta 5+5mm) y en diversos formatos (desde 500x500mm hasta 3000x1000mm). Al tratarse de un porcelánico, sus altas características técnicas garantizan su durabilidad y lo convierten en un producto muy interesante para resolver infinidad de soluciones en la arquitectura e interiorismo, pudiendo ser utilizado en diferentes aplicaciones como revestimientos y pavimentos, encimeras, mobiliario y fachadas ventiladas.



Lámina cerámica Techlam. Levantina

Por otra parte, la aparición en el mercado de las láminas cerámicas, ha propiciado el desarrollo de algunos sistemas de colocación en seco específicos para esta tipología de producto, entre los que podemos destacar.

- **LookCid (Wandegar)**

Este sistema consiste en una pieza cerámica de reducido espesor que incorpora bandas adhesivas, las cuales clipan entre sí al presionar una contra otra. Las bandas adhesivas incorporan unos ganchos en forma de seta que clipan entre sí al presionar uno contra otro. Estas bandas se adhieren, por una parte, al dorso del material de pavimento, y por otra, sobre unas pletinas que van apoyadas en el suelo. Con este sistema se evitan daños sobre el pavimento original, al no existir ninguna fijación química ni mecánica entre el suelo existente y el nuevo suelo. Este sistema permite la colocación de múltiples formatos de reducido espesor y se puede aplicar sobre gran número de superficies, cerámica, madera, melamina, acero, poliestireno expandido, PVC, aluminio, yeso laminado, etc.



Sistema LookCid. Wandegar

- **Wandefix (Wandegar)**

Consiste en una lámina auto-adhesiva a doble cara de 1, 2 o 3mm de grosor, incorporada sobre piezas cerámicas de poco espesor, que permite la instalación en seco de revestimientos interiores no porosos, especialmente en obras de rehabilitación. El proceso de colocación es el siguiente:



Imágenes de Rehabilitación mediante sistemas Wandefix. Wandegar

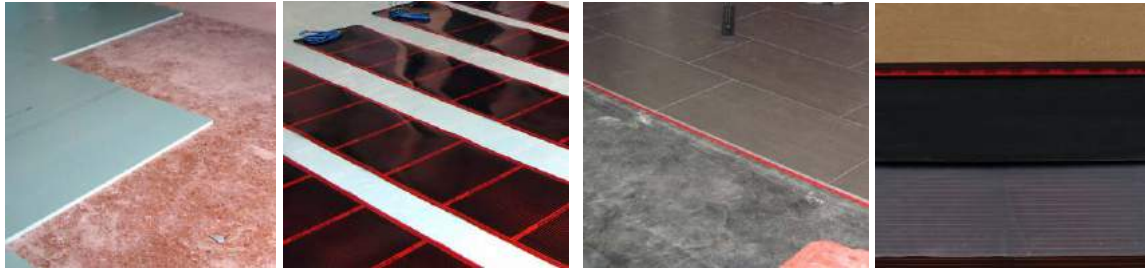
3.2.3 Sistemas de colocación en seco

En los últimos años el sector cerámico ha desarrollado sistemas de colocación en seco, como sistemas alternativos a la colocación tradicional en húmedo, que permite la colocación del pavimento o revestimiento sin necesidad de emplear materiales de agarre. Estos sistemas proporcionan nuevas funcionalidades a los productos cerámicos y se han convertido en una opción atractiva en intervenciones de rehabilitación, principalmente en aquellos espacios que requieran una inmediata puesta en servicio sin acometer obras de albañilería, en pequeño comercio y espacios efímeros.

Aunque existen sistemas tanto para pavimento como para revestimiento, su empleo habitual es como pavimentación. Estos sistemas de colocación en seco se pueden agrupar en las siguientes familias:

- **Sistemas con elementos de fijación perimetrales o conectores.** En este caso las piezas quedan unidas entre sí mediante conectores que se ensamblan por el borde de las baldosas. El funcionamiento de estos sistemas es similar al caso anterior con la salvedad de que los elementos de fijación perimetrales son de otro material. La ventaja de utilizar como fijación perimetral un material de menor módulo de elasticidad que el producto cerámico reduce la acumulación de tensiones respecto al caso de machihembrados cerámicos.
- **Sistemas con sustratos de una o varias capas o multiestratos.** Estos sistemas utilizan una bandeja de otro material situada debajo de la baldosa cerámica de tal forma que las baldosas constituyen un todo que no necesita ser sujetado al sustrato inferior. Este es el sistema más frecuente que encontraremos en el mercado.
- **Sistemas con subestructura más anclajes o subestructuras.** En estos sistemas las baldosas se fijan al sustrato inferior mediante anclajes. En el caso de pavimentos, el anclaje puede consistir en fijar la pieza para evitar fundamentalmente los movimientos horizontales quedando el levantamiento bloqueado por la fuerza de la gravedad más una pequeña contribución del anclaje. Ejemplos de estos sistemas serían las fachadas ventiladas, los suelos técnicos y algunos sistemas para interior.

Entre las **ventajas** que poseen estos sistemas destacamos la facilidad de montaje y desmontaje, la posibilidad de pisar el pavimento inmediatamente después de ser instalado y la posibilidad de añadir nuevas funcionalidades al recubrimiento mediante la instalación de sustratos intermedios. Además estos sistemas permiten la integración de calefacción por folio radiante, cuyo proceso de montaje se muestra en las siguientes imágenes:



Imágenes de instalación de pavimento con sistema de colocación en seco y suelo radiante. Tau cerámica

Mientras que las principales **inconvenientes**, consisten en su menor resistencia frente a la flexión y al impacto, la limitación para modificar el ancho de junta y la necesidad de disponer de un soporte con buena planeidad.

3.2.3.1 *Sistemas comerciales*

A continuación se describen las principales características de los distintos sistemas comerciales de colocación en seco:

- **Easyker system**

El sistema está formado por una pieza cerámica y una base que permite el ensamblaje de las piezas entre sí, gracias a que el saliente de la base de una pieza se instala en el seno de la otra base. Las dimensiones de las piezas son de 31,6x31,6 cm. El rejuntado de las piezas es opcional y el sistema permite el paso de instalaciones.



Sistema Easyker

- **Pretaporter. Roca**

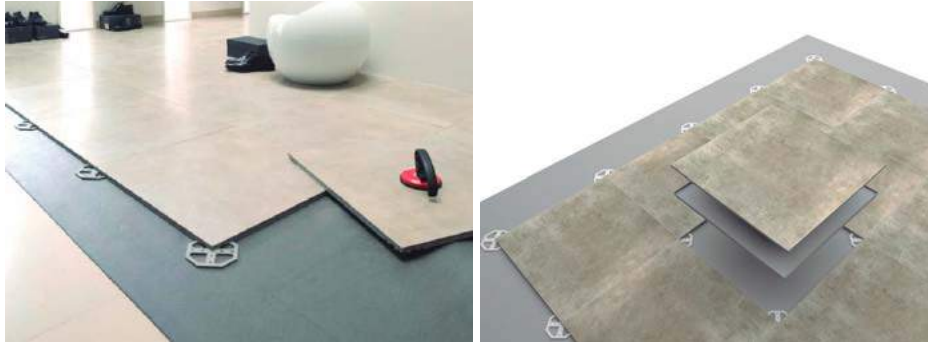
El sistema consiste en una base de polímero adherida a la cerámica y una regleta para unir las piezas. La base incorpora una junta blanda, que proporciona estanqueidad a la unión sin necesidad de rejuntado posterior y un sobreinyectado de goma para dotar de agarre a la pieza, asegurando su adherencia al suelo. Las dimensiones de las piezas son de 44,5x44,5 cm.



Sistema Pretaporter de Roca

- Cli-ker n (Butech)

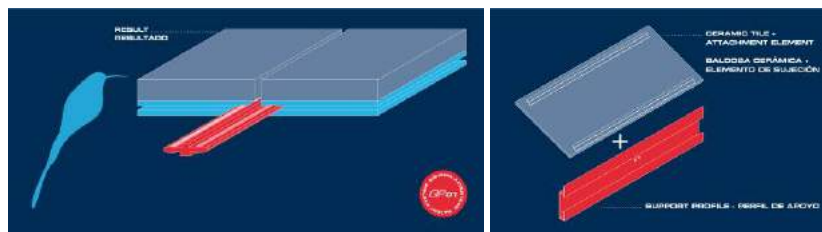
El sistema se compone de una baldosa cerámica de gres o gres porcelánico unida a una base rígida de poliuretano bicomponente que dispone de hendiduras en las 4 esquinas en forma de aspa y unas juntas de poliuretano de 1mm de anchura, disponible en gris, beige y antracita. Para la unión entre piezas se emplea una pieza de poliuretano en forma de aspa. Además el sistema dispone de otros elementos complementarios para su colocación, como son las piezas de regulación o compensación y la lámina viscoelástica de nivelación y atenuación acústica.



Sistema Cli-ker de Butech. Porcelanosa

- QuickPlus (Azteca)

Este sistema permite la instalación en seco tanto en pavimentos como en revestimientos interiores. El sistema QP01, está enfocado a la colocación de pavimentos cerámicos y consiste en una serie de módulos que encajan entre sí a través de un perfil de unión, mientras que el sistema QP02, enfocado a revestimientos verticales, está formado por una estructura simple de perfilaría, en la cual se sustentan los módulos cerámicos.



Esquema sistema QuickPlus. Azteca

- Dysystem (TAU cerámica)

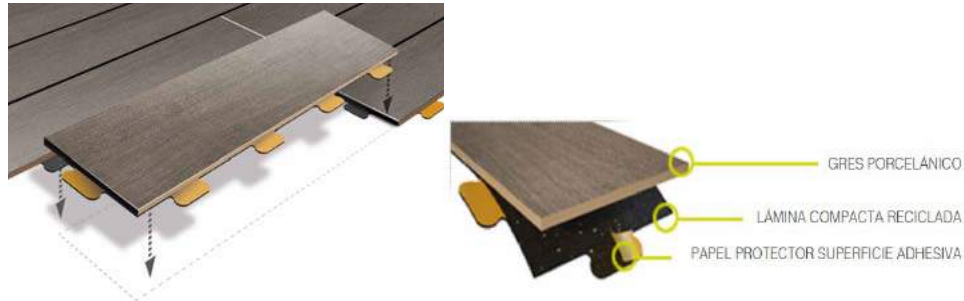
Este sistema permite su instalación tanto en pavimentos como en revestimientos verticales. El sistema se compone de un soporte de polímero plástico adherido a la costilla de la baldosa cerámica de 45x90cm. Dicho soporte está machihembrado en todo su perímetro y permite el ensamblaje entre las piezas. La solapa del sistema de machihembrado tiene varios orificios que permiten alojar los tornillos de anclaje. Ofrece la posibilidad de instalar las piezas trabadas o en cartabón y permite elegir el ancho de junta.



Drysystem. Instalación de pavimento y revestimiento. Tau cerámica

- Kerfloat

Este sistema se componen de una pieza cerámica sobre la que se adhiera un sustrato inferiores de material elástico y totalmente reciclado. Este sustrato dispone de una serie de encajes autoadhesivo en forma de puzzle que permite una instalación rápida y sencilla y además incorporar el aislamiento acústico a rudo de impacto en el propio sistema. El sistema está disponible en diversos formatos: 60x60; 45x67,5; 45x90 y 22,5x90cm



Sistema de colocación en seco Kerfloat

- Editecnos

El sistema consiste en una pieza cerámica y un soporte flexible adherido. Este soporte dispone de un disco autoadhesivo en su parte central, que permite la fijación de la pieza sobre el soporte existente y a su vez sirve de guía para el desmontaje de la pieza. Las piezas del sistema incorporan juntas elásticas en dos de sus lados. El sistema permite adaptarse a diversos formatos.

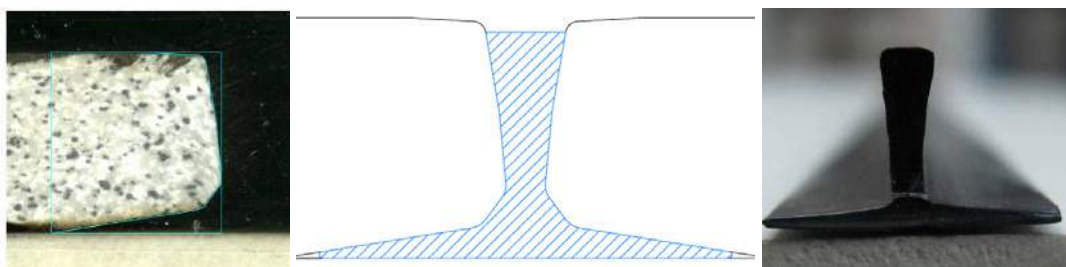


Sistema de colocación en seco Editecnos

- SkinFloor (Ascer-ITC)

Por último se muestra un sistema experimental desarrollado por Ascer e ITC. En este sistema la unión entre piezas se realiza por medio de una junta de plástico extrudido con una sección tal que el canto de piezas cerámicas prensadas coincida con la forma de dicha junta, de tal manera que, al confinar las piezas ajustadas entre cuatro paredes, estas queden fijadas por sus cuatro lados por la acción de la junta.

Esto es posible debido a que el ángulo de extracción del molde de prensa hace que las piezas cerámicas no tengan los lados perfectamente ortogonales respecto a la horizontal, sino ligeramente inclinados, con lo que una junta en forma de cuña podría fijarlas en posición. El conjunto del pavimento se coloca sobre una capa de sustrato aislante acústico dispuesto sobre un soporte plano muy bien nivelado.



Detalle del sistema por junta. Ascer-ITC

3.2.4 Sistema de suelos técnicos sobreelevados

El suelo técnico es un pavimento elevado respecto al forjado, que crea una cámara vacía para la conducción de todo tipo de instalaciones, que permite su fácil y rápida instalación y posterior mantenimiento, tal y como se define en la publicación “Fachadas ventiladas y pavimentos técnicos” [15].

Es un sistema constructivo formado por paneles sostenidos por una estructura de pedestal o de pedestal y travesaños. Estos pedestales permiten ajustarse en altura, para conseguir la planicidad total del plano horizontal. El sistema es suficientemente flexible para adaptarse a cualquier espacio y una vez instalado permite la gestión y modificación de las instalaciones según las necesidades del local. Estos sistemas están especialmente indicados para oficinas, áreas de informática, hospitales, laboratorios, exposiciones, aeropuertos, hoteles, centros comerciales, etc.

Los componentes básicos que forman un pavimento técnico son: la superficie horizontal, formada por paneles o piezas cerámicas; los pedestales, que elevan los paneles para crear el espacio vacío necesario para el paso de las diferentes instalaciones y opcionalmente, una estructura horizontal sobre los pedestales, que permite una mayor rigidez y estabilidad del sistema.



Componentes suelo técnico

Entre las **ventajas** a destacar de los suelos técnicos para interior podemos destacar las siguientes:

- Permite la corrección de posibles irregularidades en el forjado, creando una superficie totalmente horizontal, siendo un condicionante muy importante en la rehabilitación de edificios.
- La cámara creada entre forjado y pavimento permite albergar todas las instalaciones del edificio, siendo directamente registrables desde el propio espacio al que da servicio, aumentando potencialmente la redistribución, ampliación y reparación de la misma.
- Colchón acústico entre plantas, tanto a ruido de impacto, gracias a los elementos elásticos que evitan el tableteo de las piezas, como al ruido aéreo.
- Rapidez de montaje.

Las principales **desventajas** de estos sistemas son su elevado coste y la disminución de la altura útil de la estancia.

3.2.4.1 *Sistemas comerciales*

- **Waytecsystem (TAU)**

Es un sistema de pavimento sobreelevado para interior formado por paneles cerámicos y pedestales independientes que pueden o no ir arriostrados por travesaños. Los paneles autoportantes de 600x600mm y 40mm de espesor, están formados por un soporte base de tablero aglomerado o sulfato cálcico de 30 mm de espesor, con cantos de PVC, lámina de aluminio de 0,5 mm de espesor dispuesta en la cara inferior y una capa de acabado de gres porcelánico de 596x596 mm y 10 mm de espesor.

Estos paneles autoportantes se apoyan sobre pedestales de acero galvanizado regulables en altura, de base redonda. Cuando la altura de los pedestales es superior a 15cm, se suelen emplear una estructura adicional de travesaños entre los pedestales, para garantizar la estabilidad del conjunto.

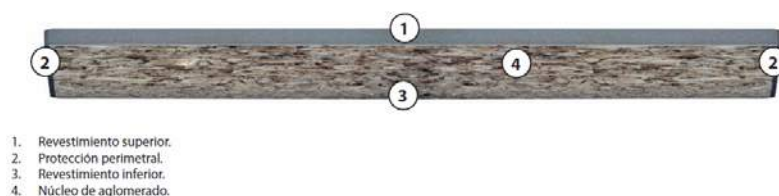


Detalle del sistema Waytec system interior. Tau cerámica

- **Suelo técnico elevado (Butech)**

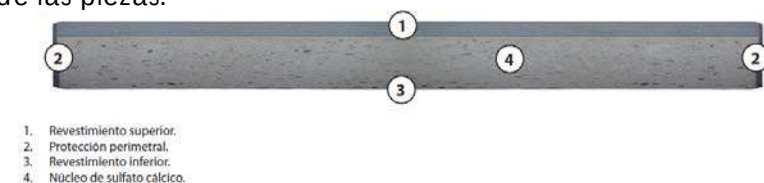
Este sistema esta formado por un panel cerámico y una subestructura de acero. A continuación se describen los componentes:

Panel con núcleo de aglomerado de madera: Compuesto por madera aglomerada ligada por resinas de altas prestaciones, disponible en espesor de 38 mm y con revestimiento inferior en aluminio o acero galvanizado. El perímetro de todos los paneles está rebordeado con material plástico para evitar el descantillado de las piezas.



Panel con núcleo aglomerado de madera. Butech

Panel con núcleo de sulfato cálcico: Formado por un alma mineral de una sola capa a base de sulfato de calcio de alta densidad. Se puede encontrar en espesores de 15 y 29 mm, y con recubrimiento inferior de aluminio o chapa de acero galvanizado. El perímetro de todos los paneles está rebordeado con material plástico, con el fin de evitar el descantillado de las piezas.



Panel con núcleo de sulfato de calcio. Butech

La estructura sobre la que se apoyan los paneles está fabricada en acero galvanizado. Los componentes son los siguientes:

Pedestales: Elementos realizados completamente en acero galvanizado, encargados de dotar al pavimento de la altura necesaria para el proyecto a realizar. Estos elementos incorporan en su cabeza unas juntas plásticas antirruido con cuatro tetones de posicionamiento. Entre sus cualidades destacamos la de ser fácilmente regulable en altura gracias a un perno roscado.

Travesaños: Los travesaños, al igual que los pedestales, están fabricados enteramente en acero galvanizado y se utilizan para dotar al pavimento de una mayor estabilidad y resistencia. En su parte superior incorpora unas tiras plásticas antirruido a lo largo de toda su superficie. Estos travesaños van atornillados a la cabeza del pedestal.



Pedestales y travesaños. Butech

Entre las ventajas que ofrece este sistema podemos destacar: su gran capacidad de carga mecánica, posibilidad de combinar diferentes estructuras según la necesidad de cada zona, excelente reacción al fuego, tolerancias dimensionales muy bajas, amplias posibilidades decorativas y protección de las piezas mediante un canteado.



Instalación de suelos técnicos. Butech

- Suelo técnico (Keraben system)

Keraben ofrece los pavimentos cerámicos elevados con dos núcleos diferentes, para su aplicación en interiores. Los paneles cerámicos puede disponer de un núcleo de conglomerado de alta densidad o de sulfato de cálcico, apoyados sobre una subestructura de pedestales y travesaños metálicos, siendo este sistema muy similar a los descritos anteriormente.

A continuación se recogen unas imágenes que describen el proceso de montaje de un pavimento sobreelevado interior:



Posicionar los pedestales



Encastres de los pedestales con los travesaños



Puesta en cota de la estructura



Montaje en forma de T



Instalación de los paneles



Acabado de los paneles

3.2.5 Comparativa entre sistemas cerámicos

Se desarrolla una tabla comparativa mediante una serie de indicadores valorados cualitativamente, que permiten evaluar las características más relevantes de los sistemas en la rehabilitación de pavimentos y revestimientos interiores. Los sistemas a comparar son los siguientes:

- **Sistema 1:** Sistema de alicatado o solado tradicional en capa gruesa.
Se considera la deconstrucción del revestimiento o pavimento existente y de la capa de agarre, junto con la instalación del nuevo pavimento o revestimiento en capa gruesa.
- **Sistema 2:** Sistema de colocación mediante cerámica delgada.
Se considera la instalación del sistema de lámina delgada mediante la técnica de doble encolado en capa fina sobre el soporte existente, tanto en pavimentos como en revestimientos.
- **Sistema 3:** Sistemas de colocación en seco.
Se considera la instalación de un pavimento mediante un sistema de colocación en seco sobre el soporte existente, sin deconstrucción del soporte existente.
- **Sistema 4.** Sistema de pavimentos técnicos sobreelevados.
Se considera la instalación del sistema de suelo técnico con subestructura formada por pedestales y travesaños de acero galvanizado, sobre el soporte existente.

A continuación se muestra la tabla comparativa entre los distintos sistemas:

TERCER BLOQUE. COMPARATIVA DE SISTEMAS CERÁMICOS PARA LA REHABILITACIÓN

GRUPOS	INDICADORES REHABILITACIÓN	Ponderación	SISTEMA 1 Colocación tradicional		SISTEMA 2 Lámina delgada		SISTEMA 3 colocación en seco	SISTEMA 4 Suelos técnicos
			Pav	Rev	Pav	Rev	Pav	Pav
DISEÑO Y PRESTACIONES 25%	Tipología de producto cerámico	-	Porcelánico Gres esmaltado Gres rústico	Azulejo Porcelánico Gres esmaltado	Porcelánico	Porcelánico	Porcelánico Gres esmaltado	Porcelánico
	Variedad de formatos	20%	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO
	Variedad de acabados	25%	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
	Material de acabado de reducido espesor	10%	NO 10mm	NO 10mm	SI 3+3mm	SI 3mm	NO 10mm	NO 22mm
	Aislamiento acústico	20%	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO
	Resistencia mecánica	25%	MUY ALTO	MUY ALTO	MEDIO	MUY ALTO	BAJO	ALTO
		100%	3,55	3,55	3,45	3,95	2,8	3,5
INSTALACIÓN 20%	Facilidad y Rapidez de instalación	20%	MUY BAJO 1,4 h/m2	BAJO 1,1 h/m2	MEDIO 0,85 h/m2	MEDIO 0,95 h/m2	MUY ALTO 0,46 h/m2	ALTO 0,71 h/m2
	Requiere mano de obra especializada	5%	NO	NO	SI	SI	SI	SI
	Requiere empleo de agarres húmedos	5%	SI	SI	SI	SI	NO	NO
	Sistema de reducido espesor	15%	NO 40mm	NO 40mm	SI 9mm	SI 6mm	SI 15mm	NO 35-1000mm
	Sistema ligero	5%	NO	NO	SI	SI	SI	SI
	Deconstrucción del sobre soporte existente	15%	SI	SI	NO	NO	NO	NO
	Facilidad para absorber irregularidades del soporte	5%	ALTO	ALTO	MUY BAJO	MUY BAJO	MEDIO	MUY ALTO
	Necesita subestructura auxiliar	5%	NO	NO	NO	NO	NO	SI
	Tiempo transcurrido entre instalación y uso	10%	MUY ALTO	MUY ALTO	MEDIO	MEDIO	MUY BAJO	BAJO
	Comodidad de instalación para el usuario	15%	MUY BAJO	MUY BAJO	MEDIO	MEDIO	MUY ALTO	MEDIO
		100%	1,55	1,75	3,5	3,5	4,7	3,4
MANTENIMIENTO 15%	Facilidad de reparación/desmontaje	25%	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	ALTO
	Frecuencia de reparación por roturas accidentales	35%	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO
	Facilidad de limpieza	25%	ALTO	ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO	ALTO	ALTO
	Sistema registrable	15%	NO	NO	NO	NO	SI	SI
		100%	3,05	3,05	3,3	3,3	3,8	3,8
SOSTENIBILIDAD 15%	Vida útil del sistema	20%	ALTO 50 años	ALTO 50 años	ALTO 50 años	ALTO 50 años	ALTO 50 años	ALTO 50 años
	Facilidad de reutilizar o reciclar	10%	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MUY ALTO	ALTO
	Emisiones de Co2 en la producción	20%	MEDIO 36,8 Kg CO2	BAJO 21,21 Kg CO2	MEDIO 33,64 Kg CO2	BAJO 25,85 Kg CO2	ALTO 44,38 Kg CO2	MEDIO 31,92 Kg CO2
	Coste energético	15%	ALTO 368,27 MJ	BAJO 264,89 MJ	MEDIO 285,65 MJ	BAJO 202,44 MJ	ALTO 390,29 MJ	ALTO 368,90 MJ
	Emisiones de Co2 en transporte	15%	MEDIO	MEDIO	BAJO	MUY BAJO	ALTO	MEDIO
	Consumo de recursos en la instalación	10%	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	BAJO	MEDIO
	Residuos generados en la instalación	10%	MUY ALTO 23,89 kg/m2	ALTO 7,47 Kg/m2	MEDIO 0,59 Kg/m2	MEDIO 0,64 Kg/m2	BAJO 0,05 Kg/m2	MUY BAJO 0,005 Kg/m2
		100%	2,65	3,25	3,25	3,75	3,1	3,35
COSTE 25%	Coste del sistema	60%	BAJO 15 €/m2	BAJO 10 €/m2	MEDIO 30 €/m2	MEDIO 30 €/m2	ALTO 60 €/m2	MUY ALTO 75 €/m2
	Coste de instalación	40%	MEDIO 20,48 €/m2	MEDIO 17,84 €/m2	MEDIO 14,19 €/m2	MEDIO 15,82 €/m2	MUY BAJO 7,69 €/m2	BAJO 12,02 €/m2
	Coste Total	-	35,48 €/m2	27,84 €/m2	44,19 €/m2	45,82 €/m2	67,69 €/m2	87,02 €/m2
		100%	3,6	3,6	3	3	3,2	2,2
PUNTUACIÓN TOTAL		100%	2,95	3,08	3,30	3,50	3,48	3,18

Tabla comparativa de sistemas cerámicos para pavimentos y revestimiento interiores. Elaboración propia

De los resultados de la comparativa, se extrae que, el sistema que ha obtenido la mayor puntuación y a priori el más adecuado para la **rehabilitación de pavimentos interiores**, es el **sistema 3 (colocación en seco)**, mientras que el sistema que ha obtenido la menor puntuación corresponde al sistema 1 (pavimentación tradicional en capa gruesa). Por otra parte, en la **rehabilitación de revestimientos verticales interiores**, el sistema que ha obtenido mejor puntuación es el **sistema 2 (lámina delgada en capa fina)** y el que obtiene menor puntuación es el sistema 1 (alicatado tradicional mediante capa gruesa).

A continuación se analizan los resultados obtenidos en la comparativa, para cada uno de los grupos de indicadores.

- **Diseño y prestaciones**

En los sistemas de pavimentación el sistema 1 (colocación tradicional en capa gruesa) es el mejor valorado debido principalmente, a que ofrece una elevada resistencia mecánica frente a otros sistemas, como es el caso del sistema 3 (colocación en seco), que es el sistema que obtiene la peor valoración. En los sistemas para revestimientos verticales interiores, debido a su reducido espesor, el mejor valorado corresponde al sistema 2 (lámina delgada en capa fina).

- **Instalación**

En la evaluación de los indicadores correspondientes a la instalación de los diversos sistemas, el sistema de pavimentación mejor valorado es el sistema 3 (colocación en seco), debido principalmente a la comodidad que aporta al usuario durante la instalación, al poderse instalar sobre el soporte existente y al ofrecer un tiempo muy reducido entre la instalación del sistema y su uso. Por el contrario, el sistema que obtiene la puntuación más baja es el sistema 1 (colocación tradicional en capa gruesa). Mientras que en los sistemas de revestimiento verticales interiores, el mejor valorado es el sistema 2 (lámina delgada en capa fina) al ser un sistema con una instalación sencilla y permitir la instalación sobre el soporte existente, evitando la deconstrucción del mismo.

- **Mantenimiento**

Respecto a los indicadores de mantenimiento, los sistemas mejor valorados son el sistema 3 (colocación en seco) y el sistema 4 (suelo técnico) al tratarse de sistemas registrables que facilitan las posibles reparaciones del sistema, mientras que el sistema peor valorado es el sistema 1 (colocación tradicional). En los sistemas de revestimiento, el sistema mejor valorado es el sistema 2 (lámina delgada en capa fina), al tratarse de un revestimiento de gran formato, que reduce el número de juntas respecto al sistema de colocación tradicional y por lo tanto mejora la limpieza del revestimiento.

- **Sostenibilidad**

El sistema de pavimentación mejor valorado es el sistema 4 (suelo técnico), al evitar la producción de residuos durante la instalación y facilitar la reutilización del sistema, frente al sistema 1 (colocación en capa gruesa) que obtiene la puntuación más baja. Respecto a las emisiones de CO₂ en la producción y mayor coste energético, el sistema con mayor impacto es el sistema 3 (colocación en seco), al incorporar un sustrato de plástico adherido sobre la pieza. En los sistemas de revestimiento verticales interiores, debido a su reducido espesor y bajo peso, el sistema 2 (lámina delgada en capa fina) produce menores emisiones de CO₂, tanto en la fase de producción como en la fase de transporte del proyecto, frente al sistema 1 (colocación tradicional en capa gruesa).

- **Costes**

Finalmente, en relación a los indicadores de costes, el sistema de pavimentación mejor valorado es el sistema 1 (colocación tradicional en capa gruesa), debido al reducido coste del sistema, frente al elevado coste del sistema 4 (suelo técnico). Mientras que en los sistemas de revestimiento verticales interiores, el sistema que ofrece un coste más reducido es el sistema 1 (colocación tradicional en capa gruesa).

3.3 Fachadas

Se realiza una descripción y recopilación de los sistemas cerámicos existentes en el mercado para la rehabilitación de fachadas. Se contempla tanto el método de colocación directa sobre el cerramiento, tradicionalmente denominado aplacado, como los sistemas de instalación mediante anclaje mecánico en fachadas ventiladas o los sistemas de aislamiento térmico por el exterior (SATE). En este punto no se han estudiado los sistemas cerámicos de protección solar, que son interesantes como apoyo a la rehabilitación de la envolvente.

Actualmente, la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios y en especial las fachadas, es uno de los principales campos de actuación en la rehabilitación energética, por ello en el siguiente bloque se evaluará la eficiencia energética de los sistemas cerámicos.

3.3.1 Sistemas mixtos para Fachada Aplacada

La rehabilitación con sistemas aplacados consiste en la colocación de las piezas cerámicas mediante adhesivo cementoso en capa fina directamente sobre el soporte existente más un anclaje mecánico. En aquellos casos en los que la superficie del soporte existente, presente desviaciones de planitud y aplomado superiores a 3mm, medidas con regla de 2m, es necesaria la incorporación de una capa de regularización, que garantice la regularización del soporte para la correcta instalación de las baldosas cerámicas mediante adhesivo.

En este tipo de colocación, el sistema de fachada está constituido por capas de distintos materiales, por ello resulta necesario garantizar la compatibilidad de las mismas. Los elementos que habitualmente conformarán la fachada incluyen el soporte o cerramiento, la capa de regularización, la capa de adherencia (adhesivo cementoso), la baldosa cerámica, y los elementos de fijación mecánicos, las juntas de colocación, perimetrales y de partición.

Atendiendo a la normativa vigente, es aconsejable complementar las fachadas pegadas con cemento cola mediante algún otro elemento de fijación mecánica, de manera que evite el desprendimiento de las piezas en caso de que el transcurso del tiempo y los agentes atmosféricos hagan perder las propiedades químicas adhesivas al material de agarre, garantizando la seguridad del aplacado. De todos los adhesivos disponibles en el mercado solamente el mortero cola de ligantes mixtos (C2) y las resinas de reacción (R) presentan las características exigidas, si bien es recomendable el uso preferente del mortero C2 tanto por su facilidad en la manipulación y aplicación como por su menor coste frente a los adhesivos de resinas de reacción. Para la instalación de las baldosas cerámicas con este tipo de adhesivo se utilizará la técnica de capa fina mediante el doble encolado.

La rehabilitación mediante este sistema mixto de aplacado cerámico, se realiza incorporando el aislamiento por el interior del edificio, bien a través del relleno de la cámara del soporte existente o mediante el trasdosado interior cuando se trata de un soporte sin cámara, reduciendo en este último caso, las dimensiones de las estancias interiores.



Instalación de fachada aplacada en capa fina

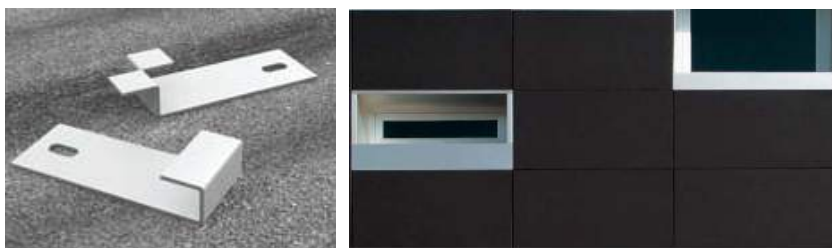
3.3.1.1 *Sistemas comerciales*

- Sistema Fachadas Pegadas. Butech (fijación mixta)

El sistema de fachada pegada consiste en la colocación de la baldosa en capa fina mediante doble encolado. Como elemento adicional de seguridad en la Fachada Pegada se utilizan anclajes metálicos de sujeción en cada una de las piezas. Estos anclajes se atornillan directamente al soporte y pueden ser vistos u ocultos.

Los anclajes ocultos para la sujeción de las baldosas cerámicas en las fachadas pegadas, encajan en el interior de unas pequeñas muescas realizadas en la pieza de porcelánico y se anclan al soporte por un tornillo de acero inoxidable. Una vez rellenadas las juntas de colocación, los anclajes quedan ocultos a la vista sin afectar al diseño de la fachada.

Mientras que los anclajes vistos para la sujeción de las baldosas en las fachadas pegadas, se anclan al soporte mediante un tornillo de acero inoxidable. Una vez rellenadas las juntas, los anclajes quedan a la vista dejando ver una fina pestaña de 5mm.



Sistema de fijación mixto. Butech

- REDIWA CAT 1.1. Junta 2mm (Wandegar)

Este sistema permite la instalación de la fachada aplacada con una junta horizontal de 2mm. Es un anclaje mecánico que se emplea en combinación con el cemento cola y aporta seguridad adicional a las fachadas aplacadas.

Este sistema se basa fundamentalmente en dos aspectos: el ranurado de las piezas de gres porcelánico en los cantos y el conjunto de grapa de acero y tornillo. El mecanizado sobre la pieza consiste, generalmente, en cuatro incisiones, dos en las esquinas superiores y dos en las inferiores. En estas incisiones, que se efectúan previamente a la colocación sobre el cerramiento, es donde se insertarán las grapas.

Este sistema requiere que las grapas se vayan instalando al tiempo que se va realizando el aplacado. Finalmente, este anclaje quedará oculto por el rejuntado.



Sistema de fijación mixto Wandegar

- Wallfixer (TAU)

Sistema de anclaje mixto para recubrimientos compuesto por un anclaje mecánico oculto para el aplacado de baldosas cerámicas con adhesivos cementosos. Tiene forma de cruceta con perfil trapezoidal para adaptarse al canto de las placas sin rectificar y proporcionar una sujeción mecánica de las piezas. Está fabricado con poliamida y ciertos aditivos, que los hacen resistente a las agresiones del entorno. Para permitir el paso de los tacos y los tornillos que fijan el soporte, el sistema incorpora dos orificios que atraviesan la cruceta. Una vez rejuntado el sistema queda oculto.



Sistema de fijación mixto TAU

- KBFP(Keraben Systems)

Es un sistema de fachada aplacada basado en la instalación de la baldosa mediante adhesivos cementosos y la integración de un anclaje de seguridad oculto en la junta. Este anclaje está diseñado para absorber los esfuerzos realizados por el peso propio de la pieza cerámica, para que en el caso de desacoplamiento circunstancial de la baldosa cerámica, esta quede fijada mecánicamente.

La baldosa cerámica incluye ranuras en los bordes de las esquinas donde se introduce el anclaje de seguridad, que mediante un taco autoexpansible queda fijado a la pared. Este proceso se realiza antes de la operación de sellado de las juntas de colocación, ocultando así el anclaje de seguridad y garantizando el aspecto estético de la fachada. La utilización de estos anclajes es de carácter obligatorio, según algunas normativas, a partir de los tres metros de altura. A continuación se muestran unas imágenes que detallan el proceso de montaje de sistema aplacado mixto:



Comprobar la planeidad del soporte



Aplicación del cemento cola sobre soporte



Peinado del cemento cola sobre el soporte



Doble encolado en el dorso de la baldosa



Instalación de la baldosa cerámica



Fijación del anclaje de seguridad



Apriete del anclaje de seguridad

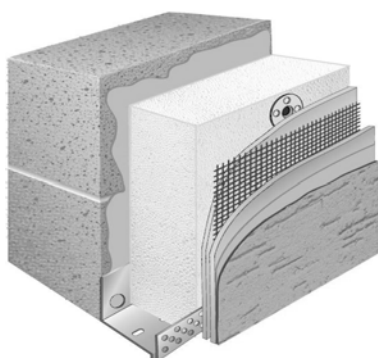


Detalle del sistema de fijación

3.3.2 Sistema de Fachadas SATE/ETICS con aplacado cerámico

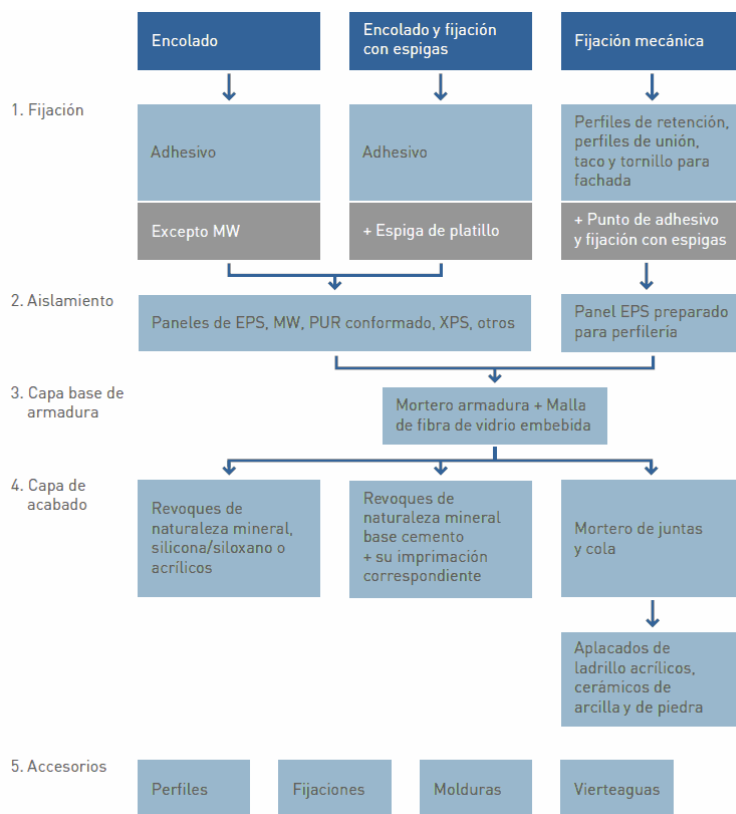
Por sistema SATE se entiende aquel sistema compuesto de aislamiento por el exterior (ETICS: External Thermal Insulation Composite Systems) que se suministra como conjunto (kit) y se utiliza para el aislamiento térmico de edificios. Es especialmente importante respetar la concepción del SATE como un sistema integral de fachadas, asegurando la compatibilidad entre componentes del sistema.

Estos sistemas deben cumplir las especificaciones de los ETE (antes DITE) evaluación técnica europea, en base a los criterios definidos en las guía DEE, Documento de evaluación Europeo, (antes guía ETAG 004). Por ejemplo un criterio para considerar un sistema como SATE es que la resistencia térmica mínima que aporte debe ser mayor de 1,0 m²K/W. Los componentes principales del sistema SATE se muestran en el siguiente esquema:



1. Soporte Existente
2. Aislamiento prefabricado (normalmente adherido al muro por fijación mixta y fijación mecánica, instalado sobre perfil de arranque)
3. Capa base de armadura (mortero de armadura + malla de fibra de vidrio)
4. Capa de acabado (imprimación + material de acabado)

Estos sistemas se pueden clasificar en función del tipo de fijación, material aislante utilizado, por aplicación y por tipos de acabado. A continuación se muestra un esquema de las variantes de los sistemas SATE para la Rehabilitación de envolventes, según un estudio del IDAE, [16].



Variantes sistemas SATE. Fuente IDAE

Los materiales de aislamiento generalmente empleados en el sistema SATE son: Poliestireno expandido (EPS), Lana mineral (MW), Poliuretano conformado (PUR), Poliestireno extruido (XPS), corcho expandido, vidrio celular, etc, siendo el poliestireno expandido el material empleado con mayor frecuencia en la instalación de SATEs a nivel europeo, por sus óptimas características (estabilidad dimensional, resistencia a la humedad, Adherencia, Bajo peso, Capacidad de moldeo, compatibilidad con los diversos acabados, precisión en la planicidad y su durabilidad. La clasificación mínima de estos sistemas frente a la resistencia al fuego es B S2 d0.

El sistema de fijación del aislamiento empleado con mayor frecuencia, consiste en el empleo de adhesivo y refuerzo mediante espigas, tal y como se observa en la siguiente imagen:

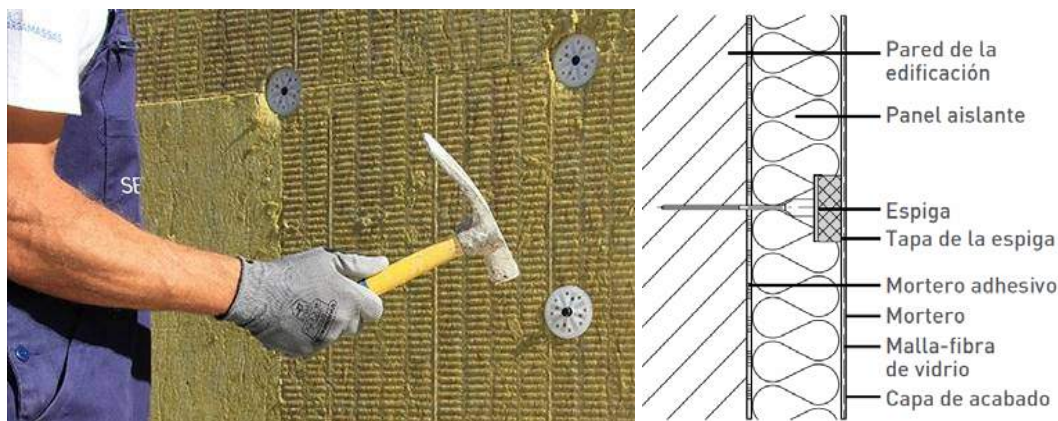


Imagen y esquema de la instalación de aislamiento rígido exterior. IDAE

Los materiales de acabado de estos sistemas suelen ser: morteros acrílicos, mortero de silano-siloxanos, morteros al silicato y mortero mineral (hidráulico). El acabado de estos morteros puede ser proyectado, fratasado, rayado, directo, talochado o planchado.

Entre las **ventajas** del sistema SATE para la rehabilitación de edificios, destacan: la mejora del aislamiento térmico de la envolvente y la consecuente reducción del consumo energético, la eliminación de puentes térmicos, la reducción del riesgo de condensaciones, el aumento de la inercia térmica de las paredes interiores, la impermeabilidad al agua y su permeabilidad al vapor de agua, la reducción de molestias para los usuarios durante su instalación, la ligereza del sistema y además no disminuye la superficie útil de las viviendas.

Entre los **inconvenientes**, comentar que el tipo de fijación (mortero adhesivo, poliuretano, perfiles o espirales distanciadoras) estará limitado por la planicidad y verticalidad del soporte existentes. El sistema requiere la protección de esquinas y encuentros singulares con perfiles metálicos. El tiempo de colocación, es elevado, al tener que incorporarse diversas capas in situ. Requiere la creación de zonas de trabajo separadas mediante juntas. En el caso de fijación mediante mortero adhesivo y espigas deber revisarse la base para verificar que carece de suciedad, polvo, etc y garantizar así una correcta fijación del material aislante. Las disposiciones establecidas en los Documento de Idoneidad Técnica Europeo presuponen una vida útil de 25 años para el sistema.

A nivel nacional, estos sistemas se están consolidando como una óptima solución constructiva para la rehabilitación del parque edificatorio existente.

3.3.2.1 Sistemas comerciales

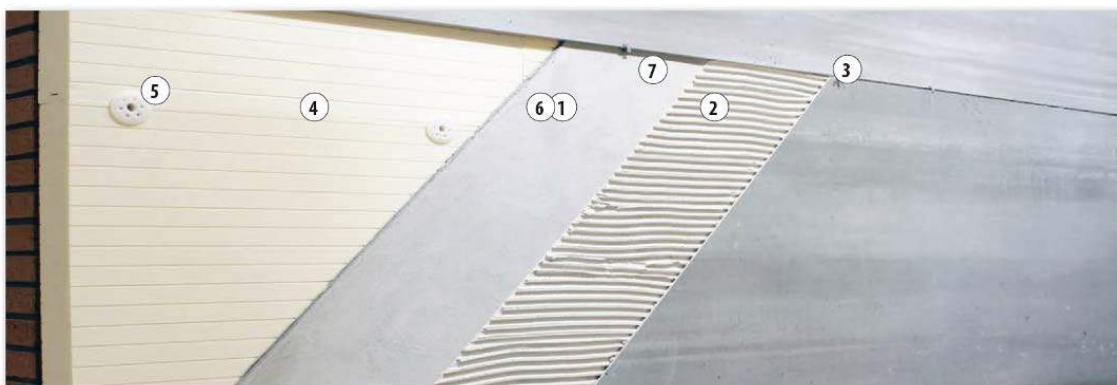
Actualmente, no existen muchas empresas del sector cerámico que estén ofreciendo este tipo de sistemas SATE con acabado cerámico como un sistema completo. A continuación se muestra el sistema cerámico que ofrece Butech y un sistema SATE genérico comercializado por la empresa Weber, que permite la instalación de la baldosa cerámica como material de acabado.

- SATEc system (Butech)

Este sistema plantea la incorporación de material cerámico de gran formato y reducido espesor como material de acabado del SATE. Es importante recordar, que la técnica de colocación de las láminas cerámicas debe realizar mediante la técnica del doble encolado, extendiendo el adhesivo con la llana tanto en el soporte como en la placa, con un espesor máximo de adhesivo de 3mm.

Los componentes que forman este sistema son los siguientes:

1. **Butech thermocem.** Es un mortero monocomponente a base de cemento modificado con polímeros utilizados para la unión y el enlucido de los paneles de poliestireno.
2. **Super-flex S2.** Es adhesivo cementoso mejorado un altamente deformable, de clase C2TES2, según EN 12004. Adecuado para la colocación de azulejos (X-Light) sobre capas de mortero.
3. **Colorstuk rapid.** Es mortero CG2 para el rejuntado de piezas.
4. **Butech therm Panel XPS.** Es un panel de poliestireno extruido, que incorpora una machihembrado en el lateral. Los tamaños de los paneles son 1250x600 mm y se suministran en espesores de 30 a 120 mm.
5. **Butech therm anclaje.** Es un anclaje plástico con un tornillo metálico interno que asegura el sistema de fijación del aislamiento sobre el soporte.
6. **Butech therm mesh.** Es una malla de fibra de vidrio.
7. **Butech therm anclaje cerámico.** Sistema de grapas por el cual las baldosas cerámicas se anclan al panel de XPS y evita su caída en caso de instalación incorrecta.



Componentes del sistema SATE cerámico de Butech. Porcelanosa

- Weber.term ceramic (Weber)

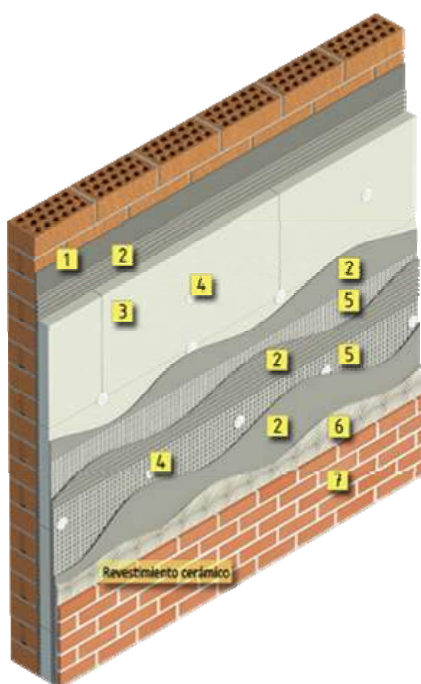
Sistema de aislamiento térmico exterior para fachadas con revestimientos cerámicos como material de acabado. Este sistema está diseñado para soportar el peso del revestimiento cerámico. Los componentes principales del sistema son la capa de material aislante (formado por placa de EPS estabilizadas) y la capa de regularización que garantiza la colocación del aplacado cerámico adherido con el cemento cola.

Las principales **ventajas** técnicas del sistema respecto a los sistemas SATE convencionales con acabado de mortero, vienen determinadas por el acabado cerámico que aporta la resistencia superficial y durabilidad (garantizando su estabilidad a la contaminación y agentes climatológicos externos), el buen comportamiento a la resistencia al impacto y la gran variedad de acabados. Los condicionantes del sistema, para la incorporación de las baldosas cerámicas son las siguientes:

- Las piezas de revestimiento cerámico a colocar no deberán exceder las dimensiones de 3.600 cm² (0,6 x 0,6 m) en cerámica tradicional o 10.000 cm² (1,0 x 1,0 m) en el caso de lámina cerámica, y en ningún caso superar los 25 kg/m².

- El color del revestimiento cerámico deberá ser claro, lo que permite tener un bajo coeficiente de absorción de radiación solar.
- No se recomienda la aplicación del sistema en alturas de fachada superiores a 28 m.
- Respetar las juntas de dilatación existentes en el edificio.
- No aplicar el sistema en fachadas con una inclinación inferior a 45°.
- No aplicar los morteros con temperatura ambiente inferior a 5°C y superiores a 30°C.
- Durante la instalación del sistema, la fachada deberá ser protegida de la radiación directa del sol mediante la utilización de lonas de protección.
- Los materiales no deberán ser aplicados en caso de viento intenso o en condiciones de lluvia o previsión de lluvia durante el periodo de secado de los morteros.

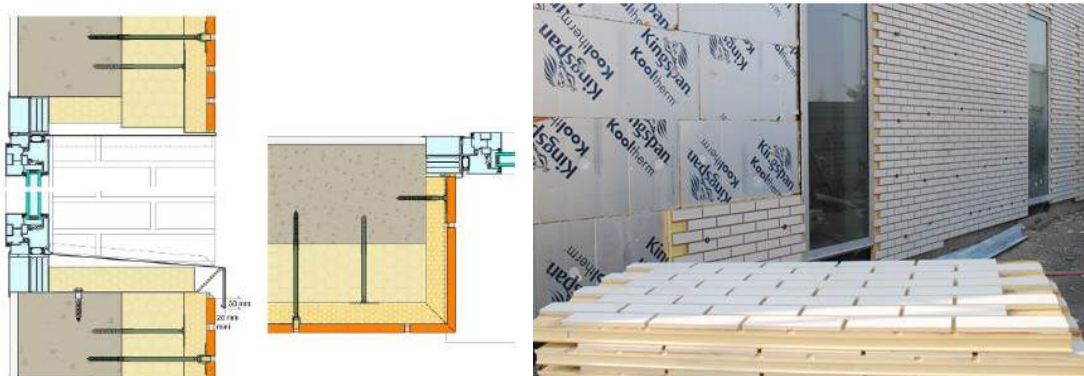
A continuación se detallan los componentes del sistema:



1. **Weber.cal Basic:** mortero de cal para enfoscado en capa gruesa. Se aplica directamente sobre el revestimiento existente.
2. **Weber.therm base:** mortero adhesivo y regularizador para la fijación de las placas de aislamiento.
3. **Weber therm placa EPS:** Placa de poliestireno expandido.
4. **Weber.therm espiga:** Espiga de fijación de polipropileno con clavo expansionante para la fijación mecánica de placas aislantes.
5. **Weber.therm malla 160:** Malla de fibra de vidrio para refuerzo de zonas accesibles
6. **Weber.col flex super confort:** Mortero cola concentrado de alto rendimiento, flexible y de altas prestaciones, para la fijación del revestimiento cerámico.
7. **Revestimiento cerámico:** baldosa cerámica de peso inferior a 25kg/m²
8. **Wber.color Premium:** mortero para el rejuntado entre piezas cerámicas

- Insulating panel. Thermoreal®-Gebrik® (Terreal)

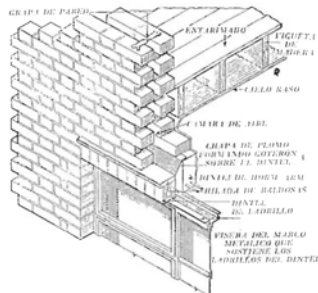
Consiste en un panel de dimensiones 1350x675mm, con un espesor de 60mm compuesto por una pieza cerámica y una espuma de poliuretano adherida. Es un producto que puede servir como sistema de acabado de un SATE y se puede fijar al soporte existente mediante anclajes mecánicos. Esta disponible en diversos acabados.



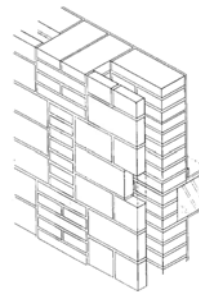
Detalle constructivo e instalación de sistema de Terreal.

3.3.3 Sistema de Fachadas Ventiladas

Antes de iniciar la descripción de los sistemas de fachada ventilada, se citan dos precedentes históricos de las fachadas ventiladas **[17]**, basados en soluciones construcciones de obra vista resueltas con cerámico, uno es el Cavity Wall anglosajón empleado en Inglaterra desde 1925 y el otro el tabique pluvial, comúnmente empleado en el clima mediterráneo.



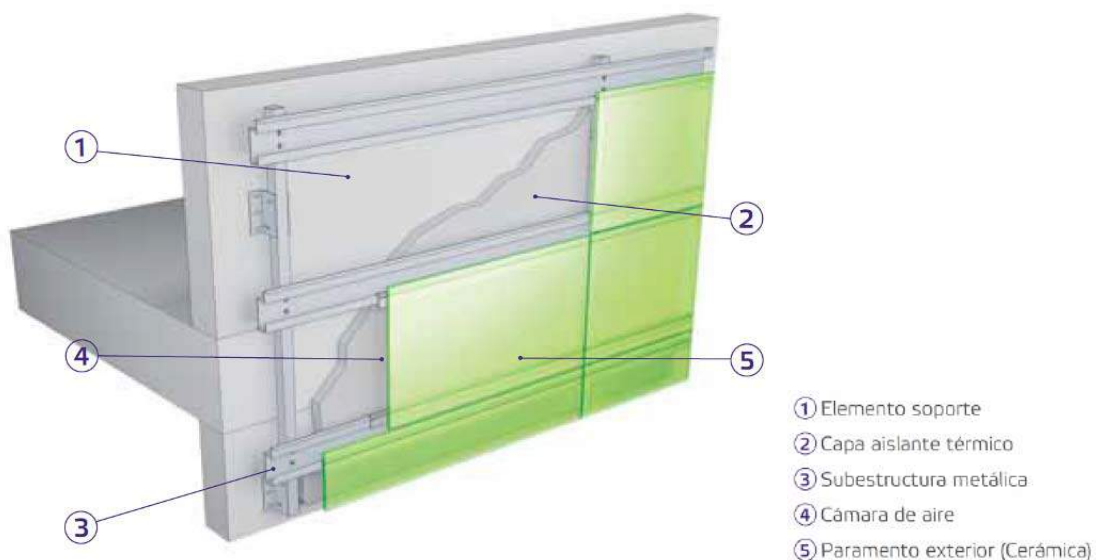
Esquema cavity wall



Tabique pluvial

La **fachada ventilada** es un cerramiento multi-estrato que se caracteriza fundamentalmente por incluir una cámara aireada, separada por dos hojas: una interior, encargada de resolver el aislante térmico y la estanqueidad, y otra hoja exterior, cuya misión principal es formar dicha cámara de aire, garantizando una ventilación continuada a lo largo de toda la superficie de la fachada.

Aunque conceptualmente la fachada ventilada ligera (FVL) y la fachada ventilada autoportante (FVA) comparten muchos elementos en común, el material de la hoja exterior y su anclaje difieren en gran medida. Este punto, se centrará en la descripción de los sistemas de fachada ventilada ligera, cuyo revestimiento esta formado por baldosas cerámicas. En el siguiente esquema se muestran los componentes principales de la fachada ventilada ligera.



Componentes Fachada Ventilada. Fuente "fachadas ventiladas y pavimentos técnicos"

1. Elemento **soporte**: es el encargado de dar estabilidad al sistema. En el caso de la rehabilitación nos podemos encontrar diversos tipos de soporte sobre los que instalar la fachada ventilada.

2. **Capa aislante térmico.** La característica fundamental del aislante será su alta resistencia térmica. El aislante térmico recubre todo el paramento de forma continua, eliminando los posibles puentes térmicos.
3. **Subestructura** metálica. Es un entramado de perfiles metálicos (generalmente aluminio) que sostienen la capa exterior separada suficientemente del sistema para crear la cámara de aire necesaria para el correcto funcionamiento de la fachada ventilada. La subestructura será la encargada de recibir y transmitir al elemento soporte las acciones verticales aplicadas, el peso de la hoja exterior y el propio peso y los esfuerzos horizontales del viento.
4. **Cámara de aire.** Es el elemento característico de toda fachada ventilada que la diferencia del resto de cerramientos convencionales. Esta cámara permite la ventilación por el trasdós y aumenta considerablemente la eficiencia energética de estas fachadas, mejorando el comportamiento del aislamiento térmico, la eliminación de condensaciones, la eliminación de puentes térmicos y protección contra el agua.
5. **Paramento exterior.** Aporta la estética final al sistema y al edificio. Además los elementos de revestimiento exterior son los encargados de recibir las acciones horizontales directamente aplicadas sobre ellos y transmitirlos a la subestructura de la fachada ventilada. Como las piezas trabajan a flexión en una o dos direcciones, dependiendo del tipo de anclaje a la subestructura, se ha de comprobar su resistencia para dichas condiciones. El peso habitual de un sistema de fachada ventilada puede oscilar entre 30-40 kg/m², incluyendo la estructura portante y el revestimiento cerámico. Las baldosas cerámicas suelen incorporar un refuerzo en su dorso, formado por una malla de fibra de vidrio, tal y como se muestra en la siguiente imagen:

Entre las **ventajas** que ofrecen estos sistemas para la rehabilitación de envolventes, destacan, la reducción de los consumos en calefacción y refrigeración, la eliminación de puentes térmicos, la eliminación de condensaciones y protección contra el agua, la durabilidad frente a agentes externos, bajo coste de mantenimiento, ausencia de fisuras, ausencia de cambio de color de las piezas y su potencial estético, gracias a la versatilidad en cuanto a diseño, formatos y personalización tanto del producto como de la geometría de la envolvente.

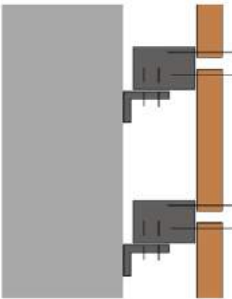
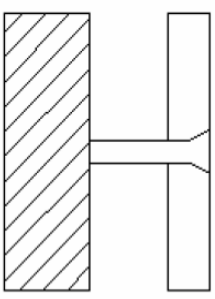
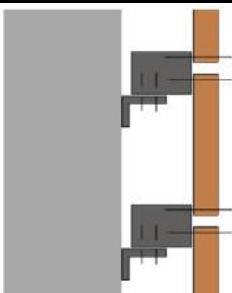
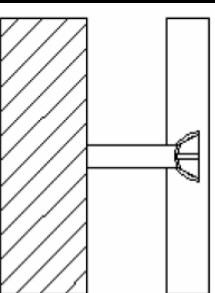
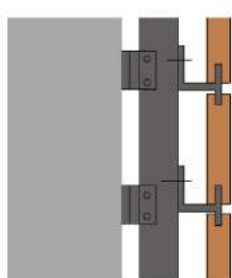
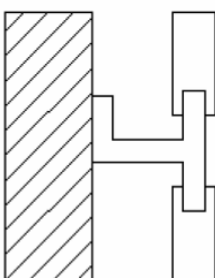
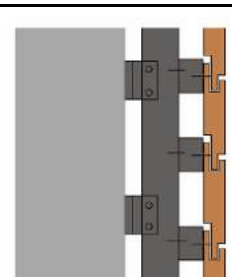
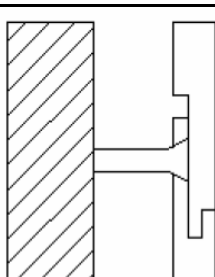
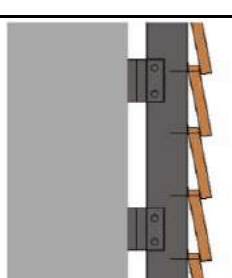
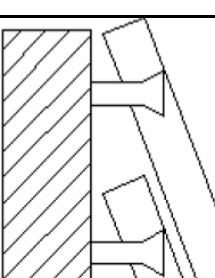
Entre los **inconvenientes** destacan, el peso de la estructura, el empleo de materiales aislantes de elevada resistencia al fuego, y principalmente el elevado coste del sistema, que repercute en largos periodos de amortización, tal y como evaluaremos posteriormente en el bloque 4.

A continuación se definen los requisitos a tener en cuenta para la rehabilitación de una fachada mediante el sistema de fachada ventilada:

- Soporte firme y estable, entenderemos como soporte al menos el canto de forjado o similar en donde se pueda sustentar la fachada ventilada, en caso de que la hoja de cerramiento no de la posibilidad de carga se dimensionará la estructura para ir únicamente a los canto de forjado.
- La rehabilitación debe hacerse con sistemas ligeros, entre 10 y 30 kg/m², ya que normalmente los edificios tienen la estructura calculada para el peso de los cerramientos existentes, y como norma habitual en rehabilitación de fachadas éstos no suelen demolerse y no se puede sobrecargar la estructura en exceso.
- La principal ventaja de estas rehabilitaciones, adicionalmente a las estéticas y funcionales, es que en el proceso de instalación de la fachada ventilada se produce sin interferir la actividad interior del edificio.

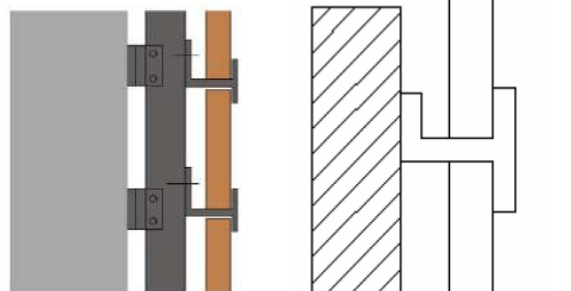
3.3.3.1 Clasificación de los sistemas de fachada ventilada

Se realiza una clasificación de los sistemas de fachada ventilada ligera en función del tipo de anclaje empleado, para ello se toma como referencia la clasificación extraída del documento ETAG de OETA "Kits for external wall claddings". A continuación se recoge la definición y esquemas de dicha clasificación:

TIPO A Placas ancladas mediante un elemento pasador que las atraviesa (tornillos, remaches,...)		
TIPO B Placas ancladas mediante un anclaje especial en forma de taladro ciego		
TIPO C Placas con ranuras en el canto y ancladas por guías o grapas		
TIPO D Placas encajadas mediante un machihembrado lateral y atornilladas al sistema		
TIPO E Placas superpuestas ancladas mediante elementos que las atraviesan (tornillo, remaches,...)		

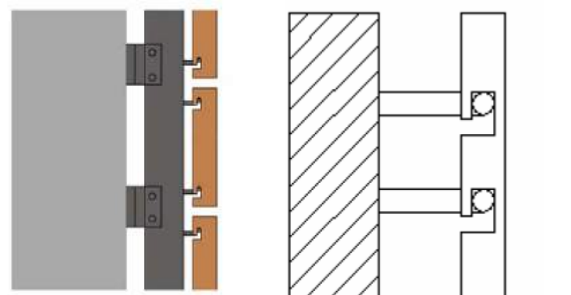
TIPO F

Placas ancladas mediante guías o grapas



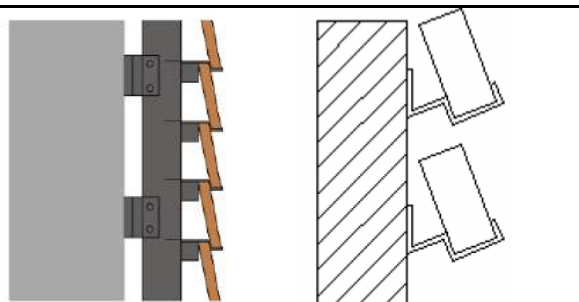
TIPO G

Placas ancladas mediante rasurados en el trasdós o en el canto



TIPO H

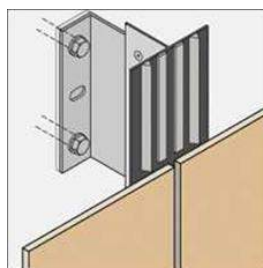
Placas superpuestas ancladas mediante guías o grapas en la parte inferior



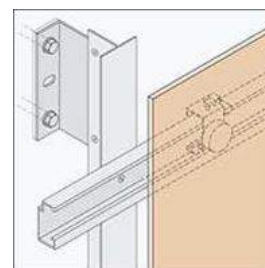
También se incorporan los sistemas de fijación mediante adhesivos, ya que este sistema de fijación no se recoge en los ejemplos definidos en el ETAG. Un sistema comercializado de esta tipología es el modelo REDIWA CAT 7, de la empresa Wandegar.

TIPO "I". Adhesivos

- Adhesivo: Las piezas de revestimiento se adhieren a la subestructura por su parte trasera.
- Adhesivo puntual: Los anclajes se adhieren a la pieza cerámica mediante sinterizado selectivo.



Tipo a



Tipo b

3.3.3.2 Sistemas comerciales

Actualmente las empresas del sector cerámicos están comercializando una amplia variedad de sistemas de fachada ventilada. En este punto se analizan los sistemas comerciales que se emplean con mayor frecuencia, entre los que destacan el sistema puntual de grapa oculta (**Tipo C**) y el sistema puntual de grapa vista (**tipo F**). También son interesantes los sistemas continuos de fijación mecánica (Tipo G-tipo B) y los sistemas de placas superpuestas (Tipo H).

No son objeto de estudio en este punto, los sistemas basados en el atornillado (Tipo A, D, E) y en el empleo de adhesivos únicamente (Tipo I), al tratarse de sistemas empleados con menor frecuencia en los sistemas que tienen como material de acabado la baldosa cerámica.

Para cada una de las cuatro tipologías seleccionadas de los sistemas de fijación, se analizarán aquellos sistemas comerciales de fachada ventilada cerámica más interesantes, recopilando en un listado los nombres de otros sistemas existentes en el mercado.

3.3.3.2.1 **Sistema TIPO C.** Placas con ranuras en el canto y ancladas por guías o grapas

Estos sistemas, a nivel comercial reciben el nombre de **Sistemas puntuales de grapa Oculta, [18]**. Se caracterizan por disponer de un perfilera vertical, normalmente en forma de “T”, que coincide su posición con las juntas verticales del revestimiento. El sistema de fijación está compuesto por grapas de retención y sustentación mecánica, compartidas entre cuatro piezas, que se insertan en una incisión que se realiza en la canto de la pieza cerámica, quedando así ocultas tras la colocación.

Algunos sistemas comerciales existentes en el mercado son los siguientes:

- Agrob Buchtal KeraTwin K3 (Sistema de perfil oculto)
- Sistema JAMASTONE grapa oculta
- Sistema FV grapa oculta (Butech)
- Sistema Disset Oculto Para gran Grosor
- Sistema favemanc XA, XB
- Sistema Faveton: Anclaje Combinado, Horizontal, de forjado a forjado y Vertical.
- Sistema Greco Gres: FVI PlusGres; FVI Superplus (Anclaje por guías horizontales).
- Sistema masa con grapa directa o con grapa con perfilera
- Sistema oculto (Alcalagres)
- Sistema KBGR511 (Keraben)

A continuación pasamos a describir tres de estos sistemas:

- **Sistema oculto (Alcalagres)**

Se basa en un sistema de clipaje para el anclaje de las piezas de revestimiento mediante una grapa oculta insertada en el canto ranurado de las piezas. Para ello las piezas se mecanizan sobre sus bordes superior e inferior, con el fin de introducir los perfiles de agarre que aseguran la distribución uniforme de esfuerzos de cada pieza, directamente sobre la estructura.



Detalle fachada ventilada con sistema de anclaje oculto. Alcalagres

- **Sistema KBGR511 (Keraben)**

Es un sistema de fijación oculta que funciona por el apoyo y retención que la grapa ejerce sobre los bordes y la parte interior de la pieza cerámica ranurada en su canto. Estas grapas están ancladas a una estructura primaria de perfiles verticales que son soportados a su vez por ménsulas ancladas al muro de soporte.

El sistema permite la sustitución de una o varias piezas cerámicas de forma fácil y sencilla. A continuación se muestran unas imágenes que detallan el proceso de montaje de sistema de fachada ventilada:



Replanteo inicial



Fijación de la ménsulas sobre el soporte existente



Instalación del perfil vertical sobre la ménsula



Instalación del anclaje sobre el perfil vertical



Ensamblaje de la garra de arranque al anclaje



Instalación de la primera hilada sobre las garras



Ensamblaje de la garra intermedia al anclaje y a la baldosa

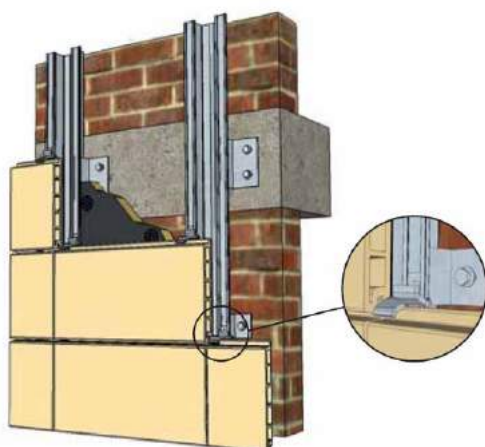


Colocación de hiladas sobre las garras superiores.

• **Sistema XA (Favemanc)**

A diferencia de los dos sistemas anteriores, el Sistema XA está preparado para la fijación de piezas cerámicas extrusionadas alveolares. Estas piezas tienen un espesor de 39 mm que permiten la realización de grandes formatos de hasta 1500 mm de longitud y 400 mm de altura con altas prestaciones mecánicas.

El sistema de sujeción de las placas a la pared del edificio es de gran facilidad de montaje, con una fijación oculta y sin necesidad de realizar incisiones en la placa, garantizando una óptima fijación.



Detalle fachada ventilada con sistema XA. Favemanc



3.3.3.2.2 **Sistema TIPO F.** Placas ancladas mediante guías o grapas

Estos sistemas, a nivel comercial reciben el nombre de “**Sistema puntuales de grapa Vista**”. Se caracterizan por disponer de un perfil vertical, normalmente en forma de “T”, que coincide su posición con las juntas verticales del revestimiento. En aquellos casos en los que la pieza cerámica supere los 100cm de ancho y/o en caso de solicitaciones de viento extremas, estos sistemas se refuerzan con un perfil intermedio que coincide con el eje de las piezas.

El sistema de fijación está compuesto por grapas de retención y sustentación mecánica, compartidas entre cuatro piezas, quedando vistas tras la colocación. Algunos sistemas comerciales existentes en el mercado son los siguientes:

- Agrob Buchtal KerAion K8
- Sistema Disset Visto Para pequeño Grosor. (Apavisa)
- Sistema PROESGA Cerámica Visto
- Sistema Grapamar
- Sistema FV (Butech)
- Sistema Front SR-L, Front SR-V, Grapa Vista (Tau Cerámica)
- Fachada ventilada Xlight (Butech)

A continuación pasamos a describir dos de estos sistemas:

- **Sistema FV (Butech)**

Las baldosas se fijan mediante grapas de acero inoxidable a la subestructura vertical u horizontal, constituida por montantes verticales, anclados a la fachada soporte a través de separadores de regulación. La colocación de las baldosa se puede realizar tanto en disposición vertical (lado mayor de las baldosas paralelo a los montantes) u horizontal (lado mayor perpendicular a los montantes). Los componentes del sistema se muestran en la siguiente imagen:



Detalle sistema grapa vista. Butech

1. Elemento portante
2. Aislante térmico
3. Separador en L
4. Perfil en T
5. Grapa de fijación
6. Pieza cerámica

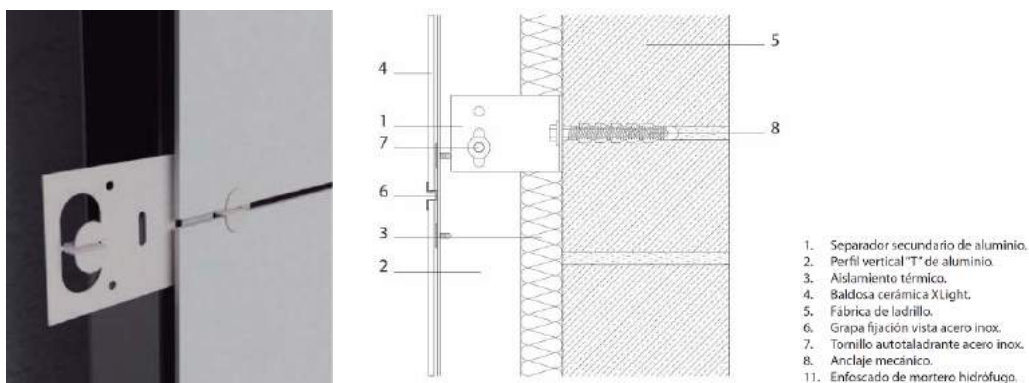
Por otra parte, la fabricación **láminas cerámicas** de gran formato, ha provocado el desarrollo de sistemas de fijación adaptados a estos productos. A continuación me muestra el sistema desarrollado por Butech para la instalación de fachadas ventiladas con láminas cerámicas:

- **Fachada ventilada Xlight (Butech)**

Este sistema se basa en el empleo de piezas cerámicas de gran formato reforzadas en la parte posterior por una malla de fibra de vidrio que mejora la resistencia a la flexión de la pieza. El sistema esta disponible para piezas de dos formatos, 300x100cm y 100x50cm, con un espesor de 3mm.

La subestructura metálica consta de dos componentes: Separadores de aluminio para la transmisión de cargas de la subestructura al muro soporte mediante anclajes (disponibles desde 60 mm a 160 mm de longitud) y la subestructura vertical de perfiles de aluminio para la colocación de las placas cerámicas. Disponibles en perfiles con forma de T (100

mm de ancho) o forma de L (40 mm de ancho). El sistema de anclaje esta formado por un anclaje mixto mecánico y adhesivo. Se emplean grapas de acero inoxidable y 1mm de espesor para la fijación mecánica y Adhesivo en base poliuretano.



Detalle sistema grapa vista para lámina cerámica. Butech

3.3.3.2.3 **Sistema TIPO G.** Placas ancladas mediante rasurados en el trasdós o en el canto

Estos sistemas, a nivel comercial reciben el nombre de **“Sistema Continuo de fijación mecánica”** y se componen de una perfilera vertical y una subestructura secundaria horizontal cuya función es la de recibir la pieza con el anclaje en su reverso. La estructura secundaria coincide con las juntas horizontales del revestimiento. Este sistema permite la libertad de instalación de las piezas en horizontal, por ello es posible el trabado de las mismas.

El elemento de cuelgue del sistema se fija de forma mecánica, introduciendo el elemento de cuelgue continuo en una doble ranura horizontal, por ello, dentro de este grupo se incluyen varios sistemas del sistema Tipo B. Algunos sistemas comerciales son los:

- Agrob Buchtal: Agrob Buchtal KeraTwin K15 / K18; KeraAion Quadro (Sistema de anclaje oculto) y KeraAion Quadro Plus (Sistema de anclaje oculto);
- Sistema Disset Oculto Para pequeño Grosor. (Disset)
- Sistema Faveton. Simple con Ventilación o Simple Rastrelado
- Sistema KBW525(Keraben Systems)
- RediWa Cat-1 y Cat-2 Tipo A (Wandegar)
- Sistema Mecanofas Karrat S-7

A continuación pasamos a describir tres sistemas comerciales continuos de fijación mecánica:

• **Sistema Karrat S-7 (Mecanofas)**

Es un sistema de sujeción con anclajes ocultos, en el cual se dispone de perfiles horizontales que forman una malla ortogonal con los perfiles verticales. Para que la pieza encastre en el perfil horizontal, se le hace en su reverso una ranura longitudinal total a 45° de una profundidad máxima del 30 % del ancho de la baldosa, con la que se produce el menor deterioro de sus capacidades mecánicas y se garantiza un perfecto anclaje, en la parte superior y en la parte inferior de la baldosa.

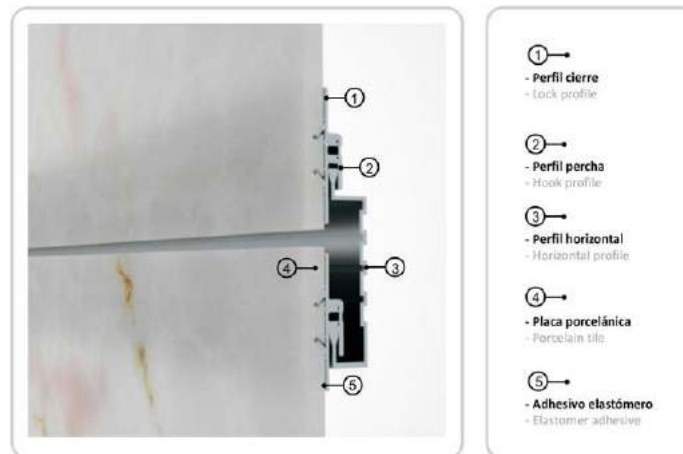


Detalle sistema oculto Karrat S-7. Mecanofas

- **RediWA Cat-1 (Wandegar)**

Es un sistema de fijación longitudinal oculta mixta (mecánica y química) que trabaja por la compresión ejercida por el sistema sobre el dorso de la placa. Dos pares de ranuras en el dorso de la placa permiten la inserción de unos perfiles de aluminio que fijados mediante tornillos de acero inoxidable.

El sistema evita el posible riesgo de desprendimiento en caso de rotura por la tensión que ejerce el elemento de fijación sobre la placa coincidente con el mecanizado realizado, ejerciendo una presión controlada sobre la zona delimitada por los conos de esfuerzo, por ello se considera un sistema que garantiza la seguridad. El sistema permite la reposición de una única pieza cerámica.

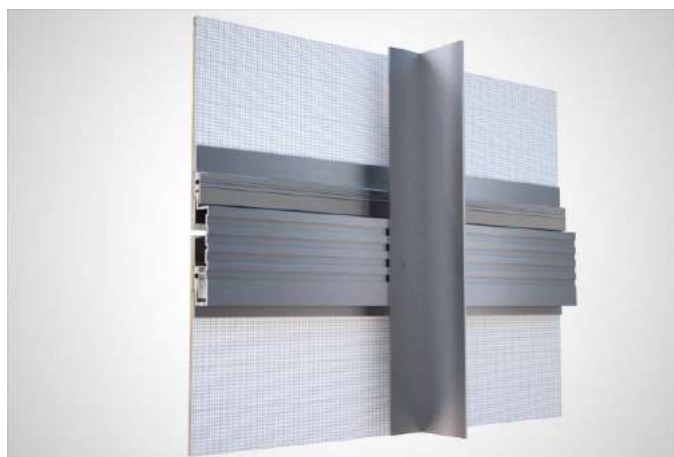


Detalle sistema oculto RediWA Cat-1. Wandegar

- **REDIWA CAT 1 SLIM (Wandegar)**

Consiste en una variante del sistema anterior, enfocado a la fijación de láminas cerámicas de gran formato. Este sistema de fijación mixto y oculto, está especialmente diseñado para piezas de fino espesor, el cual fusiona las ventajas de las fijaciones mecánicas y químicas. Este sistema, permite construir fachadas más ligeras, con mejores prestaciones técnicas y con importantes ahorros en plazos de construcción debido a su bajo peso y fácil instalación.

Las piezas de anclaje son mecanizadas de manera longitudinal en el trasdós de cada pieza, tanto en la parte superior como inferior, donde se insertan de manera industrial un par de perfiles unidos mediante adhesivos estructurales de última generación.



Detalle sistema oculto RediWA Cat-1SLIM. Wandegar

3.3.3.2.4 **Sistema TIPO H.** Placas superpuestas ancladas por guías o grapas en parte inferior

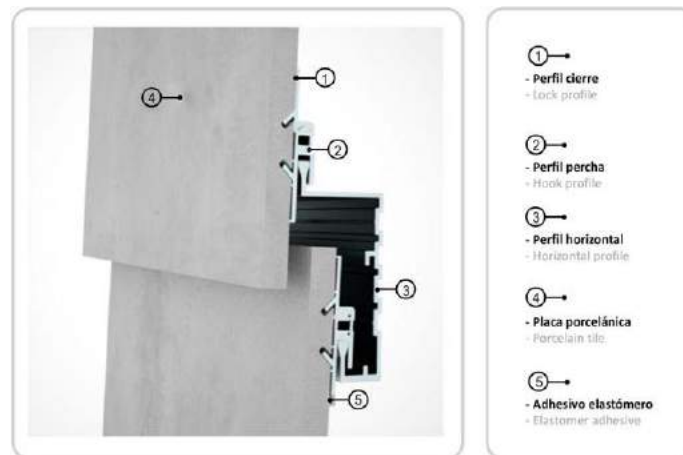
Este sistema, es una variante del sistema anterior, TIPOG, que permite la instalación de las piezas cerámicas de forma superpuesta, generando una superficie a modo de escamas. Algunos sistemas comerciales existentes en el mercado son los siguientes:

- Sistema Disset Visto Sobremontado
- Sistema Escamado Oculto (Butech)
- Sistema REDIWA CAT 6 (Wandegar)

A continuación pasamos a describir uno de estos sistemas comerciales:

- Sistema REDIWA CAT 6 (Wandegar)

El sistema Rediwa CAT 6 de fijación longitudinal oculta mixta (mecánica y química), donde las piezas van colocadas en oblicuo, obteniendo como resultado una fachada en forma de escamas, que ofrece un acabado totalmente innovador respecto a los sistemas tradicionales. Un par de ranuras longitudinales en el dorso superior e inferior de la placa y un adhesivo elastómero MS permiten la fijación de los perfiles de percha y cierre que van colgados sobre una estructura horizontal.



Detalle sistema oculto escamas REDIWA CAT 6. Wandegar

3.3.3.3 **Sistemas para aplicaciones especiales**

- Fachada ventilada Sierravent (SIERRAGRES)

Este sistema de fachada ventilada prescinde de cualquier clase de subestructuras. El sistema patentado (Nº P201030631) consiste en un muro portante con piezas de gres extrudido que poseen unos salientes del mismo material, sobre los que se engarzan directamente las piezas de revestimiento, evitando la necesidad de complejas estructuras metálicas típicas de estos sistemas. Sobre las piezas cerámicas de revestimiento se adhiere una guía metálica que sirve de anclaje.



Sistema de fachada ventilada Sierravent. Sierragres

- Fachadas fotovoltaicas. (Pamesa-Tau)

Las piezas desarrolladas por pamesa, consiste en la integración de células fotovoltaicas en las baldosas cerámicas que las convierte en un elemento generador de energía eléctrica a partir de una fuente de radiación solar. Por otra parte, Tau Cerámica, desarrollo con atersa, un sistema que permitía disponer de paneles solares integrados en las estructuras arquitectónicas, utilizando estas piezas bien como elementos de cubierta del tejado o bien combinando la función de aprovechamiento energético.



Tau cerámica. Atersa



Pamesa. Isofotón

3.3.4 Comparativa

Se desarrolla una tabla comparativa mediante una serie de indicadores valorados cualitativamente, que permiten evaluar las características más relevantes de los sistemas cerámicos a emplear en la rehabilitación de fachadas. En este caso, para el desarrollo de la comparativa, se incorpora un sistema de referencia que represente un sistema comercial de otro material de acabado empleado frecuentemente en le rehabilitación de esta aplicación. En este caso los sistemas a comparar son los siguientes:

- **Sistema 0.** Sistema de referencia SATE monocapa.

Se considera la rehabilitación de la fachada mediante la incorporación de un aislamiento rígido por el exterior fijado al soporte existente y un acabado mediante revestimiento exterior de mortero mineral (cal).

- **Sistema1:** Fachada aplacada con aislamiento por el interior.

Se considera que el aislamiento se realiza con un trasdosado directo interior mediante tabiquería de cartón yeso. El sistema de fijación del aplacado cerámico sobre el soporte existente consiste en un sistema mixto de grapa+adhesivo.

- **Sistema 2:** Fachada aplacada con aislamiento por el exterior (SATE).

Se considera la rehabilitación de la fachada mediante la incorporación de un aislamiento rígido por el exterior fijado al soporte existente y un acabado mediante lámina cerámica de gran formato y reducido espesor fijada mediante sistema de fijación mixto (adhesivo + grapa).

- **Sistema 3:** Fachada ventilada cerámica con aislamiento exterior.

Se considera la rehabilitación de la fachada mediante un sistema de fachada ventilada fijado sobre el soporte existente. El sistema se fachada se componen del aislamiento, los montantes verticales, el sistema de fijación de grapa oculta (TipoC) y la pieza de gres porcelánico ranurada en su canto.

A continuación se muestra la tabla comparativa entre los distintos sistemas:

TERCER BLOQUE. COMPARATIVA DE SISTEMAS CERÁMICOS PARA LA REHABILITACIÓN

GRUPOS	INDICADORES REHABILITACIÓN	Ponderación	SISTEMA 0 SATE acabado mortero	SISTEMA 1 Fachada aplacada	SISTEMA 2 SATE cerámico	SISTEMA 4 Fachada Ventilada
DISEÑO Y PRESTACIONES 25%	Tipología de producto de acabado	-	morteo acrílico mortero mineral	Gres porcelánico Gres esmaltado Gres rústico	Gres porcelánico Gres esmaltado Gres rústico	Gres porcelánico Gres esmaltado Gres rústico
	Variedad de formatos	15%	MUY ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO
	Variedad de acabados	15%	MEDIO	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO
	Personalización	10%	BAJO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Permite elevados espesores de aislamiento	10%	ALTO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
	Aislamiento acústico	10%	ALTO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
	Resistencia a las manchas	5%	MEDIO	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO
	Resistencia a la helada	10%	MEDIO	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO
	Resistencia al envejecimiento condiciones ambientales	10%	MEDIO	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO
	Resistencia mecánica	10%	MEDIO	ALTO	ALTO	MEDIO
	Requiere requisitos especiales de resistencia al fuego	5%	NO	NO	NO	SI
		100%	3,5	4,25	4,3	4,45
INSTALACIÓN 20%	Facilidad/Rapidez de instalación	20%	ALTO 1,4 h/m2	MEDIO 2,4 h/m2	MEDIO 2,4 h/m2	BAJO 3 h/m2
	Requiere mano de obra especializada	10%	NO	NO	NO	SI
	Requiere empleo de agarres húmedos	5%	SI	SI	SI	NO
	Permite instalación durante periodos de lluvia o helada	10%	NO	NO	NO	SI
	Facilidad para absorber irregularidades del soporte	10%	MEDIO	BAJO	MEDIO	MUY ALTO
	Facilidad para resolver encuentros	15%	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Tiempo transcurrido entre instalación y uso	10%	MEDIO	MUY ALTO	MEDIO	BAJO
	Comodidad de instalación para el usuario	20%	ALTO	MUY BAJO	ALTO	ALTO
		100%	3,3	2,2	3,1	3,55
MANTENIMIENTO 15%	Facilidad de reparación/desmontaje	25%	BAJO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Frecuencia de reparación por roturas accidentales	20%	MEDIO	MUY BAJO	MUY BAJO	BAJO
	Facilidad de limpieza	10%	BAJO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Sistema registrable	5%	NO	NO	NO	SI
	Evita la aparición de elflorescencias en fachada	10%	NO	NO	NO	SI
	Evita el cambio de color de la superficie	15%	NO	SI	SI	SI
	Evita la aparición de fisuras	15%	NO	NO	NO	SI
		100%	1,75	3,2	3,2	4,55
SOSTENIBILIDAD 20%	Vida útil del sistema	25%	MEDIO 25 años	MUY ALTO 50 años	MUY ALTO 50 años	MUY ALTO 50 años
	Reducción de puentes térmicos	15%	SI	NO	SI	SI
	Reducción de condensaciones	10%	SI	NO	SI	SI
	Facilidad de reutilizar o reciclar	5%	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO
	Mejora la efectividad del aislamiento	5%	BAJO	MUY ALTO	BAJO	ALTO
	Emisiones de Co2 en la producción	15%	ALTO 92,38 Kg CO2	BAJO 67,24 Kg CO2	MUY ALTO 109,82 Kg CO2	MUY BAJO 39,2 kg CO2
	Coste energético	15%	MEDIO 630,17 MJ	BAJO 595,19 MJ	ALTO 777,03 MJ	BAJO 559,6 MJ
	Consumo de recursos en la instalación	5%	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO
	Residuos generados en la instalación	5%	BAJO 1,6 kg/m2	MEDIO 2,7 kg/m2	MEDIO 2,4 kg/m2	BAJO 1,9 kg/m2
		100%	3,3	3,35	3,45	4,65
COSTE 20%	Coste del sistema	60%	BAJO 50,86 €/m2	BAJO 50,63 €/m2	MEDIO 61,65 €/m2	MUY ALTO 97,6 €/m2
	Coste de instalación	40%	BAJO 25,59 €/m2	MEDIO 43 €/m2	MEDIO 44,12 €/m2	ALTO 50,52 €/m2
	Coste Total	-	76,49 €/m2	93,63 €/m2	105,77 €/m2	148,12 €/m2
		100%	4	3,6	3	1,4
PUNTUACIÓN TOTAL		100%	3,26	3,37	3,47	3,72

Tabla comparativa de sistemas cerámicos para rehabilitación de fachadas. Elaboración propia

En la comparativa entre sistemas para la **rehabilitación de las fachadas** de los edificios, el sistema que ha obtenido la mayor puntuación, es el **sistema 4 (fachada ventilada cerámica)**.

A continuación se analizan los resultados obtenidos en la comparativa, para cada uno de los grupos de indicadores.

- **Diseño y prestaciones**

El sistema que ofrece mayores posibilidades de personalización y de acabado, y a su vez mejores prestaciones térmicas, acústicas y de resistencia frente agentes externos, es el sistema 4 (fachada ventilada), mientras que el sistema que obtiene la valoración más baja, es el sistema 0 de referencia (Sate acabado con mortero).

- **Instalación**

En la evaluación de los indicadores correspondientes a la instalación de los diversos sistemas, el sistema de fachada mejor valorado es el sistema 4 (fachada ventilada), debido principalmente al evitar el empleo de materiales de agarre húmedos y por lo tanto permitir su instalación durante periodos de lluvia o helada, facilitar la absorción de irregularidades del soporte y ofrecer al usuario comodidad de instalación, al realizar la instalación por el exterior sin interrumpir la actividad del edificio, frente al sistema 2 (fachada aplacada), que requiere la incorporación del aislamiento por el interior, reduciendo el espacios interior e interrumpiendo la actividad del edificio.

- **Mantenimiento**

En cuanto a los indicadores de mantenimiento, el sistema 4 (fachada ventilada), destaca por tratarse de un sistema registrable que permite la reparación o el desmontaje del sistema de forma sencilla y principalmente por garantizar el color del revestimiento durante toda su vida útil y evitar la aparición de eflorescencias y fisuras que deprecian significativamente la estética del edificio. Por estos motivos este sistema ha obtenido la mejor puntuación, frente al sistema 1 (Sate acabado con mortero) que obtiene la puntuación mas baja.

- **Sostenibilidad**

En cuanto a la sostenibilidad, los sistemas con recubrimientos cerámicos para fachadas, destacan frente al sistema 0 (Sate acabado con mortero), por ofrecer una vida útil de 50 años, frente a los 25 años que ofrece el acabado de mortero. La elevada vida útil de la cerámica, unida a la facilidad de reutilización, la reducción de consumo de recursos y residuos generados en la instalación, la mejora de la eficiencia del aislamiento debido a la cámara ventilada y la reducción de los impactos ambientales de emisiones de CO₂ en la producción y el coste energético, convierten al sistema 4 (fachada ventilada) en el mejor valorado. En relación a las emisiones de Co₂ en la producción y coste energético, se aprecian diferencias importantes entre el sistema de fachada ventilada y los sistemas SATE, debido a que la instalación del sistema de Fachada ventilada no emplea adhesivos, mientras que en los sistemas Sate se requiere el empleo de morteros para la protección del aislamiento y adhesivos para la fijación tanto del aislamiento como del revestimiento de acabado en el caso de lámina cerámica.

- **Costes**

Por último, en relación a los indicadores de costes, el sistema mejor valorado y por lo tanto el que ofrece un menor coste del sistema y de instalación, es el sistema 0 (Sate con acabado monocapa), mientras que el sistema que obtiene la menor puntuación, debido al excesivo coste del sistema (coste de la subestructura y piezas de gres porcelánico mecanizadas) y al mayor coste de instalación, corresponde al sistema 3 (fachada ventilada).

3.4 Cubiertas planas

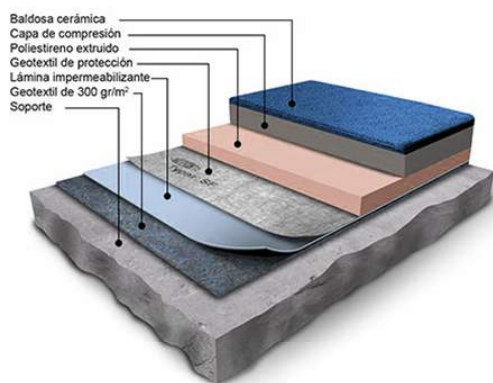
En este punto se realiza una descripción y recopilación de los sistemas cerámicos existentes en el mercado para la rehabilitación de cubiertas planas. Se contempla tanto el método de colocación directo sobre la cubierta existente mediante una cubierta invertida y solado fijo y por otra parte las cubiertas ventiladas con solado flotante sobre plots de polipropileno.

Destacar que, la rehabilitación de las cubiertas es muy importante para reducir el consumo energético de edificio, al ser la superficie de la envolvente más expuesta frente a la radiación solar. En el siguiente bloque del proyecto, se evaluará la eficiencia energética de algunos sistemas cerámicos para rehabilitación de cubiertas.

3.4.1 Sistema de cubierta invertida con solado fijo

La cubierta invertida es un sistema de cubierta plana, cuya particularidad y diferencia con el sistema de cubierta tradicional, consiste en la instalación del aislamiento térmico por encima de la capa de impermeabilización [19].

Esta tipología de cubierta es una solución constructiva idónea para la rehabilitación de cubiertas en climas cálidos, ya que la membrana impermeable queda protegida por el aislamiento frente a sollicitaciones externas (temperatura, ciclos de hielo/deshielo, etc) y además evita que el forjado de cubierta se sobrecaliente y transmita esta energía al interior del edificio, que aumentaría el consumo en refrigeración.



Componentes e instalaciones de un sistema de cubierta invertida. Fuente AIPEX

El proceso de rehabilitación mediante un sistema de cubierta invertida consiste en:

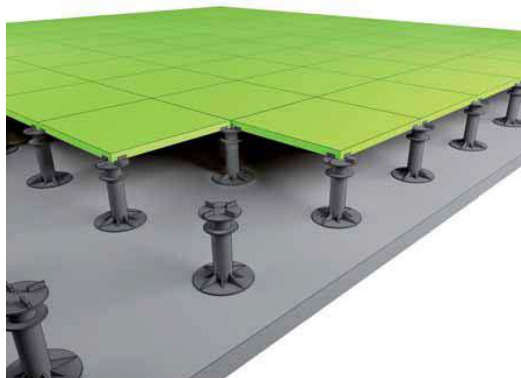
- Deconstrucción de las capas de revestimiento, mortero y regularización existentes, hasta la impermeabilización (en aquellos casos en los que sea necesario limitación o espacio o por un estado de deterioro de estas capas)
- Comprobar el estado de la impermeabilización y en que sea necesaria reponer la lámina impermeabilizante.
- Instalación de un geotextil como capa separadora y antiadherente previo al aislamiento.
- Instalación del aislamiento rígido y protección mediante geotextil
- Vertido, extendido y reglado de una capa de regularización de mortero de cemento.
- Instalación del pavimento cerámico mediante adhesivo cementoso.

La rehabilitación de cubiertas planas por el exterior, mediante el sistema de cubierta invertida, incorporando aislamientos rígidos (XPS) por encima de la membrana impermeable nueva o existente, resulta especialmente interesante por todas las **ventajas** que aporta, entre las que podemos destacar:

- Mínimas interferencias para los usuarios durante el desarrollo de los trabajos.
- Corrección de puentes térmicos lineales como contornos de huecos.
- Evitar fenómenos de condensación del vapor de agua.
- Aprovechamiento de la inercia térmica del forjado o soporte de la cubierta original.
- Mejora del aspecto estético y revalorización económica del inmueble.

3.4.2 Sistema de cubierta invertida con solado flotante

El sistema de solado flotante o pavimento técnico para exterior, se basa en el apoyo las piezas cerámicas sobre los pedestales con el objetivo de obtener bajo la superficie de tránsito un espacio que permita albergar las pendientes necesarias para la evacuación de lluvia. La unión entre el pedestal y el panel debe permitir cierto movimiento que absorba el diferencial de dilatación de ambos materiales, por ello y con el objetivo de evitar el tableteo de las piezas, existe la posibilidad de colocar poliuretano para fijar la unión, dejando el resto de junta abierto para permitir el drenaje de agua. Los pavimentos técnicos para exterior son sistemas son válidos tanto para la rehabilitación de cubiertas como para la rehabilitación de otros espacios exteriores como terrazas o piscinas.



*Detalle de un suelo flotante exterior.
Fuente Fachadas ventiladas y pavimentos técnicos*

Entre las **ventajas** de este sistema en la rehabilitación de la cubierta de edificios podemos destacar las siguientes:

- Genera un pavimento totalmente horizontal sobre suelos de albañilería con ligeras pendientes.
- Las piezas cerámicas protegen la cubierta de la radiación directa del sol, aumentando la durabilidad y el buen funcionamiento de ésta, además de disminuir el calor por insolación de cubierta que es muy elevado en los meses estivales.
- La cámara de aire bajo el pavimento y las juntas abiertas, permiten la ventilación constante que evita condensaciones por recirculación del aire.
- La cámara permite albergar diversas instalaciones debajo del pavimento.
- Facilita la reparación y colocación de instalaciones, así como las eventuales reparaciones de cubierta, gracias al fácil acceso de la cámara.
- Mejora el aislamiento acústico frente a ruido aéreo y ruido de impacto.
- El sistema permite rapidez de montaje y con ello menores molestias al usuario.

La rehabilitación de la cubierta mediante este sistema, consiste en la instalación de los siguientes componentes sobre el soporte existente, siempre que el soporte ofrezca unas pendientes adecuadas que oscilen entre el 1 y 5%.

- Instalación de la lámina impermeabilizante sobre el soporte existente.
- Instalación de geotextil como capa separadora y antiadherente previo al aislamiento
- Instalación del aislamiento térmico rígido XPS (poliestireno extrudido)
- Instalación de geotextil que actúe como capa separadora antipunzante,
- Instalación de plots de polipropileno adheridos mediante adhesivo
- Colocación de piezas cerámicas sobre los plots

3.4.2.1 *Sistemas comerciales*

- Wandefloor Outwase (Wandegar)

El sistema Wandefloor esta formado por unos paneles cerámicos y una subestructura inferior de polipropileno. Los paneles están formados por una baldosa de cerámica con un refuerzo en la parte posterior de la misma que, aumentando únicamente entre 2 -3mm, dota al conjunto de una elevada resistencia. El refuerzo está compuesto por una matriz polimérica denominada STRONGCID, con una malla de fibra de vidrio embebida en su interior. Las piezas cerámicas de porcelánico rectificado, van apoyados directamente sobre los plots de polipropileno, que forman una retícula de puntos de apoyo regulables en altura, pudiéndose adaptar a las diversas variaciones de cota del plano de apoyo.

Las juntas del sistema se disponen siempre abiertas, permitiendo el drenaje de agua entre las mismas, a la vez que impide la acumulación de agua y posible formación de superficies heladas en climas fríos, lo que reduce considerablemente el riesgo de caídas por resbalabilidad sobre la superficie del solado, mejorando así el grado de seguridad del sistema. Se trata de una junta específica, reticular y continua, determinada por unas pequeñas pestañas dispuestas en el plano de apoyo de cada plot, las cuales permiten la correcta disposición de las piezas de solado, configurando a su vez el sistema de juntas abiertas del sistema.



Detalle de un suelo flotante exterior con baldosa cerámica de 11mm. Wandegar

- Suelo técnico (Keraben system)

Keraben ofrece un sistema de pavimentos sobreelevado para aplicaciones exteriores, como es el caso de las cubiertas ventiladas transitables. Este sistema esta formado por una baldosa cerámica fabricada mediante la adhesión de dos piezas de gres porcelánico de 11mm, que va apoyada sobre unos plots de polipropileno.

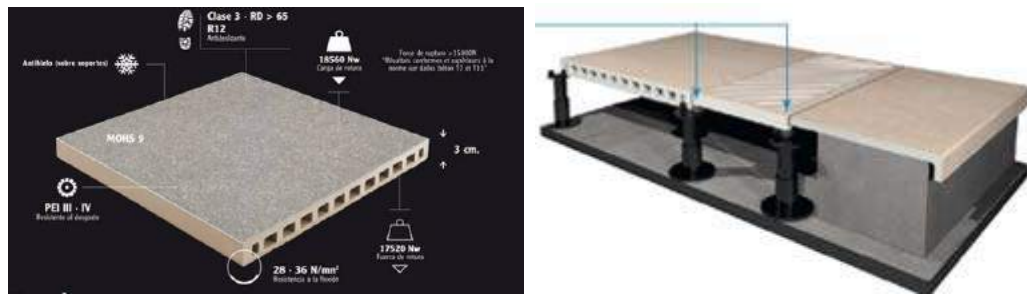


Detalle de un suelo flotante exterior con pieza cerámica doble. Keraben

- Filter floor (Natucer)

Este sistema de suelo técnico es similar a los anteriores, ya que las piezas cerámicas se apoyan sobre una subestructura formada por plots de polipropileno. La principal diferencia del sistema respecto a los anteriores, es que se trata de una pieza cerámica extrudida, con un espesor de 3cm y altas prestaciones.

Las piezas cerámicas se apoyan sobre los plots de polipropileno, dejando las juntas abiertas para permitir el rápido drenaje del agua de lluvia, garantizando así una superficie plana sin charcos. Este sistema dispone también de piezas especiales para resolver encuentros en piscinas o terrazas, como son piezas para peldaños o piezas ranuradas para desagües.



Detalle de un suelo flotante exterior con pieza cerámica extrudida. Natucer

- Twin Floor Exterior (Nesite-Italy)

El sistema está formado por un panel modular apoyado sobre plots de polipropileno. El panel modular está compuesto por una placa superior en gres porcelánico antideslizante y una inferior con función de refuerzo. Las dos placas, que forman un panel de dimensiones 600x600 mm con un espesor total de 22 a 26 mm, se sueldan entre sí con un adhesivo.

Este sistema ofrece dos tipologías de paneles. El panel Twin Floor L, con un espesor de 22mm, se compone de una baldosa de gres porcelánico adherida mediante adhesivo a un soporte que consta de un núcleo estructural homogéneo, eco-compatible, sinterizado a altísimas temperaturas, 11 mm de espesor.

El panel Twin Floor S, con un espesor de 26mm, se compone de una baldosa de gres porcelánico adherida mediante adhesivo a un soporte que consta de un núcleo estructural homogéneo reforzado por fibras con densidad 2200kg/m² y espesor de 15mm. Este último producto ofrece altas prestaciones, por lo que es un producto adecuado a instalar en terrazas de espacio públicos con intensidad de tránsito peatonal elevado.



Detalle de un suelo flotante exterior. Nesite-Italy

3.4.3 Comparativa

Se desarrolla una tabla comparativa mediante una serie de indicadores valorados cualitativamente, que permiten evaluar las características más relevantes de los sistemas cerámicos para la rehabilitación de cubiertas planas. Los sistemas a comparar son los siguientes:

- **Sistema 0:** Cubierta estándar con solado cerámico

Se considera la rehabilitación mediante un sistema de cubierta convencional (lámina de impermeabilización por encima del aislamiento) junto con la deconstrucción de las capas existentes (material de acabado, material de agarre y capa de regularización) hasta llegar la capa de aislamiento.

- **Sistema 1:** Cubierta invertida con solado cerámico

Se considera la rehabilitación mediante un sistema de cubierta invertida sobre soporte existente, incorporando lámina de impermeabilización, capa de aislamiento, capas protectores de geotextil, capa de regularización y material cerámico adherido. En este caso no se considera la deconstrucción de las capas existentes.

- **Sistema 2:** Cubierta plana invertida con solado flotante

Se considera la rehabilitación mediante un sistema de cubierta invertida con solado cerámico flotante sobre el soporte existente (se considera que la formación de pendientes es adecuada, estando entre el 1% y el 5%), incorporando lámina de impermeabilización, un geotextil como capa separadora y antiadherente previo al aislamiento, el aislamiento térmico rígido XPS (poliestireno extrudido), otro geotextil que actúe como capa separadora antipunzante, plots de polipropileno adheridos mediante adhesivo y finalmente las piezas cerámicas apoyadas sobre los soportes. En este sistema, al igual que en sistema 1, no se considera la deconstrucción de las capas existentes.

A continuación se muestra la tabla comparativa entre los distintos sistemas:

TERCER BLOQUE. COMPARATIVA DE SISTEMAS CERÁMICOS PARA LA REHABILITACIÓN

GRUPOS	INDICADORES REHABILITACIÓN	Ponderación	SISTEMA 0 Cubierta estándar solado fijo	SISTEMA 1 Cubierta invertida solado fijo	SISTEMA 2 Cubierta invertida solado foltante
DISEÑO Y PRESTACIONES 25%	Tipología de producto cerámico	-	Gres porcelánico Gres esmaltado Gres rústico Baldosin catalán	Porcelánico Gres esmaltado Gres rústico Baldosin catalán	Porcelánico
	Variedad de formatos	15%	ALTO	ALTO	MEDIO
	Variedad de acabados	20%	MUY ALTO	MUY ALTO	ALTO
	Espesor reducido del material de acabado	10%	SI 10mm	SI 10mm	NO 22mm
	Genera una superficie transitable sin pendientes	10%	NO	NO	SI
	Reduce el riesgo de charcos	10%	NO	NO	SI
	Aislamiento acústico	15%	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Resistencia mecánica	20%	MUY ALTO	MUY ALTO	ALTO
		100%	3,9	3,9	3,9
INSTALACIÓN 20%	Facilidad/Rapidez de instalación	20%	MUY ALTO 3,2 h/m2	MEDIO 1,8 h/m2	MEDIO 1,75 h/m2
	Requiere mano de obra especializada	5%	NO	NO	SI
	Requiere empleo de agarres húmedos	5%	SI	SI	NO
	Sistema de reducido espesor	10%	SI 40mm	NO 80mm	NO Entre 50 y 500mm
	Sistema ligero	5%	NO	NO	SI
	Deconstrucción del sobre soporte existente	20%	SI	NO	NO
	Facilidad para absorber irregularidades del soporte	10%	ALTO	MEDIO	MUY ALTO
	Tiempo transcurrido entre instalación y uso	10%	ALTO	MEDIO	BAJO
	Comodidad de instalación para el usuario	15%	BAJO	ALTO	ALTO
		100%	2,95	3,25	3,75
MANTENIMIENTO 15%	Facilidad de reparación/desmontaje	30%	MEDIO	MEDIO	MUY ALTO
	Frecuencia de reparación por roturas accidentales	30%	BAJO	BAJO	MEDIO
	Facilidad de limpieza	25%	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Sistema registrable	15%	NO	NO	SI
		100%	3,25	3,25	4,4
SOSTENIBILIDAD 15%	Vida útil del sistema	30%	ALTO 50 años	ALTO 50 años	ALTO 50 años
	Facilidad de reutilizar o reciclar	10%	BAJO	BAJO	ALTO
	Emisiones de Co2 en la producción	20%	BAJO 75,03 Kg CO2	MEDIO 94,89 Kg CO2	ALTO 121,29 Kg CO2
	Coste energético	20%	BAJO 638,3 MJ	MEDIO 755,74 MJ	ALTO 886,55 MJ
	Consumo de recursos en la instalación	10%	MEDIO	MEDIO	BAJO
	Reducción de residuos generados en la instalación	10%	MUY BAJO 142 kg/m2	MEDIO 9,92 Kg/m2	MEDIO 8,615 Kg/m2
		100%	3,4	3,2	3,1
COSTE 25%	Coste del sistema	60%	MEDIO 58,08 €/m2	MEDIO 56,82 €/m2	ALTO 90,59 €/m2
	Coste de instalación	40%	ALTO 52,43 €/m2	MEDIO 30,12 €/m2	MEDIO 29,80 €/m2
	Coste Total	-	110,51 €/m2	86,94 €/m2	120,39 €/m2
		100%	2,6	3	2,4
PUNTUACIÓN TOTAL		100%	3,21	3,34	3,45

Tabla comparativa de sistemas cerámicos para rehabilitación de cubiertas. Elaboración propia

Las valoraciones obtenidas en la comparativa, muestran que el sistema que ha obtenido la mayor puntuación y a priori el más adecuado para la **rehabilitación de cubiertas planas transitables**, es el **sistema 2 (Cubierta invertida con solado flotante)**.

A continuación se analizan los resultados obtenidos en la comparativa, para cada uno de los grupos de indicadores.

- **Diseño y prestaciones**

En cuanto a los indicadores de Diseño y prestaciones, los tres sistemas han obtenido la misma puntuación. Destacar que en el caso del Sistema2 (Cubierta invertida con solado flotante), la variedad de formatos y acabados y la resistencia mecánica es menor que en el resto de sistemas, pero este sistema ofrece mayor aislamiento acústico y genera una superficie transitable más segura evitando la formación de pendientes y de charcos durante periodos de lluvia.

- **Instalación**

En la evaluación de los indicadores correspondientes a la instalación, el sistema de cubierta mejor valorado es el sistema 3 (Cubierta invertida con solado flotante). Este sistema, aunque requiere la instalación con personal cualificado, evita el empleo de materiales de agarre húmedos, facilita la absorción de irregularidades del soporte y reduce el tiempo entre la instalación del sistema y su uso. El sistema que ha obtenido la puntuación mas baja, es el sistema 0 (cubierta estándar con solado fijo) ya que se considera que previo a la instalación de este sistema, se requiere la deconstrucción del soporte existente, aumentando de este modo el tiempo de instalación y reduciendo la comodidad para el usuario.

- **Mantenimiento**

En cuanto a los indicadores de mantenimiento, el sistema 3 (Cubierta invertida con solado flotante), destaca por tratarse de un sistema registrable que permite la reparación o el desmontaje del sistema de forma sencilla y por facilitar las tareas de limpieza de la cubierta al disponer de juntas abiertas entre piezas.

- **Sostenibilidad**

En cuanto a la sostenibilidad, el sistema mejor valorado es el sistema 0 (cubierta estándar con solado fijo), que ofrece menor impacto ambiental, al reducir las emisiones de Co2 y el coste energético respecto al resto de sistemas, debido principalmente, a que en este sistema se emplea como aislamiento térmico la lana de roca que posteriormente se protegerá con la lámina impermeabilizante y una capa de regularización de mortero, mientras que en los sistemas de cubiertas invertida, se ha considerado el empleo de un aislamiento rígido de poliestireno extrudido.

- **Costes**

En el último grupo de indicadores, basado en el análisis de costes, el sistema mejor valorado corresponde al sistema 1 (cubierta invertida solado fijo), al considerar que se instala sobre el soporte existente, frente a la deconstrucción considerada en el sistema 0 (cubierta estándar con solado fijo) y por ofrecer una reducción considerable respecto al coste del sistema 3, por la repercusión del pavimento técnico de gres porcelánico y el empleo de pedestales.

3.5 Pavimentos urbanos

Finalmente, en este punto, se realiza una descripción y recopilación de los sistemas cerámicos existentes en el mercado para la rehabilitación de pavimentos urbanos. Aunque existen diversas empresas del sector cerámico que están comercializando productos para pavimentación urbana, la instalación de los diferentes productos cerámicos emplea el mismo sistema de colocación.

El recubrimiento de espacios urbanos de pública concurrencia, como aceras, plazas, zonas peatonales o paseos, tradicionalmente ha sido desarrollado con otros materiales, por ello la comparativa del sistema cerámico se realizará respecto a sistemas con materiales tradicionales (piedra natural, terrazo y baldosas de hormigón).

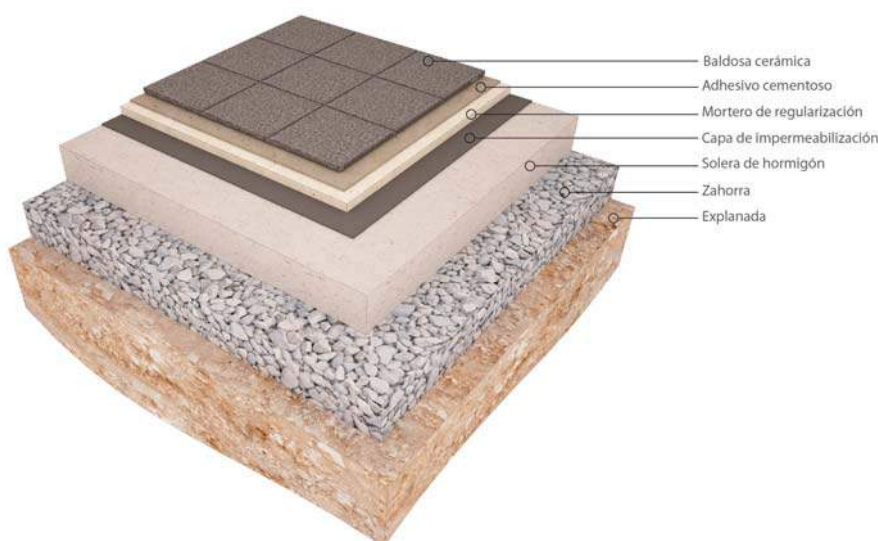
3.5.1 Sistema de pavimentación urbana con gres porcelánico

Los materiales cerámicos utilizados en pavimentación urbana aportan nuevos valores técnicos, estéticos y funcionales que superan las posibilidades de la mayor parte de productos tradicionales, que lo convierte en un material idóneo para la rehabilitación de espacios urbanos.



Fuente: Paseo Marítimo de Poniente Benidorm. Carlos Ferrater. Fotografía: Alejo Bagué

El sistema de pavimentación cerámica para espacios urbanos, consta básicamente de dos componentes: la baldosa cerámica y el soporte. El soporte, formado por una serie de capas, es un elemento esencial para garantizar las adecuadas prestaciones mecánicas y la durabilidad del pavimento. Las capas principales que componen el sistema son las que muestran en el siguiente gráfico:



Componentes principales de sistema de pavimentación cerámica. Fuente Solconcer

A continuación se describen las características de las capas principales que componen el sistema cerámico de pavimentación urbana:

1. Explanada

La explanada natural es el soporte sobre el que se instalarán las diversas capas del sistema de pavimentación urbana. La explanada natural debe cumplir con un CBR mayor a 5. La mayor parte de los pavimentos urbanos se realizarán directamente sobre el terreno, no existe la posibilidad de disponer un forjado como soporte, en aquellos casos en los que el pavimento se instala sobre un parking, estación de metro o similar.

2. Capa Anti-capilar (Zahorra)

Consiste en la formación de una base granular con zahorra natural compactada, que por una parte, permite la perfecta compactación del terreno y la regularización de la base para la posterior ejecución de la solera de hormigón, y por otra parte, evita el remonte capilar por la ausencia de finos en el seno de la capa. El espesor aconsejado para esta capa es de 20cm.

3. Capa de Hormigón armado

Sobre la zahorra compactada, se ejecuta la capa de hormigón en masa para una adecuada resistencia mecánica en función del tipo de tránsito previsto en el pavimento. Los espesores empleados oscilan entre los 10 y los 20cm, en función del tipo de tránsito previsto.

4. Capa de desolidarización

Esta capa tiene como función independizar dos estratos contiguos desde el punto de vista mecánico, de los movimientos diferenciales que se pueden producir entre ambos. Se realiza mediante arena lavada o garbancillo de diámetro entre 0 a 5mm.

5. Capa de regularización

Consiste en una capa de mortero de cemento con un espesor medio de 40mm cuya función es proporcionar planitud con la técnica de colocación seleccionada.

6. Adhesivo

La colocación de baldosas cerámicas con una capacidad de absorción de agua inferior al 0,5%, precisan de la colocación de un adhesivo cementoso (tipo C1 o C2) que asegure la adherencia química entre el material de agarre y el reverso de la baldosa cerámica. La instalación se realiza mediante la técnica de colocación de doble encolado en capa fina, con el objetivo de aumentar al máximo la superficie del reverso de la baldosa que entra en contacto con el adhesivo. El espesor de material de agarre aplicado oscilará entre 3 y 6mm. En ningún caso se recomienda instalar una baldosa cerámica para este uso en capa gruesa.

7. Baldosa cerámica y rejuntado

Las baldosas cerámicas a emplear en la pavimentación urbana deben cumplir una serie requisitos, entre los que podemos destacar: Módulo de rotura >40MPa y espesor mínimo superior a 12mm (sin incluir el relieve de la costilla), resistencia al desgaste por tránsito peatonal igual a H6, resistencia al impacto duro, resistencia química, resistencia a manchas mayor o igual a clase 3 o resistencia a la helada en zonas con riesgo de helada, entre otras. Las baldosas deben colocarse con juntas rectas y regulares, cuya anchura será de 5 mm y el material de rejuntado empleado habitualmente será del tipo CG2.

A continuación se muestra una imagen de la instalación de un pavimento cerámico en una Acera de Castellón, mediante la técnica del doble encolado:



Instalación de acera cerámica. TAU cerámica

En entornos urbanos, el proceso habitual de rehabilitación de pavimentos consiste en la deconstrucción del pavimento y capas de soporte existentes hasta llegar a la explanada natural o forjado. A partir de estas capas, se procede a la instalación de las diversas capas definidas anteriormente.

Las principales **ventajas** de las baldosas cerámicas para su aplicación en la rehabilitación de la pavimentación exterior son las siguientes:

- Resistente a la Helada y al Choque Térmico
- Elevada Resistencia Química
- Buena Resistencia la Abrasión
- Alta resistencia mecánica.
- Excelente Resistencia al deslizamiento, permitiendo desarrollar rugosidades superficiales o relieves apropiados según el ámbito de aplicación.
- Diseños sin relieves acentuados, evitando tropezones.
- Estética, gracias al amplio campo de colores, texturas, acabados, formatos y posibilidades de personalización (láser, chorro de tinta, etc).
- Diseño y desarrollo de pavimentos hápticos (botones, acanaladuras)
- Reducción del coste de mantenimiento/limpieza al tratarse de un producto no poroso.
- Durabilidad, sin pérdidas de color.

Respecto a los **inconvenientes** de emplear el material cerámico en la rehabilitación, destacan, el elevado coste del producto respecto a materiales tradicionales y el elevado coste del sistema de colocación, al requerir de mayor número de capas, la gran dependencia del mercado de pavimentación urbana respecto a los sistemas de instalación tradicionales, junto con el desconocimiento y desconfianza por parte de ayuntamientos y prescriptores.

3.5.1.1 *Sistemas comerciales*

- Civis'Ágora (TAU Cerámica)

Tau cerámica fue la primera empresa del sector cerámico que desarrollo producto cerámico para pavimentación urbana. El producto CIVIS'ÁGORA se caracteriza por disponer de un refuerzo estructural en la costilla posterior de la pieza cerámica que le aporta gran resistencia al pavimento y por el desarrollo de Toe Clearance que aporta seguridad y confort al usuario en base al estudio de los parámetros ideales que se deben producir en la fase de cambio de apoyo durante la marcha. CIVIS'ÁGORA ofrece diversas

colecciones que cubren los diversos usos necesarios en el espacio urbano (Urban, Intern, Signal, Haptic, etc), en diversos formatos 400x400x14mm y 200x200x18mm para zonas de alto tránsito.



Producto cerámico para pavimentación urbana. TAU cerámica

- City (Grespania)

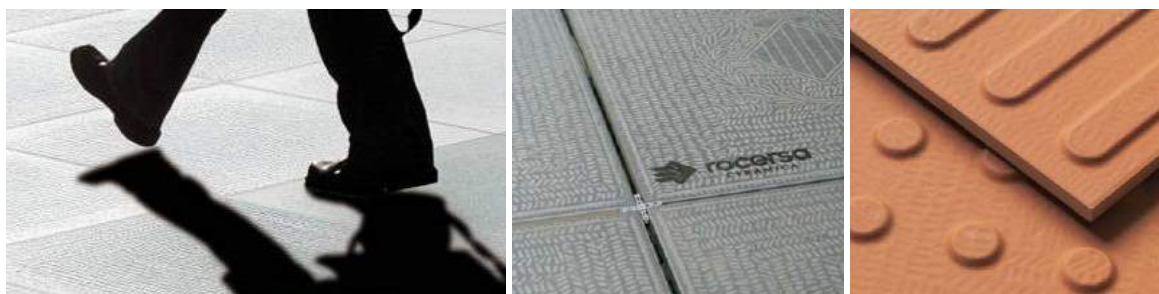
Este producto posee una composición homogénea en todo su espesor, consiguiendo resistencia a flexión superior a 50 Newtons/mm² y valores de absorción de agua inferior a 0,05%. La serie City se fabrica en cuatro colores (beige, gris, negro y marrón), con tres acabados superficiales diferentes (liso, relieve y antislip) y en dos formatos, de dimensiones 600x600x15mm y 300x300x15mm. Además ofrece piezas complementarias hápticas, enfocadas a la eliminación de barreras arquitectónicas principalmente para personas con discapacidad visual.



Producto cerámico para pavimentación urbana. Grespania

- Street (Rocersa)

Es un sistema de pavimentación de alto tránsito, idóneo para espacios públicos, tanto de interior como de exterior. Las altas prestaciones del producto ofrecen mantenimiento mínimo y garantía ante el deslizamiento. El sistema ofrece una amplia gama de posibilidades estética y acabados con relieves táctiles, permitiendo personalizar el diseño de las piezas y garantizando la alta durabilidad de los colores. Las dimensiones del producto son 405x405x15mm.



Producto cerámico para pavimentación urbana. Rocersa

- **Transit (Gaya Forés)**

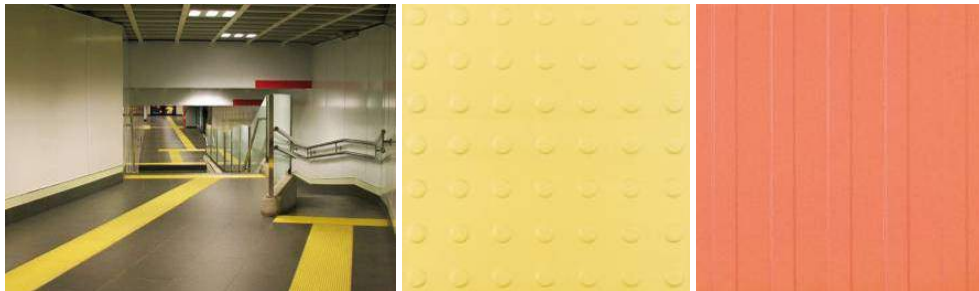
Pavimento urbano formado por baldosas de porcelánico coloreadas en masa con unas dimensiones de 200x200x14mm que esta disponible en distintos acabados superficiales y relieves. Entre sus propiedades destaca su fuerza de rotura superior a 5000N y su resistencia al deslizamiento superior a clase 45 (según norma UNE-IN ISO 10545-4) y clase 3 según CTE.



Acabados producto cerámico. Gaya Forés

- **Compacto técnico (Pamesa)**

Es un producto para espacios urbanos con diversos acabados y con un formato de Dimensiones de 40x40x14mm.



Acabados producto cerámico. Pamesa

3.5.1.2 *Sistemas innovadores o experimentales*

- **Pavimentos urbanos inteligentes**

Ipavement, es un pavimento urbano “inteligente” que incorpora conectividad vía WIFI y aporta servicios para los viandantes. Ha sido desarrollado por la empresa Vía Inteligente. Estas baldosas tienen el mismo aspecto que la baldosas tradicionales, de color gris, formato 40x40cm y peso de 24kg por pieza. Además de Wi-Fi incluyen también conectividad Bluetooth, su propio sistema operativo y aplicaciones preinstaladas. Gracias a ellas, los ayuntamientos podrían servir aplicaciones de utilidad al ciudadano como mapas, información sobre monumentos e incluso como medio de difundir publicidad.

Las baldosas incorporan también unos sensores de vibración y temperatura. La idea es proporcionar información en tiempo real, de modo que se pueda analizar la cantidad de gente que pasa caminando por la calle o las condiciones medioambientales.



Baldosa inteligente. Ipavement

- *Tejidos cerámicos (Flex brick).*

El tejido cerámico [20], es un innovador sistema industrializado basado en un trenzado de alambres de acero que confina una retícula de piezas de arcilla cocida dispuestas en tabla. Con este sistema se consiguen láminas flexibles cerámicas para la construcción de revestimientos (pavimentos, fachadas, cubiertas) y de estructuras laminares (bóvedas, pérgolas). Su principal aportación es la de disponer del material cerámica en un formato novedoso que supera la colocación tradicional pieza a pieza y en el que su gran flexibilidad permite que se puedan almacenar y transportar plegados en palets para que su puesta en obra, en grandes tiradas, sea fácil, rápida y económica.

Estos tejidos abren un campo ilimitado de posibilidades para los revestimientos en seco de la arquitectura. Puesto que son textiles pueden “vestir” fachadas, cubiertas, plazas, paseos... explorando nuevas asociaciones con la arquitectura textil. Y como tal presentan una gran variabilidad: el sistema permite múltiples configuraciones de tejidos y variadas gamas cromáticas. Cada arquitecto, ingeniero o diseñador puede personalizar el diseño de sus patrones geométricos.

A continuación se muestran varias imágenes para su aplicación en pavimentos urbanos:



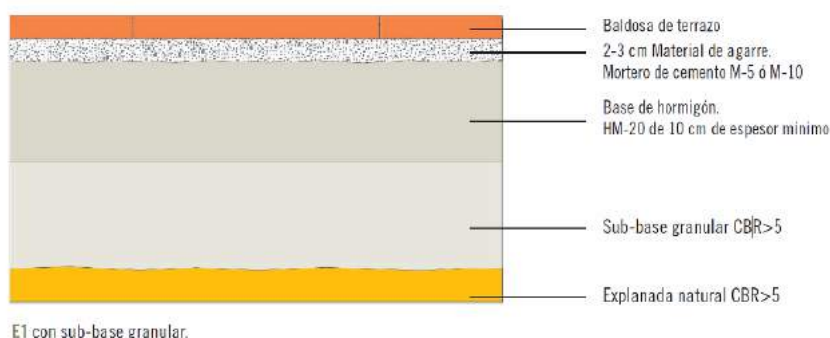
Diversas configuraciones de tejidos: rompejunta, calado y en retícula. Fuente Flex brick

3.5.2 Comparativa

Se desarrolla una tabla comparativa mediante una serie de indicadores valorados cualitativamente, que permiten evaluar las características más relevantes de los sistemas cerámicos para la pavimentación urbana. Como se ha comentado anteriormente, aunque existen diversos productos cerámicos a nivel comercial, las prestaciones y el sistema de colocación son muy similares, por ello se plantea una comparativa con un sistema de colocación tradicional, como puede ser el empleado en la piedra natural, terrazo y baldosas de hormigón.

Antes de iniciar la comparativa, se realizará una breve descripción sobre el sistema de colocación tradicional empleado en la instalación de baldosas en los espacios urbanos para tránsito peatonal, sobre explanada natural, tal y como se define en la guía del terrazo [21].

Este sistema se realiza sobre una explanada mediante nivelación y compactación hasta alcanzar una capacidad de soporte con un índice CBR > 5, a veces puede ser necesario aportar una sub-base granular (zahorra) que se compactará hasta obtener un índice CBR > 5. Una vez constituida la explanada se dispone una base de hormigón (base tipo 5) de 10 cm de espesor mínimo, se cura con riego de agua y se deja transcurrir un mínimo de un mes antes de extender el material de agarre o el lecho de árido para realizar el embaldosado. A continuación se muestra una sección del sistema constructivo:



Fuente: Guía de la baldosa de Terrazo. IVE

Los productos empleados con mayor frecuencia en la pavimentación de aceras, paseos y plazas, son los siguientes, cuyas características técnicas se han recogido en el bloque 2 del proyecto, en el apartado “2.3.2 comparativa para su uso en pavimentación urbana”:

1. **Baldosa de piedra natural:** Unidad de piedra natural obtenida por corte o lajado que se utiliza como material de pavimentación, para pavimentos exteriores y acabados de calzadas.
2. **Baldosa de hormigón:** Unidad prefabricada de hormigón utilizada como material de pavimentación destinado para uso exterior.
3. **Baldosa de terrazo:** Elemento de forma y espesor uniforme que puede ser fabricado individualmente bien por compresión y/o vibración, o moldeado como grandes placas o bloques de áridos minerales aglomerados con cemento mediante vibración y/o compresión y/o vacío, antes de cortarlo al tamaño adecuado. Tanto las baldosas de hormigón como las de terrazo están compuestas por áridos de origen natural o de machaqueo fino procedentes de piedras de granito o mármol, cemento, agua, pigmentos y aditivos.



Baldosa de piedra natural



Baldosa de hormigón



Baldosa de terrazo

Los sistemas de pavimentación urbana a comparar son los siguientes:

- **Sistema 0:** Pavimento urbano mediante baldosa de terrazo. Consiste en la deconstrucción del pavimento existente hasta llegar a la explanada natural. A partir de este punto se incorporan las diversas capas hasta la instalación de la baldosa de terrazo con mortero de cemento en capa gruesa.
- **Sistema 1:** Pavimentos urbano mediante baldosa de gres porcelánico. Consiste en la deconstrucción del pavimento existente hasta llegar a la explanada natural. A partir de este punto se incorporan las diversas capas hasta la instalación de la baldosa cerámica con adhesivo cementoso en capa fina mediante doble encolado.

A continuación se muestra la tabla comparativa entre los distintos sistemas:

TERCER BLOQUE. COMPARATIVA DE SISTEMAS CERÁMICOS PARA LA REHABILITACIÓN

GRUPOS	INDICADORES REHABILITACIÓN	Ponderación	SISTEMA 0 Pavimento Terrazo capa gruesa	SISTEMA 1 Pavimento cerámico capa fina
DISEÑO Y PRESTACIONES 25%	Tipología de producto cerámico	-	Terrazo Piedra Natural Baldosa de hormigón	Porcelánico
	Variedad de formatos	5%	BAJO	MEDIO
	Variedad de acabados	10%	MEDIO	ALTO
	Espesor reducido del material de acabado	5%	NO 30mm	SI 15mm
	Porosidad del material	10%	ALTO	MUY BAJO
	Resistencia al impacto	10%	MEDIO	ALTO
	Resbaladicidad	10%	ALTO	MUY ALTO
	Resistencia a flexión	5%	ALTO	MUY ALTO
	Resistencia a las manchas	15%	MEDIO	MUY ALTO
	Resistencia química	5%	BAJO	MUY ALTO
	Resistencia a la helada	10%	MEDIO	MUY ALTO
	Resistencia al desgaste	15%	ALTO	MUY ALTO
		100%	3	4,7
INSTALACIÓN 20%	Facilidad/Rapidez de instalación	45%	ALTO 1,22 h/m2	MEDIO 1,37 h/m2
	Requiere mano de obra especializada	30%	NO	SI
	Instalación con menor número de capas	25%	SI	NO
		100%	4,55	1,9
MANTENIMIENTO 20%	Facilidad de reparación/desmontaje	30%	MEDIO	MEDIO
	Frecuencia de reparación por roturas accidentales	35%	BAJO	MEDIO
	Facilidad de limpieza	35%	MEDIO	MUY ALTO
		100%	3,35	3,7
SOSTENIBILIDAD 10%	Vida útil del sistema	35%	ALTO 50 años	ALTO 50 años
	Emisiones de Co2 en la producción	20%	MEDIO 105,86 Kg CO2	ALTO 123,16 Kg CO2
	Coste energético	10%	MEDIO 879,43 MJ	ALTO 1016,53 MJ
	Emisiones de Co2 en transporte	10%	MEDIO	BAJO
	Genera superficies filtrantes	10%	NO	NO
	Residuos generados en la instalación (sin considerar la deconstrucción)	15%	MEDIO 14,67 kg/m2	BAJO 12,74 Kg/m2
		100%	3,15	3,1
COSTE 25%	Coste del sistema	60%	BAJO 32,7 €/m2	ALTO 70,49 €/m2
	Coste de instalación	40%	BAJO 19,8 €/m2	MEDIO 22,82 €/m2
	Coste Total	-	54,69 €/m2	99,3 €/m2
		100%	4	2,4
PUNTUACIÓN TOTAL		100%	3,65	3,21

Tabla comparativa de sistemas para rehabilitación de pavimentos urbanos. Elaboración propia

En esta última comparativa entre sistemas para la **rehabilitación de pavimentos urbanos**, el sistema mejor valorado es el **sistema 0** formado por un **Pavimento de terrazo** instalado en capa gruesa.

A continuación se analizan los resultados obtenidos en la comparativa, para cada uno de los grupos de indicadores.

- **Diseño y prestaciones**

Tanto en los aspectos de diseño, como en las características técnicas, el sistema 1 (pavimento con baldosa de gres porcelánico en capa fina) ofrece mejores prestaciones que el pavimento de baldosa terrazo. Entre las prestaciones del gres porcelánico respecto al terrazo, destaca la reducida porosidad, la elevada resistencia a las manchas y a la helada del gres porcelánico.

- **Instalación**

En la valoración del proceso de instalación de los pavimentos urbanos, el sistema 0 (Pavimento de terrazo en capa gruesa) obtiene la mejor puntuación, al tratarse de un sistema de colocación tradicional, que permite una instalación más sencilla, con menor número de capas y sin requerir mano de obra especializada.

- **Mantenimiento**

En cuanto a los indicadores de mantenimiento, el sistema 1 (pavimento de gres porcelánico en capa fina), es el mejor valorado, al ofrecer mayor facilidad de limpieza y de mantenimiento, debido principalmente a su baja porosidad.

- **Sostenibilidad**

En cuanto a la sostenibilidad, ambos sistemas obtienen una puntuación similar, aunque el sistema 0 (Pavimento de terrazo en capa gruesa) se caracteriza por producir menores emisiones de CO₂ en la producción y menor coste energético, mientras que el sistema 1 (pavimento de gres porcelánico en capa fina) tiene un menor impacto en las emisiones de CO₂ durante el transporte al tratarse de un sistema con la mitad de espesor y menor peso.

- **Costes**

Finalmente, en los indicadores de coste, destaca la diferencia de costes entre ambos sistemas, siendo el sistema de menor coste y por lo tanto el que obtiene la mejor puntuación, el sistema 0 (pavimentos de terrazo en capa gruesa), debido principalmente a elevado coste de la baldosa de gres porcelánico.

**CUARTO BLOQUE. SIMULACIÓN DE SISTEMAS
CERÁMICOS EN LA REHABILITACIÓN**

4	SIMULACIÓN DE SISTEMAS CERÁMICOS EN LA REHABILITACIÓN	87
4.1	METODOLOGÍA	87
4.2	DEFINICIÓN DEL EDIFICIO TIPO A SIMULAR	89
4.2.1	Memoria descriptiva del modelo	89
4.2.2	Memoria técnica.....	90
4.2.3	Definición de cargas internas para simulación en Energy+.....	101
4.2.4	Modelado del edificio tipo	104
4.3	RESULTADOS DEL EDIFICIO DE LOS AÑOS 80	106
4.3.1	Demandas anuales en kWh/m2.....	106
4.3.2	Demandas mensuales en kWh/m2	107
4.4	RESULTADOS DEL EDIFICIO REHABILITADO	109
4.4.1	Demandas mensuales en kWh/m2	109
4.5	EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA	113
4.5.1	Reducción de Demanda Energética entre FV y SATE.....	113
4.5.2	Reducción de Demanda Energética entre los diferentes sistemas	116
4.6	EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL	119
4.6.1	Metodología de cálculo	119
4.6.2	Evaluación Económica de Fachada ventilada y SATE cerámico.....	125
4.6.3	Evaluación Ambiental de Fachada ventilada y SATE	126
4.6.4	Evaluación económica de los diferentes sistemas.....	129
4.6.5	Evaluación ambiental de los diferentes sistemas.....	130
4.7	RESUMEN DE LOS RESULTADOS	133
4.7.1	Tabla resumen del Edificio con fachadas orientadas NORTE-SUR.....	133
4.7.2	Tabla resumen del Edificio con fachadas orientadas NORTE-SUR.....	133
4.7.3	Conclusiones.....	134

4 SIMULACIÓN DE SISTEMAS CERÁMICOS EN LA REHABILITACIÓN

4.1 Metodología

La metodología seguida en este bloque consiste básicamente en:

- La definición del edificio tipo de los años 80 (planos, soluciones constructivas, cargas interna y orientaciones) y definición de las soluciones constructivas cerámicas para la rehabilitación del edificio.
- Modelado del edificio tipo a simular mediante Openstudio-Sketchup.
- Simulación del modelo con el programa Energy+.
- Análisis de la demandas del edificio tipo de los años 80 y del edificio rehabilitado con diferentes sistemas cerámicos planteados.
- Evaluación de la reducción de demanda de calefacción y refrigeración del edificio rehabilitado para los diferentes sistemas constructivos.
- Evaluación de económica y ambiental de los sistemas, en base a periodos de amortización y ratios de reducción de kWh y emisiones de Co2 por € invertido.

Se han realizado simulaciones para evaluar el comportamiento de la rehabilitación de la envolvente térmica de un edificio existente de los años 80, mediante la incorporación de tres sistemas cerámicos, dos de ellos para la rehabilitación de fachadas y uno para la rehabilitación de cubiertas. Las simulaciones se han realizado sobre el edificio tipo, considerando dos orientaciones diferentes de las fachadas principales (Norte-Sur y Este-Oeste) siendo las otras dos fachadas adiabáticas y en tres zonas climáticas (A4, B3 y E1). En total se han realizado 36 simulaciones, 18 para cada una de las orientaciones.

Los sistemas planteados para la rehabilitación de la envolvente son:

- Sistema de Fachada Ventilada cerámica [FV]
- Sistema de Fachada Aplacada cerámica con aislamiento por el Exterior [SATE]
- Sistema de Cubierta Invertida, con solado cerámico fijo y aislamiento exterior [CUB Inv]

Para poder evaluar la aportación de cada uno de los sistemas definidos, bien de forma individual o en combinación con otros sistemas, en la reducción de la demanda energética del edificio original, se han realizado simulaciones con las siguientes combinaciones:

- | | |
|---|--------------|
| 1. Rehabilitación con Fachada Ventilada | [FV] |
| 2. Rehabilitación con SATE cerámico | [SATE] |
| 3. Rehabilitación con Fachada Ventilada + Cubierta cerámica Invertida | [FV+CUB Inv] |
| 4. Rehabilitación con Fachada SATE + Cubierta Cerámica Invertida | [SATE+CIC] |
| 5. Rehabilitación con Cubierta Invertida Cerámica | [CUB Inv] |

Con el objetivo de estudiar el efecto de rehabilitación mediante fachada ventilada, se ha empleado el programa de cálculo EnergyPlus, ya que los programas reconocidos oficialmente no permiten evaluar el efecto de convección que se produce en el interior de la cámara de la fachada ventilada. Para considerar el efecto de convección que se produce en el canal de la fachada ventilada, se ha utilizado un módulo que aparece por defecto en EnergyPlus llamado “Exterior Naturally Vented Cavity” [22].

A continuación se describe brevemente el funcionamiento del módulo, tal y como se detalla en la ponencia “Contribución de la fachada ventilada a la demanda energética de un edificio” presentada en Qualicer 2012 [23]. Este elemento permite introducir las características de la hoja externa, de la cámara ventilada y de las aberturas para la ventilación natural. El esquema de funcionamiento implementado en EnergyPlus se muestra en la siguiente figura:



Esquema funcionamiento módulo
"Exterior Naturally Vented Cavity"

Desde el punto de vista del cálculo, la presencia de la cámara ventilada modifica los fenómenos de radiación y convección entre el exterior y la pared interna. A partir de las características de la cámara ventilada y de los datos meteorológicos, EnergyPlus calcula la transferencia de calor entre el ambiente exterior y la pared del edificio.

Cabe destacar que el modelo asume que la capacidad calorífica de la hoja externa es despreciable; es decir, que no existe acumulación de calor en el interior de la hoja externa. Los fenómenos de convección y radiación se simulan utilizando los modelos clásicos, implementados en EnergyPlus. En el caso de la cámara ventilada, se utilizan los coeficientes de convección desarrollados para simular las cámaras de aire presentes en los acristalamientos múltiples, tal y como se define en el siguiente documento [24].

Para simular el efecto de la ventilación natural, se considera que la temperatura del aire dentro de la cámara es homogénea. Luego se calcula el caudal de aire dentro de la cámara considerando tanto la convección natural como la convección forzada debido al viento, usando la ecuación siguiente.

$$\dot{V} = C_v A_{in} U + C_D A_{in} \sqrt{2g\Delta H \frac{(T_{cav} - T_{amb})}{T_{cav}}}$$

Donde:

$\dot{V}$: Caudal volumétrico total de aire dentro de la cámara (m³/s)

C_v : Eficiencia de la aberturas, depende de la geometría de las aberturas y de la orientación del viento (adimensional)

A_{in} : Área de las aberturas de entrada (m²)

U : Velocidad del viento (m/s)

C_D : Coeficiente de descarga, depende de la geometría (adimensional)

g : Fuerza de la gravedad (m/s²)

ΔH : Altura entre el centro de la abertura inferior y el punto de presión nula (m)

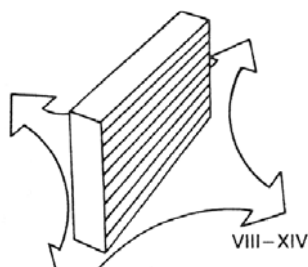
T_{cav} : Temperatura del aire dentro de la cámara (K)

T_{amb} : Temperatura ambiente exterior (K)

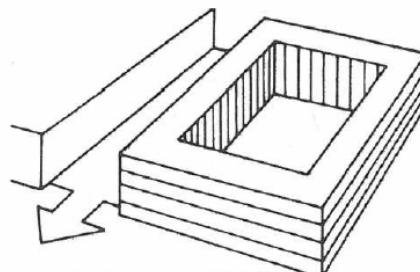
Los coeficientes C_v y C_D dependen de la geometría del sistema considerado, de la dirección del viento y de la orientación del edificio. Se han estimado sus valores medios mediante un cálculo previo por mecánica de fluidos para una velocidad de viento de 2 m/s.

4.2 Definición del Edificio tipo a simular

El edificio tipo a emplear en la evaluación de la eficiencia energética de los sistemas cerámicos, consiste en un edificio de uso residencial, cuya tipología edificatoria corresponde a un bloque de viviendas, que puede formar parte de un bloque lineal o de una manzana.



Bloque lineal



Manzana

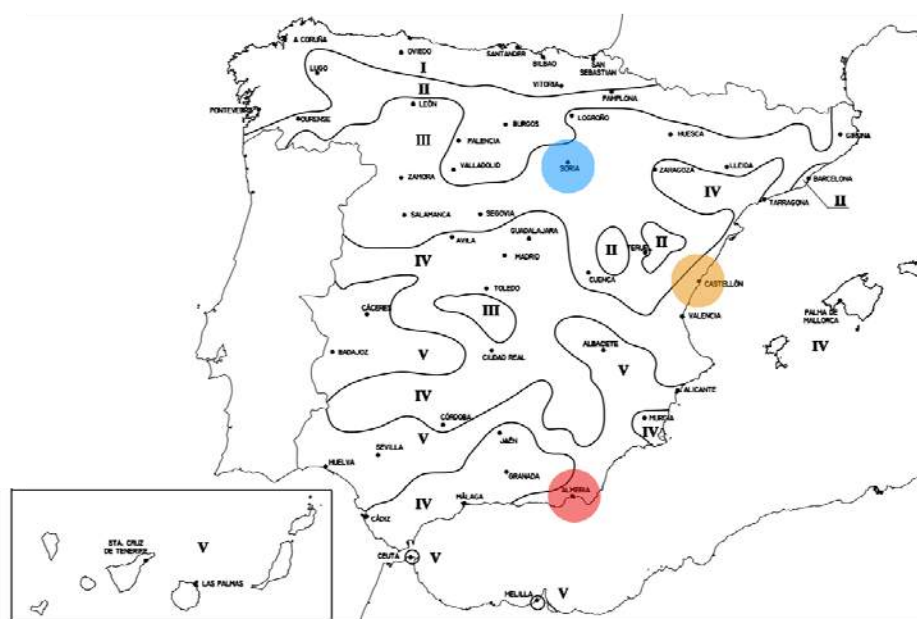
4.2.1 Memoria descriptiva del modelo

En este punto se describen los aspectos generales del edificio y los distintos emplazamientos en los que se realizarán las simulaciones.

4.2.1.1 Emplazamiento

Las zonas climáticas seleccionadas son:

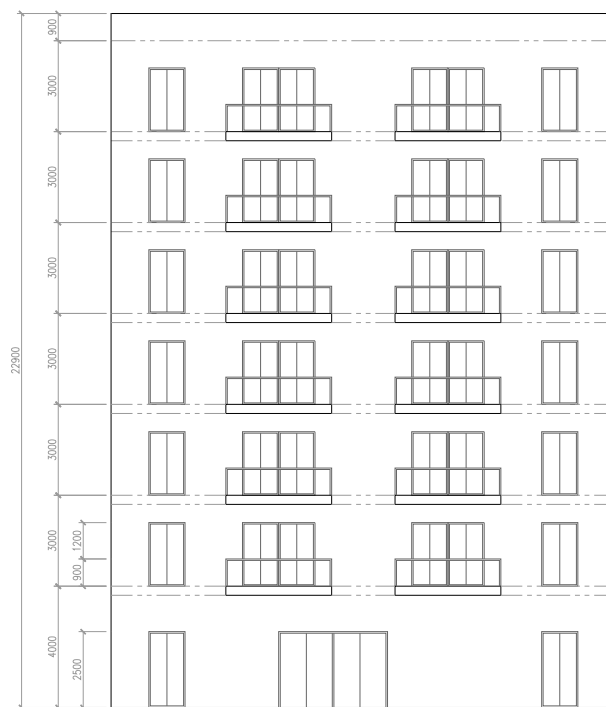
- Zona climática A4. Almería
- Zona climática B3. Castellón
- Zona climática E1. Soria



Mapa con zonas climáticas objeto de estudio

4.2.1.2 Aspectos generales

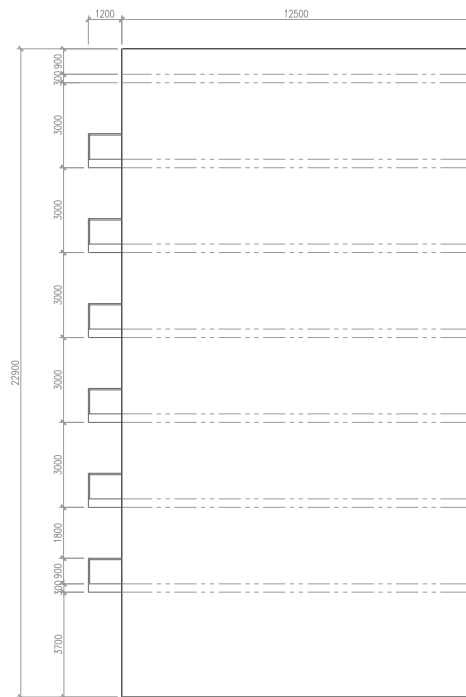
- Número de viviendas.....2 viviendas por planta
- Número de plantas.....PB+6
- Dimensión de las viviendas.....90m²
- Orientación fachadas a rehabilitar... Caso1: NORTE-SUR. Caso2: ESTE/OESTE
- Relación del edificio con el entorno....Parcela aislada
- Relación del edificio con la parcela...Tipo de edificación exenta



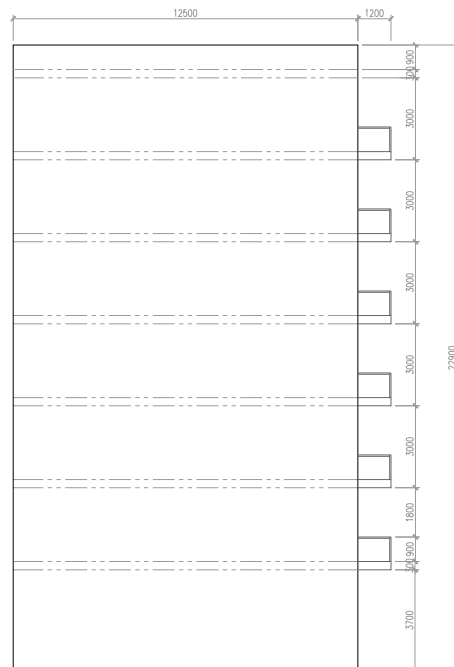
Alzado fachada principal



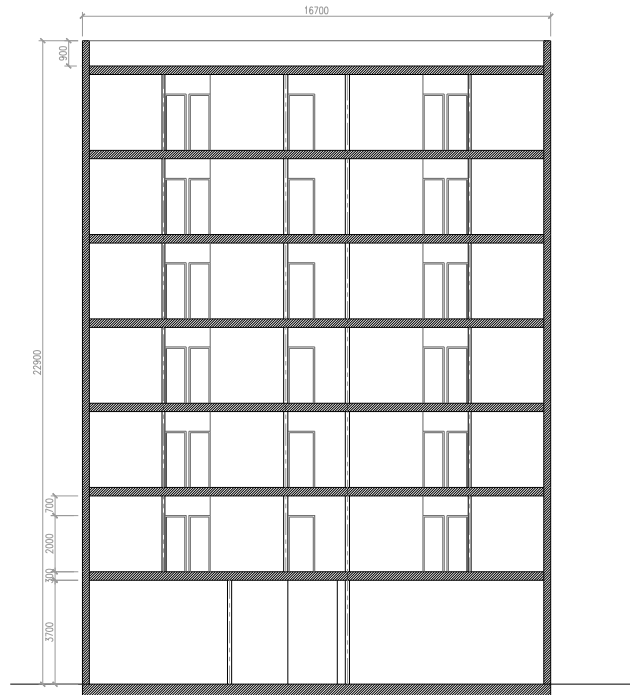
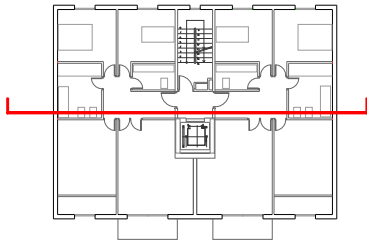
Alzado posterior



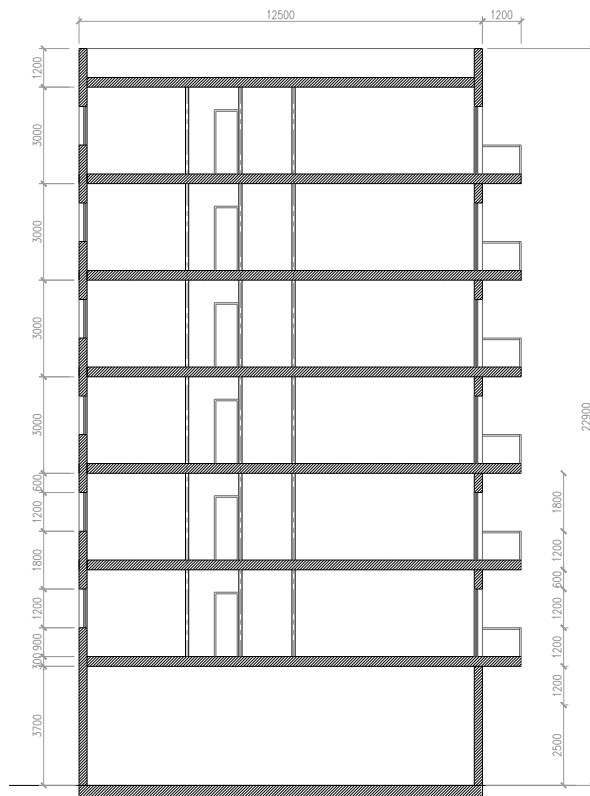
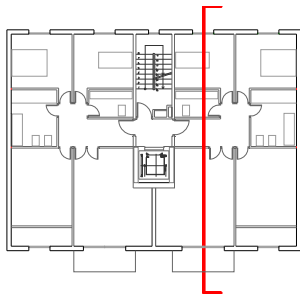
Alzado Lateral



Alzado Lateral



Sección longitudinal



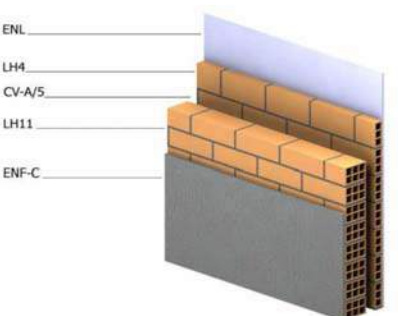
Sección transversal

4.2.2.2 Soluciones constructivas edificio años 80

A continuación se recogen las soluciones constructivas del edificio existente a simular, que se han definido en base al catálogo de soluciones constructivas de rehabilitación [26]. Estas soluciones constructivas se empleaban habitualmente a nivel nacional, en la construcción de los edificios entre los años 70 y 80.

• Fachada TIPO1

Fachada formada por dos hojas de obra de fábrica: la hoja exterior de ladrillo cerámico hueco doble revestida con enfoscado de cemento (color gris) y la interior de ladrillo cerámico simple enlucido con yeso. Entre las dos hojas existe una cámara de aire no ventilada.

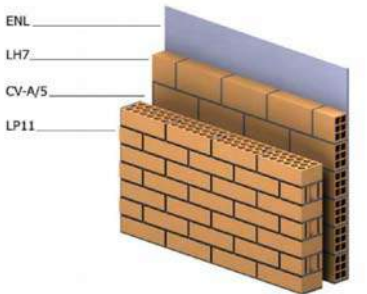
Capas	Espesor	Esquema
Capa 1: Enfoscado mortero de cemento	0,015	
Capa 2: Ladrillo cerámico hueco doble	0,115	
Capa 3: Cámara de aire vertical de 50mm.	0,05	
Capa 4: Ladrillo cerámico hueco simple	0,04	
Capa 5: Enlucido de yeso	0,01	
Espesor Total (metros)	0,235	

La transmitancia térmica según fuente LIDER es **U=1,33 W/m²*K**

Material	Conductividad W/mK	Densidad Kg/m ³	Calor específico J/kg K
mortero de cemento	0.55	1125	1000
Ladrillo cerámico hueco doble	0.427	920	1000
Ladrillo cerámico hueco simple	0.445	1000	1000
Enlucido de yeso	0.570	1150	1000
Cámara de aire vertical de 50mm	0.180 m ² K/W (resistencia térmica)		

• Fachada TIPO2

Fachada formada por dos hojas de obra de fábrica: la hoja exterior de ladrillo cerámico perforado de 115mm cara vista y la interior de ladrillo cerámico hueco doble enlucido con yeso. Entre las dos hojas existe una cámara de aire no ventilada.

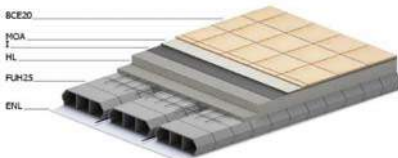
Capas	Espesor	Esquema
Capa 1: Ladrillo cerámico perforado doble	0,115	
Capa 2: Cámara de aire vertical de 50mm.	0,05	
Capa 3: Ladrillo cerámico hueco doble	0,07	
Capa 4: Enlucido de yeso	0,015	
Espesor Total (metros)	0,250	

La transmitancia térmica según fuente LIDER es **U=1,3 W/m²*K**

Material	Conductividad W/mK	Densidad Kg/m3	Calor específico J/kg K
½ pie ladrillo cerámico perforado doble	0.512	900	1000
Ladrillo cerámico hueco doble	0.427	920	1000
Enlucido de yeso	0.570	1150	1000
Cámara de aire vertical de 50mm	0.180 m2K/W (resistencia térmica)		

• **Cubierta**

Cubierta plana cuyo elemento estructural es un forjado horizontal unidireccional de hormigón armado con capa de compresión y aligerado mediante bovedillas de hormigón con 250mm de canto total. Sobre el forjado se dispone una formación de pendientes de hormigón aligerado, una capa de impermeabilización, mortero de agarre y un pavimento cerámico.

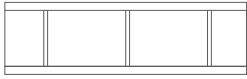
Capas	Espesor	Esquema
Capa 1: Baldosa cerámica	0,02	
Capa 2: Mortero de agarre	0,02	
Capa 3: Capa de impermeabilización	0,005	
Capa 4: Hormigón de áridos ligeros	0,1	
Capa 5: Forjado unidireccional	0,25	
Capa 6: Enlucido de yeso	0,15	
Espesor Total (metros)	0,410	

La transmitancia térmica según fuente LIDER es **U=1,79 W/m2*K**

Material	Conductividad W/mK	Densidad Kg/m3	Calor específico J/kg K
Baldosa cerámica	1	2000	800
Mortero de cemento	0.55	1125	1000
Betún fieltro	0.23	1100	1000
Hormigón con áridos ligeros	1.15	1700	1000
FU Entrevigado de hormigón	1.323	1330	1000
Enlucido de yeso	0.570	1150	1000

• **Partición interior**

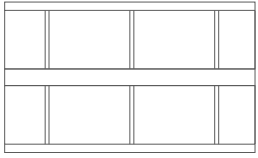
Partición interior compuesta por un tabique de obra de ladrillo hueco doble revestido por ambas caras por un enlucido de yeso.

Capas	Espesor	Esquema
Capa 1: Enlucido de yeso	0,01	
Capa 2: Ladrillo hueco doble	0,07	
Capa 3: enlucido de yeso	0,01	
Espesor Total (metros)	0,09	

Material	Conductividad W/mK	Densidad Kg/m3	Calor específico J/kg K
Enlucido de yeso	0.570	1150	1000
Ladrillo cerámico hueco doble	0.432	930	1000

- **Medianeras** (partición entre viviendas y en contacto con zonas no calefactadas)

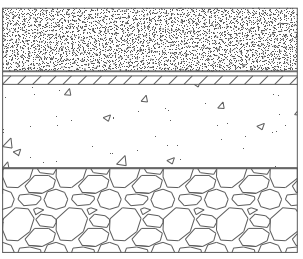
Partición interior compuesta por un tabique de obra doble, formado por ladrillo hueco doble revestido por una de sus caras por un enlucido de yeso.

Capas	Espesor	Esquema
Capa 1: Enlucido de yeso	0,01	
Capa 2: Ladrillo hueco doble	0,07	
Capa 3: Ladrillo hueco doble	0,07	
Capa 4: aislante	0,04	
Capa 5: Enlucido de yeso	0,01	
Espesor Total (metros)	0,2	

El Valor de U del cerramiento es **0,95 W/m²*K** (fuente LIDER)

Material	Conductividad W/mK	Densidad Kg/m ³	Calor específico J/kg K
Enlucido de yeso	0.570	1150	1000
Ladrillo hueco doble	0.432	930	1000

- **Solera**

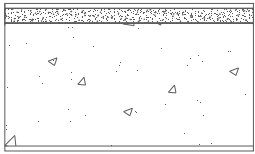
Capas	Espesor	Esquema
Capa 1: Azulejo cerámico	0,02	
Capa 2: Mortero de cemento	0,02	
Capa 3: Hormigón en masa	0,04	
Capa 4: Hormigón armado	0,2	
Capa 5: Polietileno alta densidad	0,002	
Capa 6: Arena y grava	0,2	
Capa 7: Tierra apisonada	0,2	
Espesor Total (metros)	0,742	

El Valor de U del cerramiento es **0,51 W/m²*K** (fuente Líder).

En el modelo se considera como una superficie adiabática.

Material	Conductividad W/mK	Densidad Kg/m ³	Calor específico J/kg K
Azulejo cerámico	1.0	2000	800
Mortero de cemento	0.55	1125	1000
Hormigón en masa	1.65	2150	1000
Hormigón armado	2.5	2600	1000
Polietileno alta densidad	0.05	70	2300
Arena y grava	2.0	1450	1050
Tierra apisonada	1.1	1885	1000

• **Forjado interiores**

Capas	Espesor	Esquema
Capa1: Plaqueta o baldosa cerámica	0,01	
Capa2: Mortero de cemento	0,03	
Capa3: Forjado hormigón	0,25	
Capa4: Enlucido de yeso	0,01	
Espesor Total (metros)	0,3	

La transmitancia térmica según fuente LIDER es **$U=2,33 \text{ W/m}^2\text{K}$**

Material	Conductividad W/mK	Densidad Kg/m3	Calor específico J/kg K
Baldosa cerámica	1	2000	800
Mortero de cemento	0.55	1125	1000
FU Entrevigado de hormigón	1.323	1330	1000
Enlucido de yeso	0.570	1150	1000

• **Ventana y carpinterías**

La transmitancia térmica del marco será de $2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ y la del vidrio de $3,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. El factor solar de 0,75. Se ha seleccionado una carpintería y un vidrio de calidad media, para evitar que los resultados de las simulaciones se vean afectados por las ganancias o pérdidas a través de las ventanas y centrar los resultados en el aporte de los diversos sistemas, objeto de estudio del proyecto.

4.2.2.3 *Soluciones constructivas de los sistemas propuestos para la rehabilitación*

A continuación se recogen las soluciones constructivas de los sistemas a emplear en la rehabilitación del edificio existente, definidas en base al catálogo de soluciones constructivas de rehabilitación. Como ya se ha comentado anteriormente, los sistemas cerámicos a emplear, hacen referencia únicamente a la rehabilitación de fachada y cubierta.

El espesor del aislamiento de las distintas soluciones constructivas, se define en función de la zona climática, cumpliendo las exigencias de transmitancias definidas por el Documento básico de "Ahorro de Energía" del CTE [27]. En concreto, se han considerado las transmitancias que aparecen reflejadas en el "Apéndice E. Valores orientativos de los parámetros característicos de la envolvente térmica" del apartado "HE0. Limitación del consumo energético".

Tabla E.1. Transmitancia del elemento $[\text{W/m}^2 \text{K}]$

Transmitancia del elemento $[\text{W/m}^2 \text{K}]$	Zona Climática					
	α	A	B	C	D	E
U_M	0.94	0.50	0.38	0.29	0.27	0.25
U_S	0.53	0.53	0.46	0.36	0.34	0.31
U_C	0.50	0.47	0.33	0.23	0.22	0.19

U_M : Transmitancia térmica de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno

U_S : Transmitancia térmica de suelos (forjados en contacto con el aire exterior)

U_C : Transmitancia térmica de cubiertas

Para el cálculo de las transmitancias de las soluciones constructivas de los sistemas propuestos para la rehabilitación, se ha empleado el programa LIDER.

• **Rehabilitación de la Fachada**

Rehabilitación mediante sistema de Fachada Ventilada cerámica: La rehabilitación de la fachada mediante FV consiste la colocación de planchas de aislamiento térmico de poliestireno expandido (EPS) por el exterior de la hoja principal, protegiéndolo con un aplacado cerámico fijado con anclaje mecánicos a una subestructura, dejando una cámara de aire ventilada entre la pieza cerámica y el aislamiento. Las capas a incorporar en la rehabilitación son las siguientes:

- Baldosa de gres porcelánico (Espesor 11 mm)
- Cámara de aire vertical (Espesor 50mm)
- Poliestireno expandido EPS. (Espesor variable en función de la zona climática)

Rehabilitación mediante sistema SATE/ETICS cerámico: La rehabilitación mediante SATE consiste en aplicar sobre la superficie exterior de la fachada existente, de las planchas de poliestireno expandido (EPS), que van después revestidas por una capa protectora morteros especiales y una capa de acabado formada por material cerámico y adherida con adhesivo cementoso. Las capas a incorporar en la rehabilitación son las siguientes:

- Aplacado cerámico (Espesor 11 mm)
- Capas protectoras de mortero
- Poliestireno expandido EPS. (Espesor variable en función de la zona climática)

A continuación se muestran los distintos espesores aislamientos necesarios en la rehabilitación de la fachada, tanto para el sistema de Fachada Ventilada como para el sistema SATE, para cumplir con las transmitancias térmicas en función de las zonas climáticas.

Rehabilitación de la fachada en la zona climática A4 (4cm de aislamiento)

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Plaqueta o baldosa cerámica	0.010	1.000	2000	800	
2	EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]	0.040	0.029	30	1000	
3	Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0.015	0.550	1125	1000	
4	Tabicón de LH triple [100 mm < E < 110 mm]	0.110	0.427	920	1000	
5	Cámara de aire sin ventilar vertical 5 cm					0.180
6	Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor < 60 mm]	0.040	0.445	1000	1000	
7	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0.010	0.570	1150	1000	
8						

Grupo Material: Aislantes

Material: EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]

0.020 Espesor [m]

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U 0.47 W/m²K

Rehabilitación de la fachada en la zona climática B3 (6cm de aislamiento)

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Plaqueta o baldosa cerámica	0.010	1.000	2000	800	
2	EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]	0.060	0.029	30	1000	
3	Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0.015	0.550	1125	1000	
4	Tabicón de LH triple [100 mm < E < 110 mm]	0.110	0.427	920	1000	
5	Cámara de aire sin ventilar vertical 5 cm					0.180
6	Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor < 60 mm]	0.040	0.445	1000	1000	
7	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0.010	0.570	1150	1000	
8						

Grupo Material: Aislantes

Material: EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]

0.020 Espesor [m]

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U 0.35 W/m²K

Rehabilitación de la fachada en la zona climática E1 (10cm de aislamiento)

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Plaqueta o baldosa cerámica	0.010	1.000	2000	800	
2	EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]	0.100	0.029	30	1000	
3	Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0.015	0.550	1125	1000	
4	Tabicón de LH triple [100 mm < E < 110 mm]	0.110	0.427	920	1000	
5	Cámara de aire sin ventilar vertical 5 cm					0.180
6	Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor < 60 mm]	0.040	0.445	1000	1000	
7	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0.010	0.570	1150	1000	
8						

Grupo Material: Aislantes

Material: EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]

0.020 Espesor [m]

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U 0.24 W/[mK]

• Rehabilitación de la cubierta

Rehabilitación mediante cubierta cerámica invertida, mediante solado fijo cerámico y aislamiento rígido por el exterior: La rehabilitación consiste en la colocación de impermeabilizante, en caso de ausencia o deterioro del preexistente, de unas planchas de aislamiento rígido EPS y un pavimento cerámico, generándose de esta forma una cubierta invertida. Las capas a incorporar en la rehabilitación son las siguientes:

- Baldosa de gres porcelánico (Espesor 11 mm)
- Capa protectora .Geotextil (espesor 0,01m)
- Poliestireno expandido EPS. (Espesor variable en función de la zona climática)
- Impermeabilización (espesor 0,05m)

A continuación se muestran los distintos espesores aislamientos necesarios en la rehabilitación de la cubierta, para cumplir con las transmitancias térmicas en función de las zonas climáticas.

Rehabilitación de la cubierta en la zona climática A4 (5cm de aislamiento)

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Plaqueta o baldosa cerámica	0.010	1.000	2000	800	
2	EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]	0.050	0.029	30	1000	
3	Plaqueta o baldosa cerámica	0.020	1.000	2000	800	
4	Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0.020	0.550	1125	1000	
5	Betún fieltro o lámina	0.005	0.230	1100	1000	
6	Hormigón con áridos ligeros 1600 < d < 1800	0.100	1.150	1700	1000	
7	FU Entrevigado de hormigón -Canto 250 mm	0.250	1.323	1330	1000	
8	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0.015	0.570	1150	1000	

Grupo Material: Aislantes

Material: EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]

0.050 Espesor [m]

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U 0.44 W/[mK]

Rehabilitación de la cubierta en la zona climática B3 (8cm de aislamiento)

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Plaqueta o baldosa cerámica	0.010	1.000	2000	800	
2	EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]	0.080	0.029	30	1000	
3	Plaqueta o baldosa cerámica	0.020	1.000	2000	800	
4	Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0.020	0.550	1125	1000	
5	Betún fieltro o lámina	0.005	0.230	1100	1000	
6	Hormigón con áridos ligeros 1600 < d < 1800	0.100	1.150	1700	1000	
7	FU Entrevigado de hormigón -Canto 250 mm	0.250	1.323	1330	1000	
8	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0.015	0.570	1150	1000	

Grupo Material: Aislantes

Material: EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]

Espesor (m): 0.080

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U: 0.30 W/[mK]

Rehabilitación de la cubierta en la zona climática E1 (14cm de aislamiento)

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Plaqueta o baldosa cerámica	0.010	1.000	2000	800	
2	EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]	0.140	0.029	30	1000	
3	Plaqueta o baldosa cerámica	0.020	1.000	2000	800	
4	Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0.020	0.550	1125	1000	
5	Betún fieltro o lámina	0.005	0.230	1100	1000	
6	Hormigón con áridos ligeros 1600 < d < 1800	0.100	1.150	1700	1000	
7	FU Entrevigado de hormigón -Canto 250 mm	0.250	1.323	1330	1000	
8	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0.015	0.570	1150	1000	

Grupo Material: Aislantes

Material: EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]

Espesor (m): 0.140

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U: 0.19 W/[mK]

4.2.2.4 Resumen con transmitancias y espesores de aislamiento por zonas climáticas

Características de la envolvente del edificio	A4, B3, E1
U Cubierta años 80 (W/m2K)	1,79
U Vidrios ventanas años 80 (W/m2K)	3,3
Solar transmitance vidrios	0,75
U Fachada años 80 (W/m2K)	1,33
Edificio de color gris (absortancia)	0,7

Exigencias Transmitancia en la envolvente CTE (W/m2K)	A	B	E
Fachada ventilada y SATE	0,5	0,38	0,25
Cubierta invertida	0,47	0,33	0,19

Transmitancia de la envolvente rehabilitada (W/m2K)	A4	B3	E1
Fachada ventilada y SATE	0,47	0,35	0,24
Cubierta invertida	0,44	0,3	0,19

Espesor aislamientos para rehabilitación	A4	B3	E1
Fachada ventilada y SATE	4 cm	6 cm	10 cm
Cubierta invertida	5 cm	8 cm	14 cm

4.2.2.5 Equipos

En el proyecto se definen las zonas térmicas interiores con la opción “**ideal air loads**” que ofrece Energyplus. Por lo tanto no existe ningún equipo asignado, ya que el programa calcula la demanda de energía necesaria para mantener la zona térmica a la temperatura de consigna en todo momento. En ningún momento, se calcula el consumo, es decir la energía primaria que necesitan los equipos de acondicionamiento para cubrir la demanda energética del edificio.

4.2.3 Definición de cargas internas para simulación en Energy+

Para la caracterización de solicitudes interiores se van a considerar las mismas características utilizadas en los programas LIDER y CALENER. Para establecer estas condiciones se han utilizado los siguientes documentos: Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER y el documento de ANEXOS, desarrollados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía [28].

Las condiciones operacionales y solicitudes interiores de las zonas dependen del uso concreto de los espacios. Para edificios destinados a vivienda (Espacio habitable y Espacio no habitable) los datos que caracterizan las solicitudes interiores son: Temperaturas de consigna Alta (refrigeración), Temperaturas de consigna Baja (calefacción), Distribución horaria de fuentes internas de ocupación, Distribución horaria de fuentes internas de iluminación, Distribución horaria de otras fuentes internas debidas a equipo diverso y Distribución horaria de la ventilación.

Además se han contrastado estos valores, con los perfiles de uso definidos en el “Apéndice C. Perfiles de uso” del documento básico dBHE “Ahorro de energía”, que se muestran en la siguiente tabla:

USO RESIDENCIAL	(24h, BAJA)				
	1-7	8	9-15	16-23	24
Temp Consigna Alta (°C)					
Enero a Mayo	–	–	–	–	–
Junio a Septiembre	27	–	–	25	27
Octubre a Diciembre	–	–	–	–	–
Temp Consigna Baja (°C)					
Enero a Mayo	17	20	20	20	17
Junio a Septiembre	–	–	–	–	–
Octubre a Diciembre	17	20	20	20	17
Ocupación sensible (W/m²)					
Laboral	2,15	0,54	0,54	1,08	2,15
Sábado y Festivo	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Ocupación latente (W/m²)					
Laboral	1,36	0,34	0,34	0,68	1,36
Sábado y Festivo	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Iluminación (W/m²)					
Laboral, Sábado y Festivo	0,44	1,32	1,32	1,32	2,2
Equipos (W/m²)					
Laboral, Sábado y Festivo	0,44	1,32	1,32	1,32	2,2
Ventilación verano¹					
Laboral, Sábado y Festivo	4,00	4,00	*	*	*
Ventilación invierno²					
Laboral, Sábado y Festivo	*	*	*	*	*

Perfiles de uso Residencial. Fuente DBHE-CTE

4.2.3.1 Zonas no habitables de edificios de uso residencial

- Desvanes, vacíos técnicos sanitarios, hueco de ascensor.
- Solo se introduce el numero de renovaciones horarias del aire en función del nivel de estanqueidad:

nivel	descripción	Renovaciones de aire por hora
1	Ni puertas, ni ventanas, ni aberturas de ventilación	0
2	Todos los componentes sellados, sin aberturas de ventilación	0,5
3	Todos los componentes sellados, con pequeñas aberturas de ventilación	1
4	Poco estanco, a causa de juntas abiertas o presencia de aberturas de ventilación permanentes	5
5	Poco estanco, con numerosas juntas abiertas o aberturas de ventilación permanentes grandes o numerosas	10

4.2.3.2 Zonas habitables de edificios de uso residencial

1. Regimenes de funcionamiento

- El año empieza un lunes y no es bisiesto.
- No se consideran los festivos nacionales ni regionales.
- Régimen de verano: desde el último domingo de marzo (25/03) hasta el último sábado de octubre (27/10)
- Régimen de invierno: resto del año
- Régimen de noche: de la hora 1 (de 0:00 a 1:00) a la hora 8 (de 7:00 a 8:00)
- Régimen de día: resto del día

2. Ocupación

- Ocupación máxima = 3,51 W/m²
 - Parte sensible = 2,15 W/m²
 - Parte latente = 1,36 W/m²
- Intercambio de calor con el ambiente
 - **Fracción convectiva** = 0,4 de la componente sensible
 - **Fracción radiante** = 0,6 de la componente sensible

• Ocupación sensible (W/m²)

hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
laborable	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	2,15
sábado y festivo	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15

• Ocupación latente (W/m²)

hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
laborable	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	1,36
sábado y festivo	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36

- Fracción de ocupación (válida para la parte latente y la parte sensible)

hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
laborable	1	1	1	1	1	1	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1
sábado y festivo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

3. Iluminación

- Potencia máxima = 4,40 W/m²
- Intercambio de calor con el ambiente
 - **Fracción convectiva** = 0,2
 - **Fracción radiante** = 0,8

- Iluminación (W/m², válido para laborables, sábados y festivos)

hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Potencia (W/m ²)	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	2,20
fracción	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	1	1	1	1	0,5

4. Equipos

- Potencia máxima = 4,40 W/m²
- Intercambio de calor con el ambiente
 - **Fracción convectiva** = 0,3
 - **Fracción radiante** = 0,7

- Equipos (W/m², válido para laborables, sábados y festivos)

hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Potencia (W/m ²)	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	2,20
fracción	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	1	1	1	1	0,5

5. Mobiliario

- Se tiene que tener en cuenta la inercia térmica del mobiliario presente en la zona, introduciendo un elemento de masa interna (o una pared interna) con las siguientes características:

-Cp = 1200 J/(kg.K)

-Masa = 45 kg/m²

-Fracción del suelo ocupada por el mobiliario = 0,5 (si se introduce como un cerramiento interno)

-Conductividad infinita (si se introduce como cerramiento interno)

4.2.3.3 Ventilación e infiltraciones

- Se introducen como un número de renovaciones por hora del aire de la zona

hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
verano	4	4	4	4	4	4	4	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
invierno	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

- En régimen de verano, durante el periodo comprendido entre la 1 y las 8 horas, ambas incluidas, se supondrá que los espacios habitables de los edificios destinados a vivienda presentan una infiltración originada por la apertura de ventanas de 4 renovaciones por hora. El resto del tiempo, indicados con * en la tabla, el número de renovaciones hora será constante e igual al mínimo exigido por el DB HS3, que en este caso, por las características de las viviendas, se ha considerado igual a 0,5.
- En régimen de invierno, el número de renovaciones hora, indicado con * en la tabla, será constante e igual al calculado mínimo exigido por el DB HS3, que en este caso, por las características de las viviendas, se ha considerado igual a 0,5.

4.2.3.4 Acondicionamiento de las zonas habitables

- La potencia de los sistemas de calefacción y enfriamiento se consideran infinita.
- Todas las zonas son isotermas (al igual que en EnergyPlus).
- El sistema de calefacción está disponible de enero a mayo y de octubre a diciembre, todo el día.
- El sistema de refrigeración funciona de Junio a Agosto, de la hora 1 a la hora 7 y de la hora 16 a la hora 24.
- Temperaturas de consigna (°C)

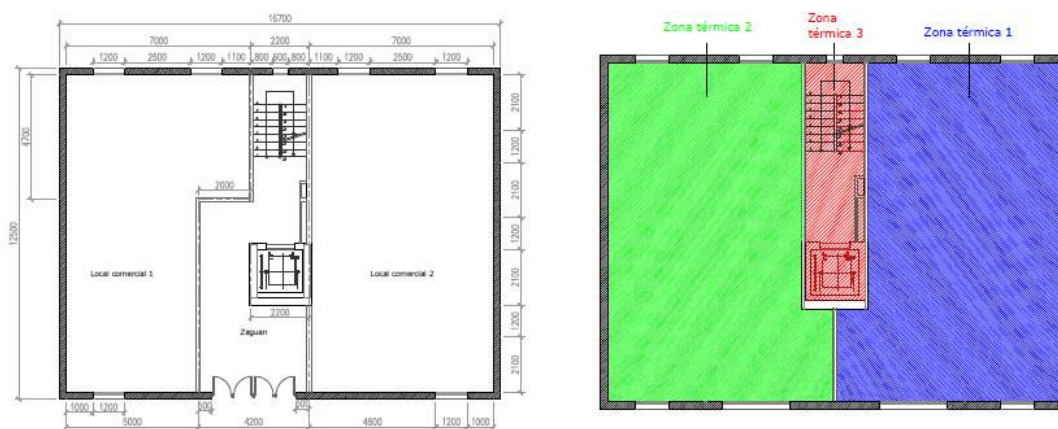
hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
calefacción	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17
enfriamiento	27	27	27	27	27	27	27	*	*	*	*	*	*	*	*	25	25	25	25	25	25	25	25	27

* Sistema de acondicionamiento apagado.

4.2.4 Modelado del edificio tipo

4.2.4.1 Esquemas en planta

Se definen 3 zonas térmicas por planta y el bloque de viviendas cuenta con 7 plantas, por lo tanto tenemos 21 zonas térmicas. En planta baja, se simplifica la zona de acceso para generar el mismo esquema que en la planta tipo, consiguiendo que los forjados entre plantas sean interpretados correctamente por el programa de modelado, como superficies adyacentes.



Esquema en planta baja del modelo a simular

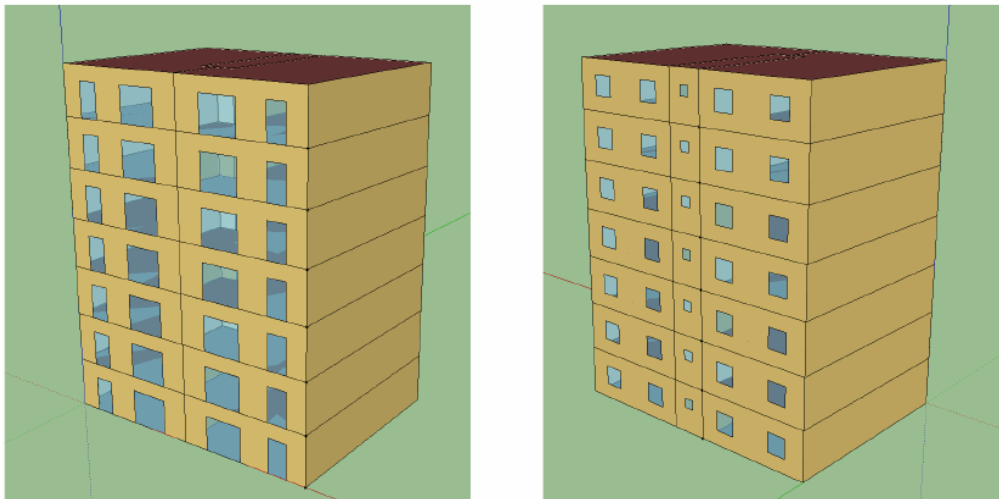
En la planta tipo, de las tres zonas térmicas definidas, una corresponde a la zona común y las otras dos a las viviendas. Como podemos observar, no se ha considerado la distribución interior de la vivienda, ya que el objetivo del proyecto es obtener la demanda energética del conjunto de las viviendas para mantener las condiciones de confort interior.



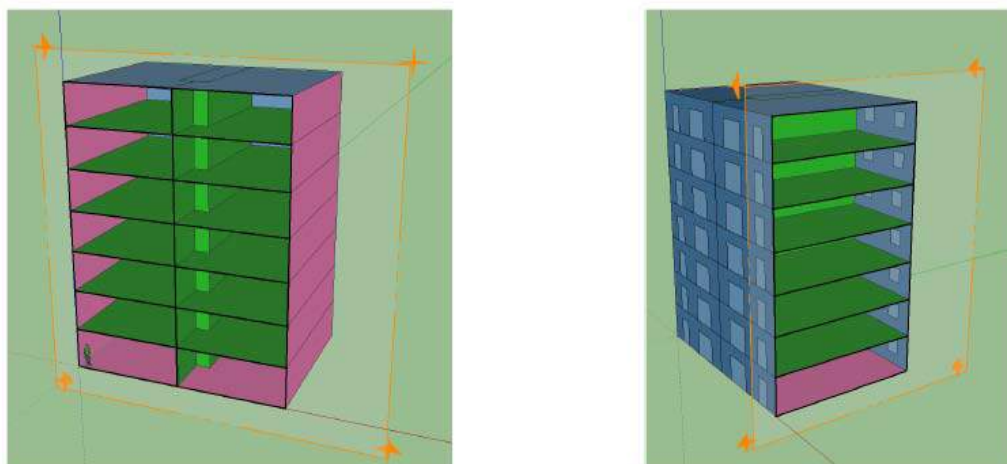
Esquema en planta tipo del modelo a simular

4.2.4.2 Modelado

El modelo se desarrolla con el programa Sketchup, mediante el plugin Open Studio [29]. Una vez desarrollado el modelo, se genera un idf para poder iniciar la simulación en el programa Energyplus. A continuación se muestran varias vistas del modelo.



Vista 3D del edificio tipo modelado



Vista 3D del edificio tipo modelado

4.3 Resultados del edificio de los años 80

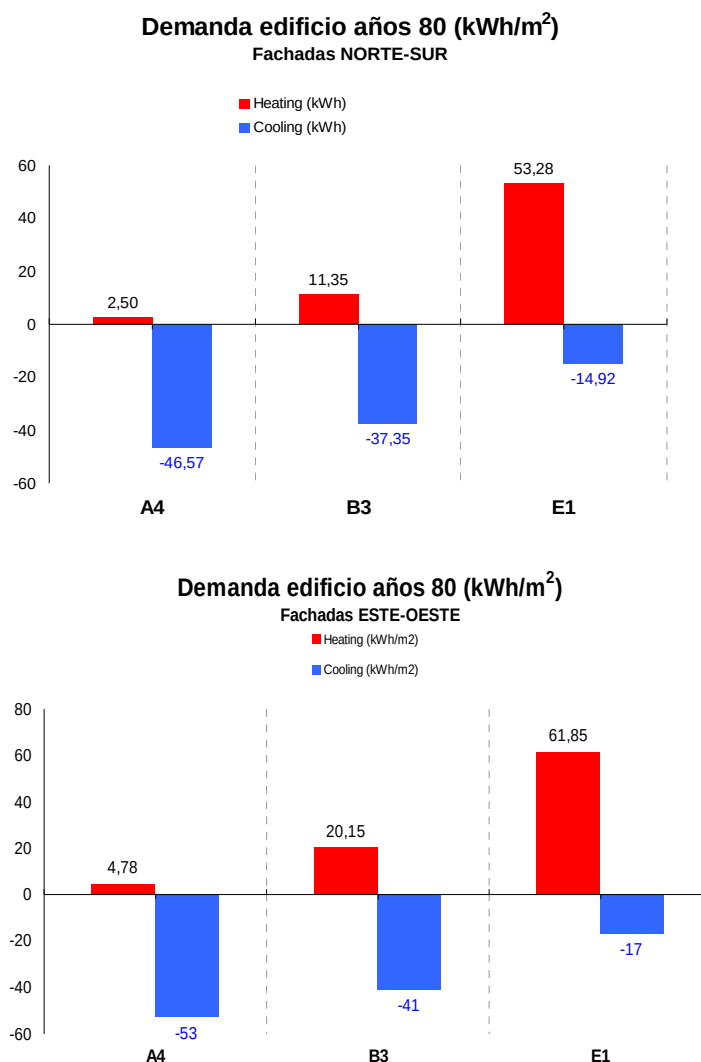
En este punto se muestran los resultados de las simulaciones realizadas en las 3 zonas climáticas (A4, B3 y E1) sobre el edificio tipo a rehabilitar, cuya envolvente esta formada por las soluciones constructivas de los años 80 definidas en los apartados anteriores.

Como se ha comentado en la metodología, se realiza la simulación del edificio con las fachadas principales orientadas a NORTE-SUR o ESTE-OESTE, mientras que las otras fachadas se consideran adiabáticas, al estar en contacto con otros edificios.

4.3.1 Demandas anuales en kWh/m²

En este punto se representan las demandas anuales en las diferentes zonas climáticas, del edificio de los años 80, a rehabilitar.

- En color rojo, se muestran las demandas de calefacción
- En color azul, se muestran las demandas de refrigeración



En las gráficas se observa que las demandas de refrigeración y calefacción son más elevadas en el modelo con fachadas orientadas a Este-Oeste. En las zonas climáticas frías (E1) la demanda de calefacción es más elevada, mientras que la demanda de refrigeración tiene mayor peso en las zonas climáticas cálidas (A4).

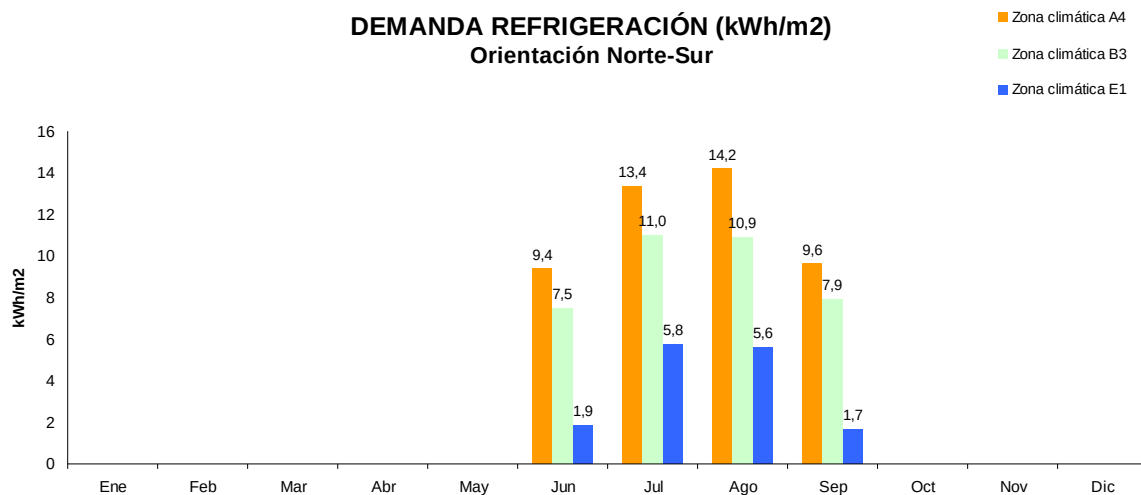
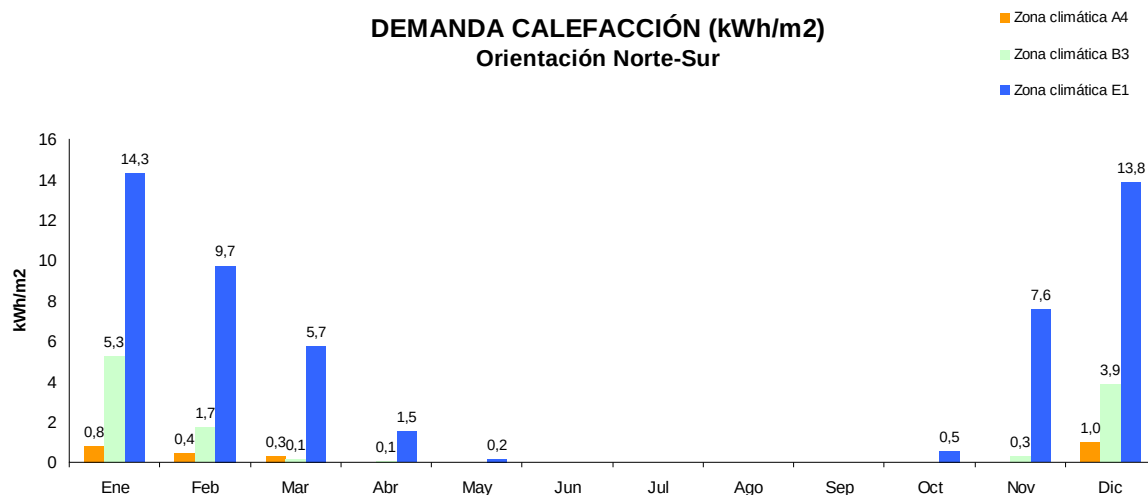
4.3.2 Demandas mensuales en kWh/m²

Se representan las demandas mensuales en las diferentes zonas climáticas, del edificio a rehabilitar de los años 80.

- En color naranja, demandas energética del edificio en la zona climática A4 (Almería)
- En color azul, demandas energéticas del edificio en la zona climática B3 (Castellón)
- En color verde, demandas energéticas del edificio en la zona climática E1 (Soria)

4.3.2.1 Edificio con fachadas orientadas NORTE-SUR

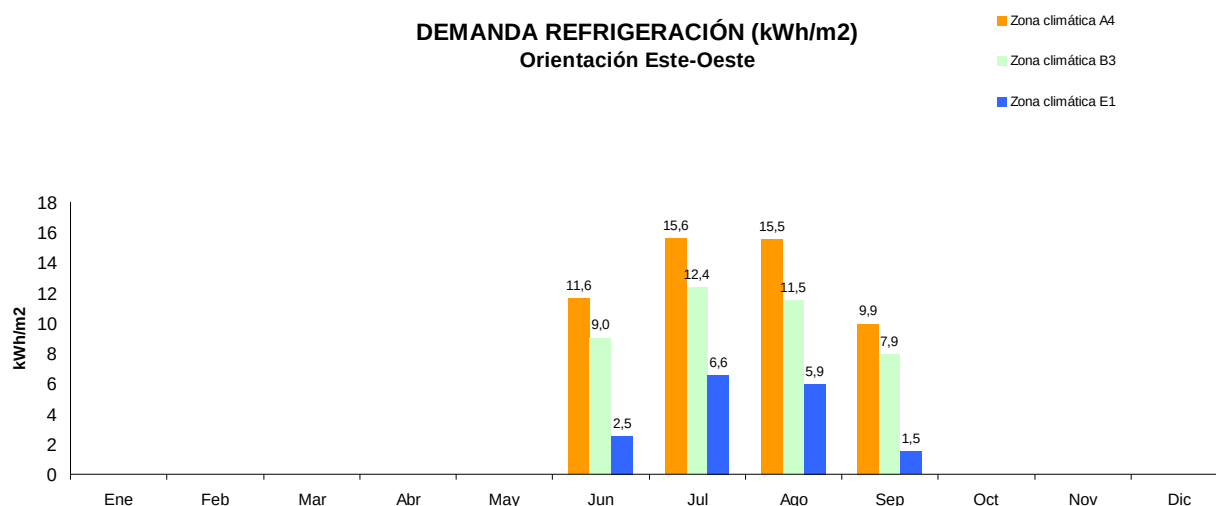
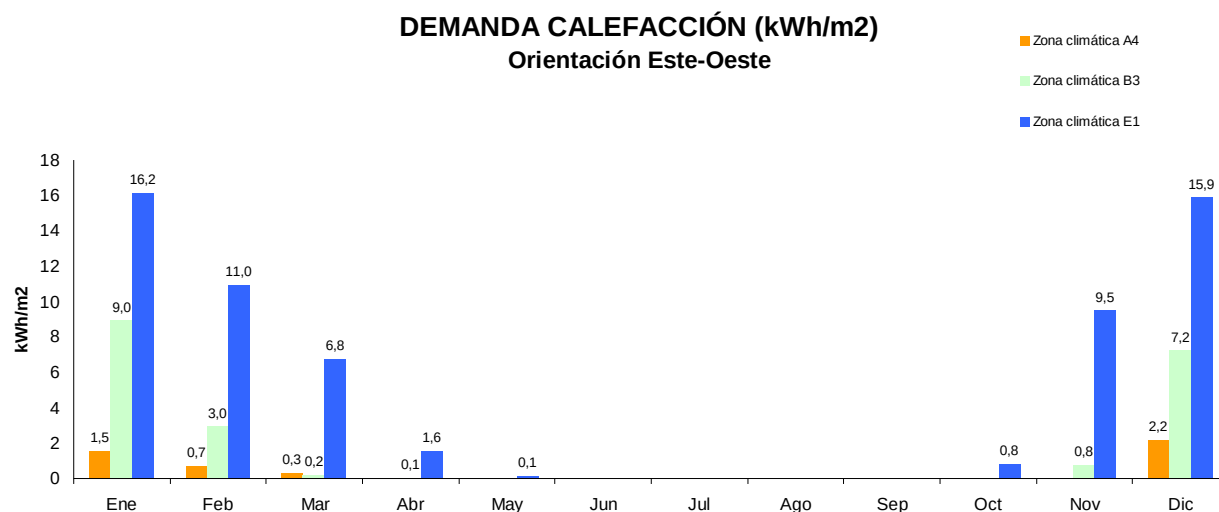
Las siguientes gráficas muestran la evolución mensual de la demanda energética del edificio con fachadas orientadas a Norte-Sur en las tres zonas climáticas.



En la zona climática A4 (Almería), la demanda de calefacción en los meses de invierno es muy reducida mientras que la demanda de refrigeración es muy elevada durante el periodo estival. En cambio, el edificio de situado en E1 (Soria), requiere demandas de calefacción bastante más elevadas y demandas de refrigeración más reducidas. El edificio situado en la zona climática B3 (Castellón), se encuentra en una situación intermedia, al obtener menores demandas de refrigeración que el edificio ubicado en Almería y menores de demandas de calefacción que el edificio ubicado en Soria.

4.3.2.2 Edificio con fachadas orientadas ESTE-OESTE

Las siguientes gráficas muestran la evolución mensual de la demanda energética del edificio con fachadas orientadas a Este-Oeste en las tres zonas climáticas.



Las demandas de calefacción y refrigeración obtenidas en el edificio con fachadas orientadas a Este-Oeste, para las tres zonas climáticas, son ligeramente superiores a las demandas obtenidas en el edificio con orientación Norte-Sur. Este puede deberse a que el edificio con orientación Este-Oeste, obtiene mayor ganancia de radiación solar a través de las ventanas durante el periodo de verano y menor ganancia de radiación durante el periodo de invierno, debido a la variación de altura del sol en los distintos periodos.

A nivel general, las mayores demandas de calefacción se alcanzan en el edificio ubicado en la zona climática E1 (Burgos), mientras que las mayores demandas de refrigeración se obtienen en el edificio ubicado en A4 (Almería).

4.4 Resultados del edificio Rehabilitado

Se obtienen los resultados de la simulación del edificio rehabilitado, considerando que las fachadas principales del edificio pueden estar orientadas a Norte-Sur o Este-Oeste.

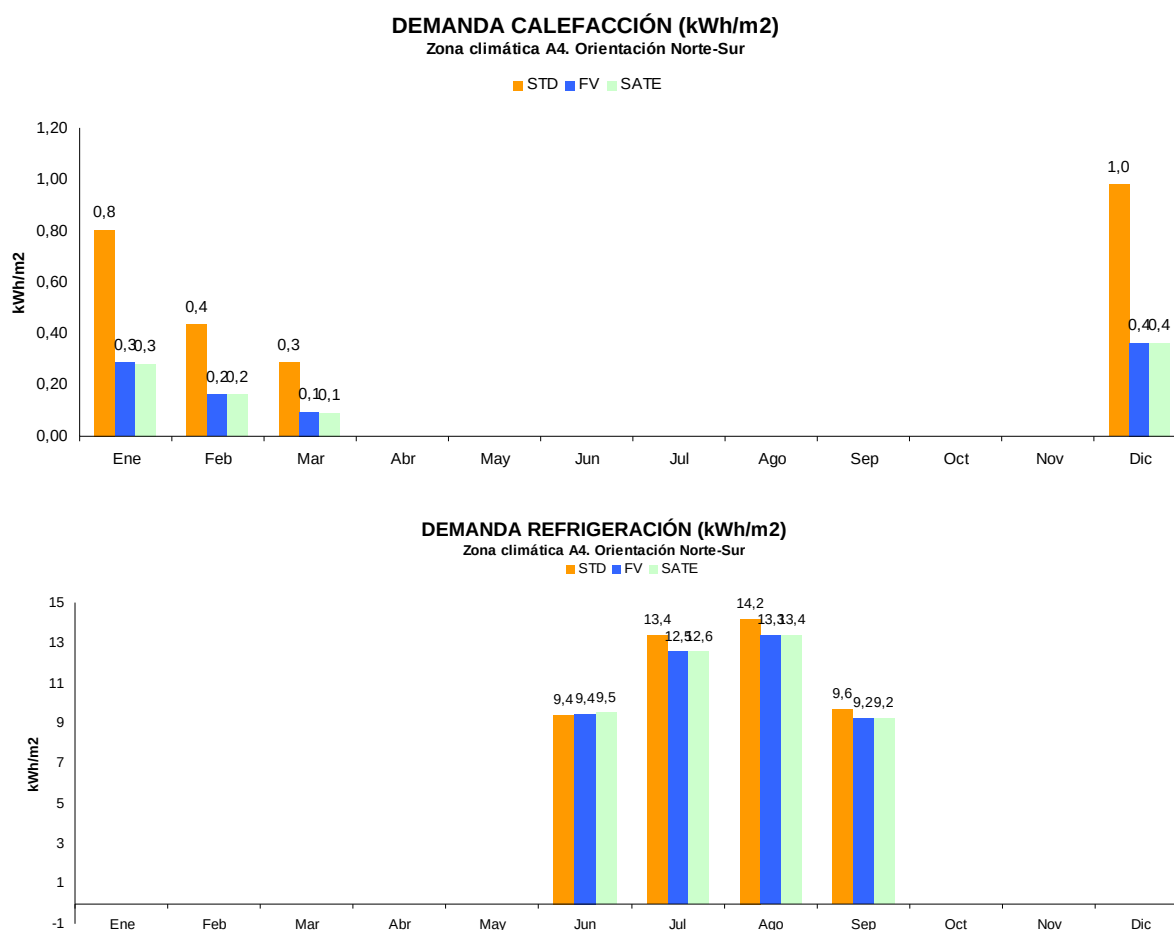
4.4.1 Demandas mensuales en kWh/m²

A continuación se presentan una serie de gráficos, en los que se observa la evaluación mensual de las demandas de calefacción y refrigeración del edificio rehabilitado, en las distintas zonas climáticas (A4, B3, E1) y con orientaciones (Norte-Sur y Este-Oeste).

- En color naranja, se observan las demandas del cerramiento original del **edificio de los años 80**, sin rehabilitar. **(STD)**
- En color azul se muestran las demandas del edificio rehabilitado con fachada Ventilada **(FV)**
- En color verde se representan las demandas del edificio rehabilitado con SATE **(SATE)**.

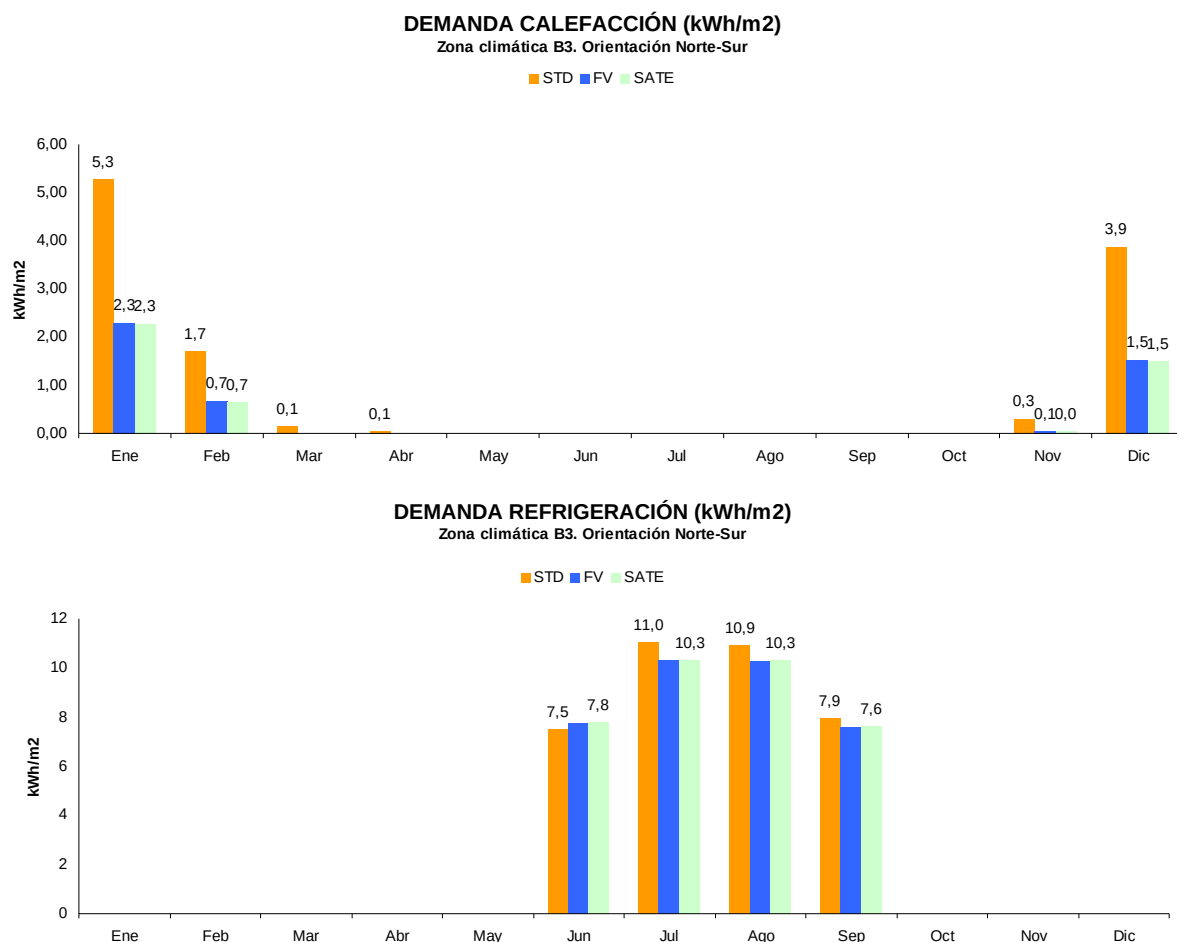
4.4.1.1 Edificio con fachadas orientadas NORTE-SUR

- Zona climática A4



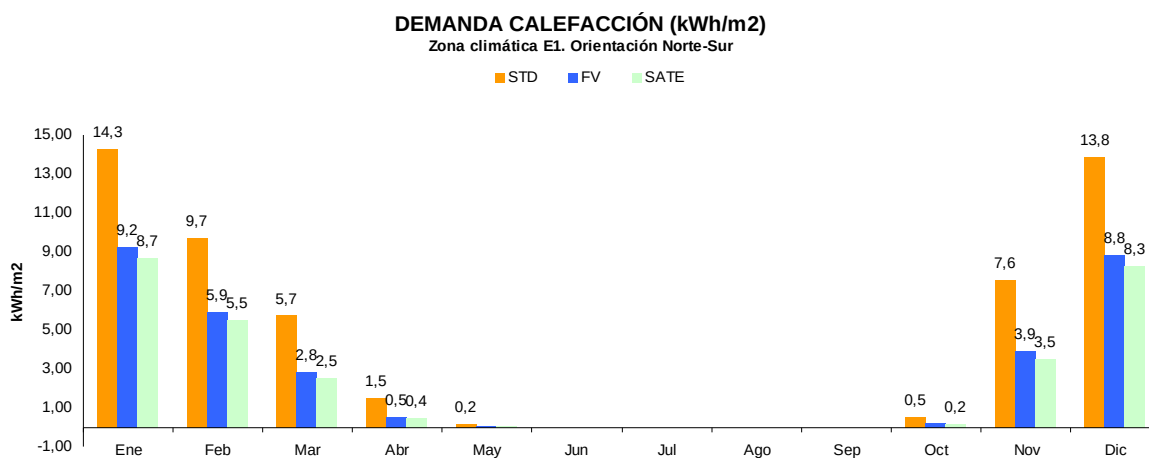
En los gráficos de evaluación mensual de las demandas energéticas en la zona climática A4 (Almería), se observa una mínima demanda de calefacción en el edificio de los años 80 (STD), mientras que en el edificio rehabilitado con sistemas de Fachada ventilada y SATE, esta demanda se reduce de forma significativa. Por otra parte, las demandas de refrigeración mensuales del edificio original son más elevadas y la contribución de los sistemas de fachada ventilada y permite reducir ligeramente esta demanda, durante los meses de Julio a Septiembre.

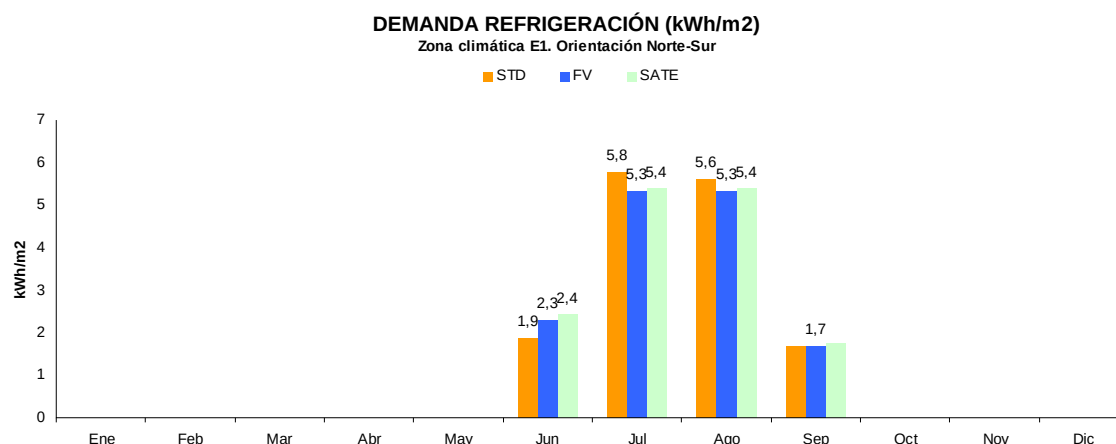
- Zona climática B3



En los gráficos correspondientes a la zona climática B3 (Castellón), se observa una reducción de la demanda de calefacción considerable en los edificios rehabilitados con sistemas de FV y SATE, mientras que la reducción de la demanda de refrigeración, con la incorporación de estos sistemas, no es muy significativa.

- Zona climática E1

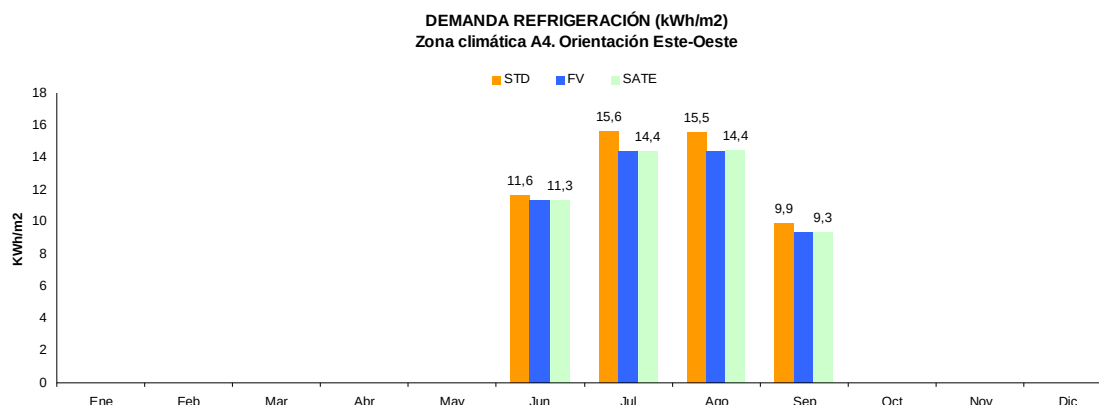
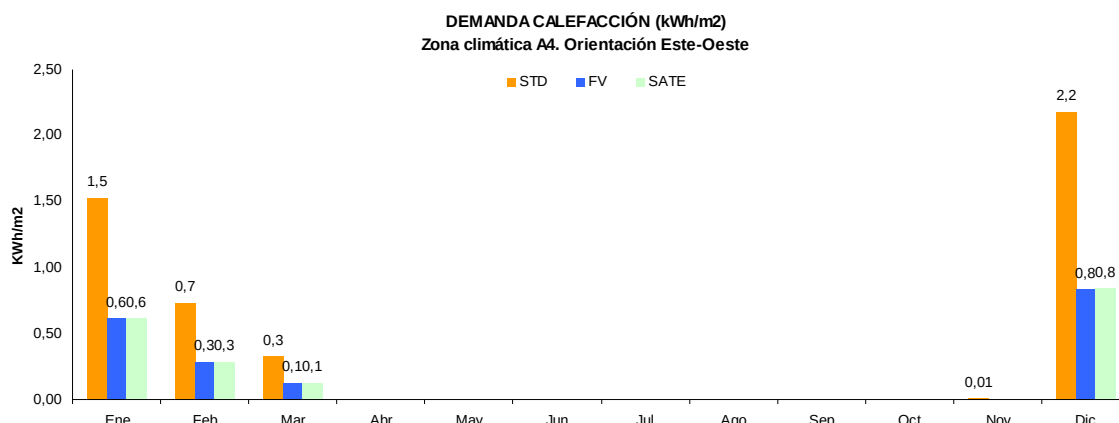




En las simulaciones del edificio ubicado en E1 (Soria), la rehabilitación mediante los sistemas de Fachada ventilada y SATE, permiten una importante reducción de la demanda de calefacción, principalmente durante los meses de noviembre a Marzo. También se observa, que con el sistema se obtienen mejores reducciones de la demanda de calefacción que en el sistema de fachada ventilada. En cuanto a la reducción de la demanda de refrigeración, ambos sistemas reducen ligeramente la demanda, siendo en este caso el sistema de Fachada ventilada el que más reduce la demanda.

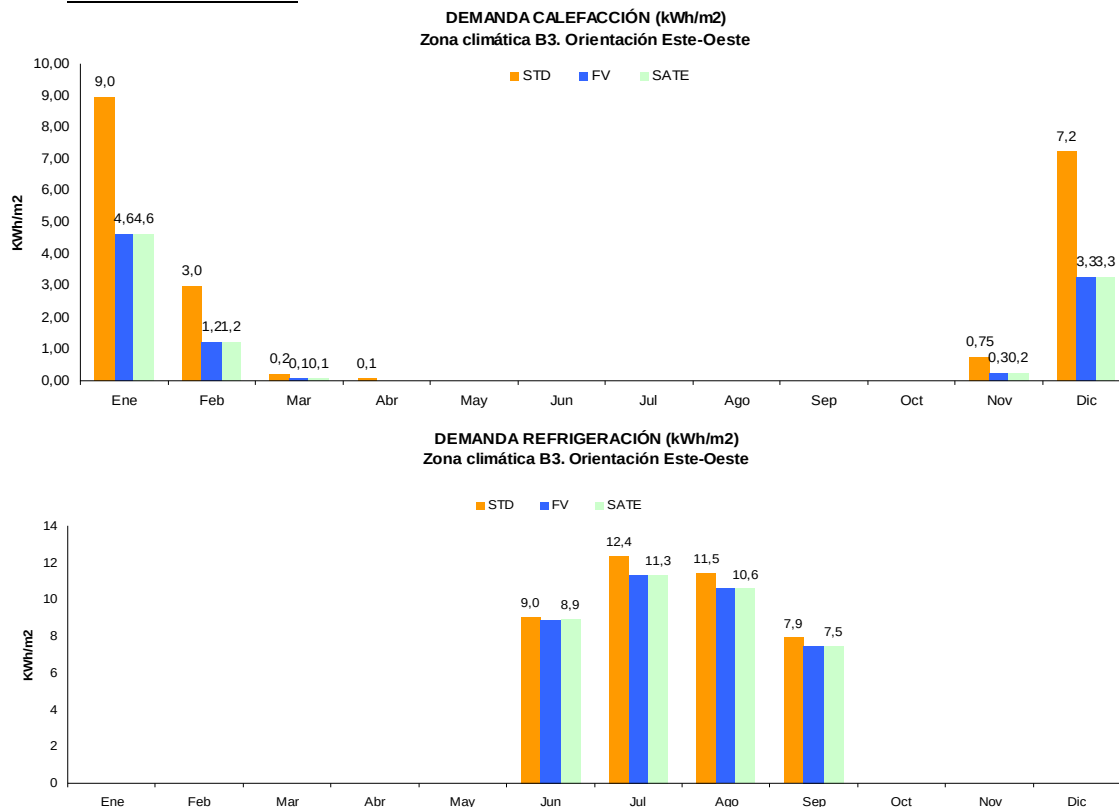
4.4.1.2 Edificio con fachadas orientadas ESTE-OESTE

- Zona climática A4



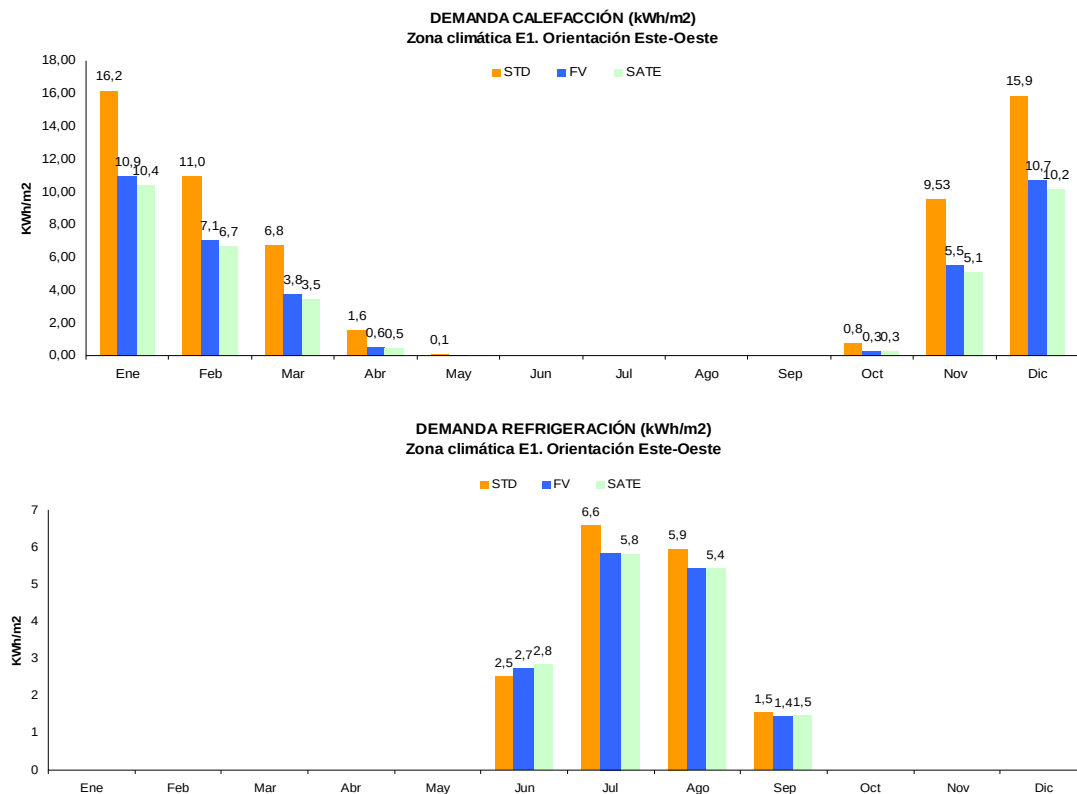
Al igual que en el edificio con fachadas orientadas a Norte-Sur, los sistemas de rehabilitación simulados permiten reducir significativamente la demanda de calefacción y ligeramente la demanda de refrigeración.

• Zona climática B3



En la zona climática B3, se observa una reducción importante en la demanda de calefacción, mientras que la demanda de refrigeración se reduce en menor medida.

• Zona climática E1



Los sistemas cerámicos reducen de forma significativa la demanda de calefacción y ligeramente la demanda de refrigeración, en la zona climática E1.

4.5 Evaluación de la Eficiencia Energética

Una vez estudiada la evolución mensual de la demanda energética del edificio original y de los edificios rehabilitados mediante los sistemas de fachada ventilada y SATE, se procede a analizar la contribución en la reducción de la demanda de calefacción y refrigeración anual, de los distintos sistemas planteados para la rehabilitación energética de la envolvente del edificio.

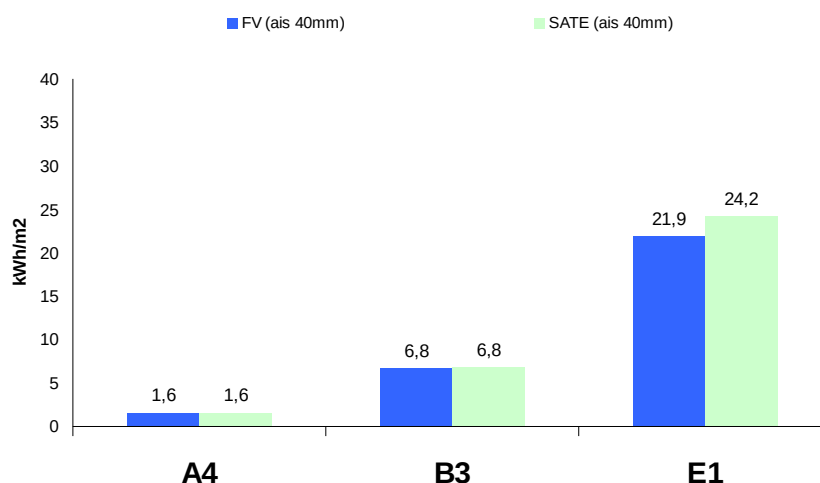
4.5.1 Reducción de Demanda Energética entre FV y SATE

En primer lugar se compara la reducción de la demanda energética entre los siguientes sistemas:

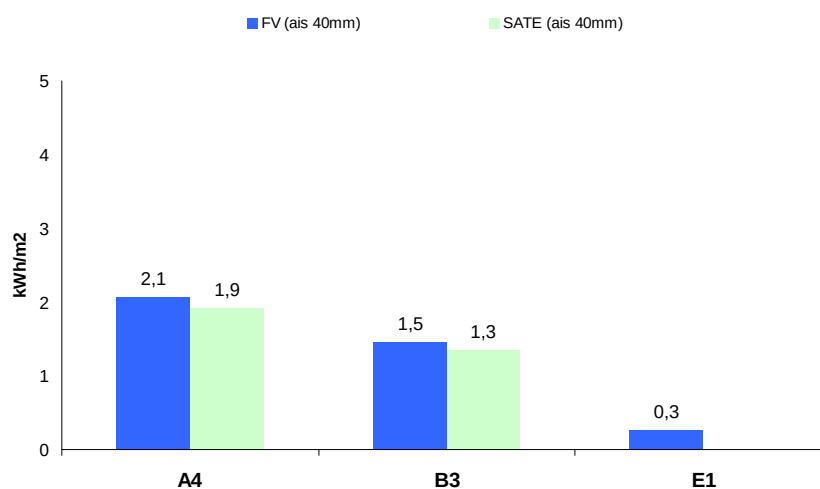
1. Rehabilitación con Fachada Ventilada [FV]
2. Rehabilitación con SATE cerámico [SATE]

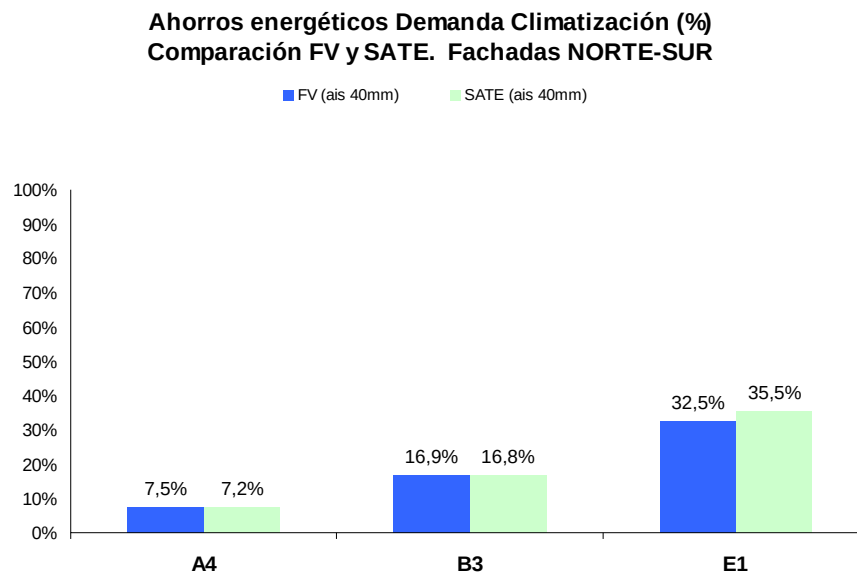
4.5.1.1 Edificio con fachadas orientadas NORTE-SUR

**Reducción Demanda Calefacción (kWh/m²)
Comparación FV y SATE. Fachadas NORTE-SUR**



**Reducción Demanda Refrigeración (kWh/m²)
Comparación FV y SATE. Fachadas NORTE-SUR**

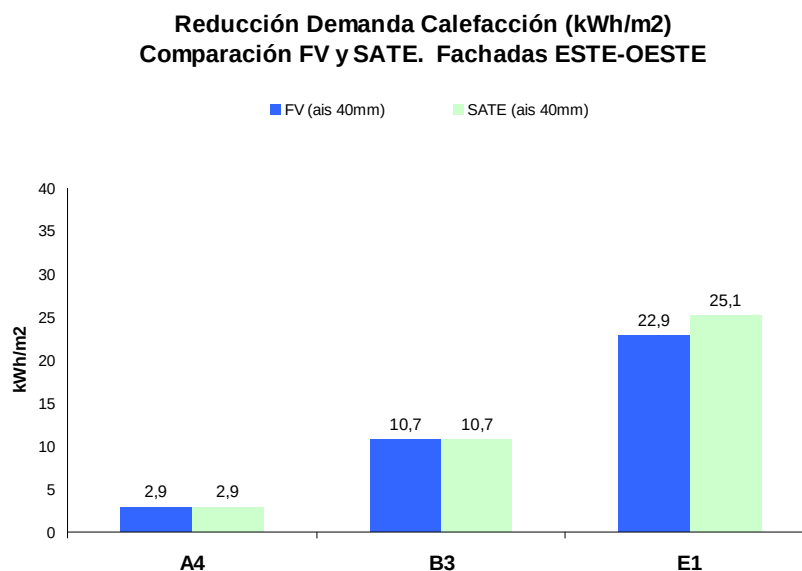




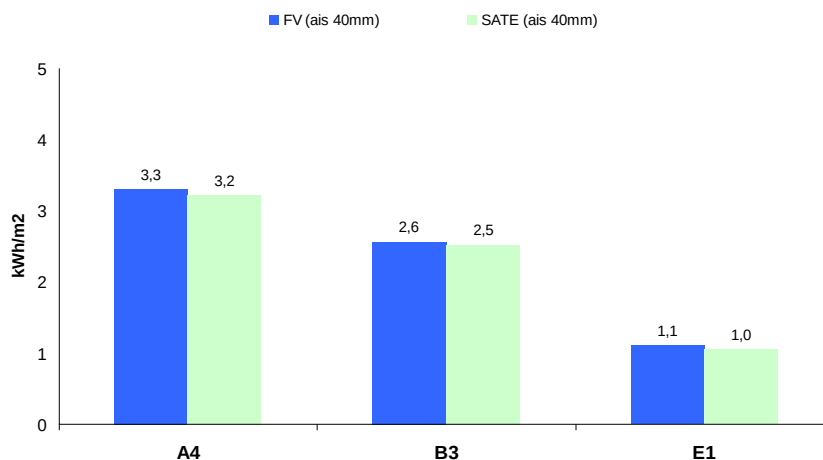
En la comparativa de demandas energéticas anuales para el edificio con fachadas orientadas a Norte-Sur, en las diferentes zonas climáticas, se obtiene una reducción importante en la demanda de calefacción en la zona climática E1 (Soria), en especial en el edificio que incorpora el sistema SATE. En relación a las demandas de refrigeración, es en la zona climática A4 (Almería) donde se obtiene mayores reducciones de la demanda, siendo el sistema de fachada ventilada el que mejores resultados obtiene.

El gráfico de ahorros energéticos de la demanda global, muestra que con el sistema de fachada ventilada se puede reducir la demanda de climatización entre el 7,5 y el 32,5%, mientras que con el sistema SATE, se pueden llegar a obtener un ahorro del 35,5%.

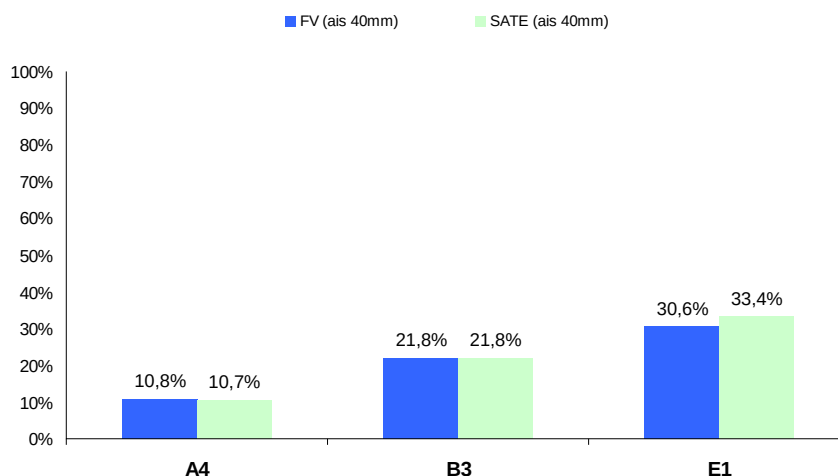
4.5.1.2 Edificio con fachadas orientadas ESTE-OESTE



Reducción Demanda Refrigeración (kWh/m²)
Comparación FV y SATE. Fachadas ESTE-OESTE



Ahorros energéticos Demanda Climatización (%)
Comparación FV y SATE. Fachadas ESTE-OESTE



En la comparativa de demandas energéticas anuales para el edificio con fachadas orientadas a Este-Oeste, en las diferentes zonas climáticas, al igual que en el caso anterior, se obtiene una reducción importante en la demanda de calefacción en la zona climática E1 (Soria), en especial en el edificio que incorpora el sistema SATE. En relación a las demandas de refrigeración, es en la zona climática A4 (Almería) donde se obtiene mayores reducciones de la demanda, siendo el sistema de fachada ventilada el que mejores resultados obtiene.

Además, en las zonas climáticas cálidas (A4 y B3), se observa que el sistema de fachada ventilada es mas efectivo que en el edificio con fachadas orientadas a Norte-Sur, ya que en este caso la fachada orientada a Norte no recibe radiación solar directa. El grafico de ahorros energéticos de la demanda global, muestra que con el sistema de fachada ventilada se puede reducir la demanda de climatización hasta el 10,8% en zonas climáticas cálidas y hasta un 30,6% en zonas climáticas frías, mientras que con el sistema SATE, se pueden llegar a obtener un ahorro del 33,4% en zonas climáticas frías.

4.5.2 Reducción de Demanda Energética entre los diferentes sistemas

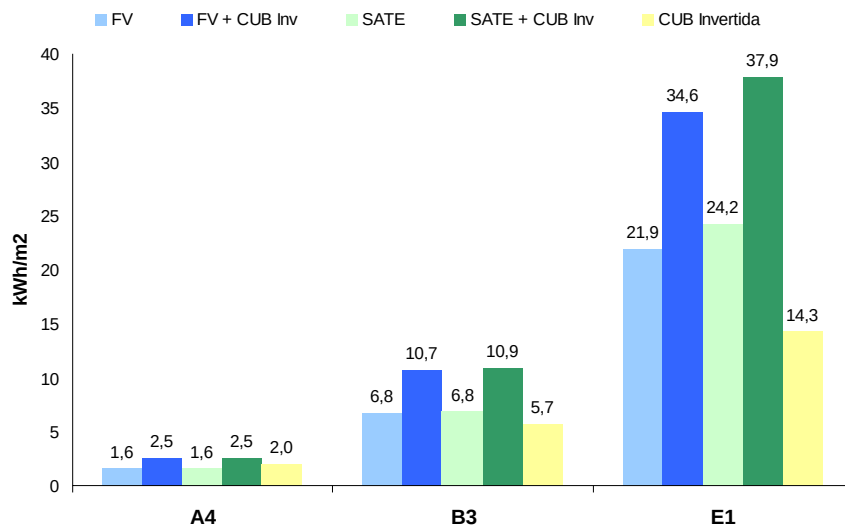
En este punto se compara la reducción de la demanda energética de los sistemas diferentes sistemas definidos en anteriormente, combinándolos de la siguiente forma:

- | | |
|---|--------------|
| 1. Rehabilitación con Fachada Ventilada | [FV] |
| 2. Rehabilitación con SATE cerámico | [SATE] |
| 3. Rehabilitación con Fachada Ventilada + Cubierta cerámica Invertida | [FV+CUB Inv] |
| 4. Rehabilitación con Fachada SATE + Cubierta Cerámica Invertida | [SATE+CIC] |
| 5. Rehabilitación con Cubierta Invertida Cerámica | [CUB Inv] |

4.5.2.1 Edificio con fachadas orientadas NORTE-SUR

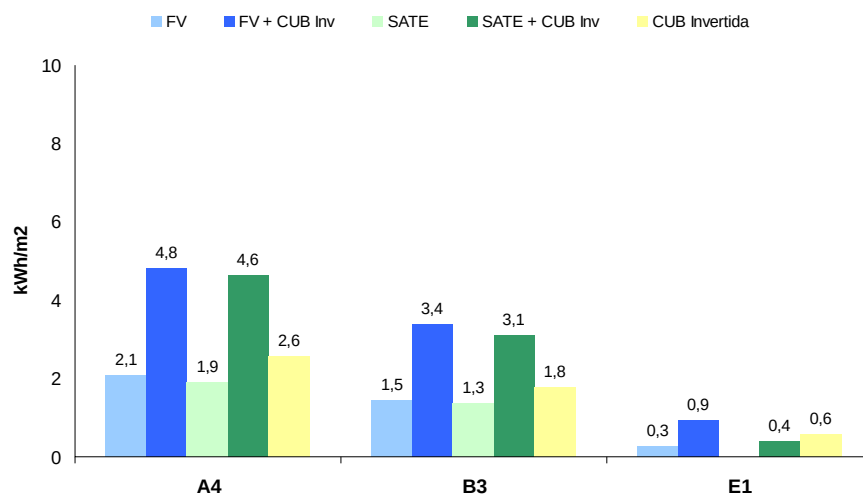
Reducción Demanda Calefacción (kWh/m²)

Rehabilitación Residencial. Fachadas NORTE-SUR



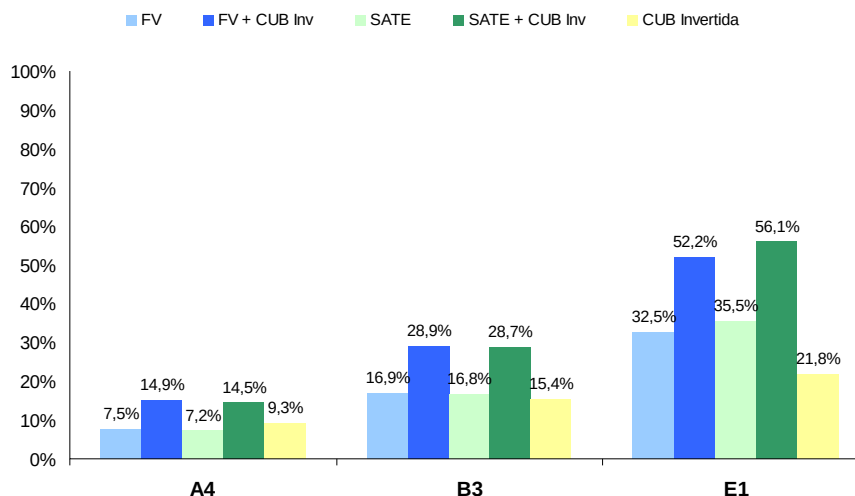
Reducción Demanda Refrigeración (kWh/m²)

Rehabilitación Residencial. Fachadas NORTE-SUR



Ahorros Energéticos Demanda Climatización (%)

Rehabilitación Residencial. Fachadas NORTE-SUR



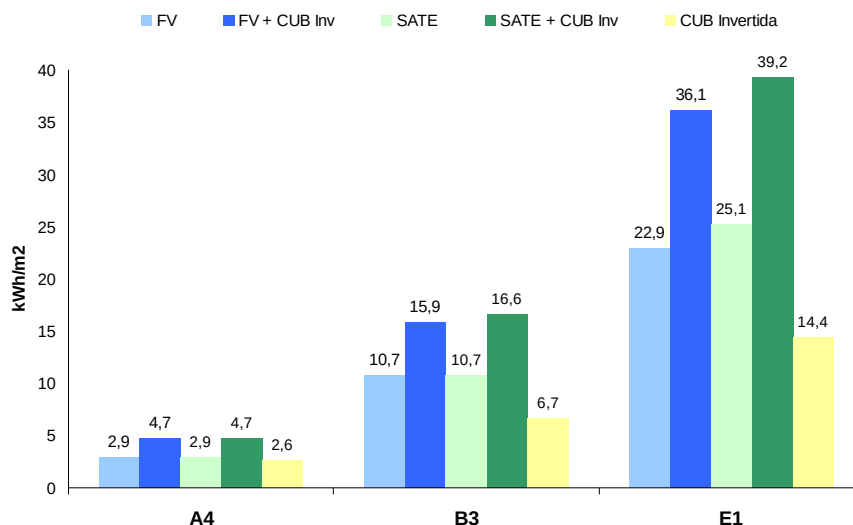
En la comparativa de demandas energéticas anuales para el edificio con fachadas orientadas a Norte-Sur, en las diferentes zonas climáticas, se obtiene una reducción importante en la demanda de calefacción en la zona climática E1 (Soria), en especial en el edificio que incorpora el sistema combinado de sistema SATE en fachada + cubierta invertida. En relación a las demandas de refrigeración, es en la zona climática A4 (Almería) donde reducen de significativamente las demandas, siendo el sistema combinado de fachada ventilada + cubierta invertida el que mejores resultados obtiene. En las zonas climáticas cálidas, destaca la contribución en la reducción de la demanda de refrigeración del sistema de cubierta invertida.

El gráfico de ahorros energéticos de la demanda global, muestra que mediante la combinación de sistemas cerámicos en la rehabilitación de la envolvente del edificio, se puede reducir la demanda de climatización hasta un 14,9% en zonas climáticas cálidas, y hasta el 56,1% en zonas climáticas frías.

4.5.2.2 Edificio con fachadas orientadas ESTE-OESTE

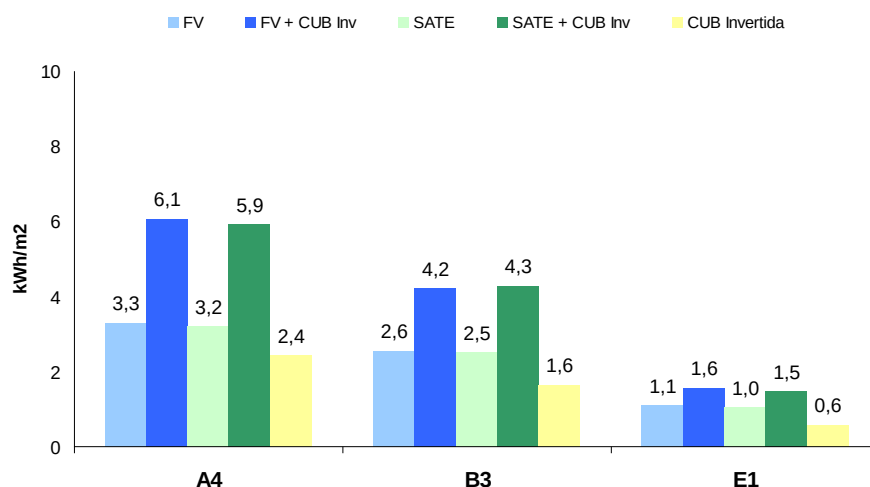
Reducción Demanda Calefacción (kWh/m2)

Rehabilitación Residencial. Fachadas ESTE-OESTE



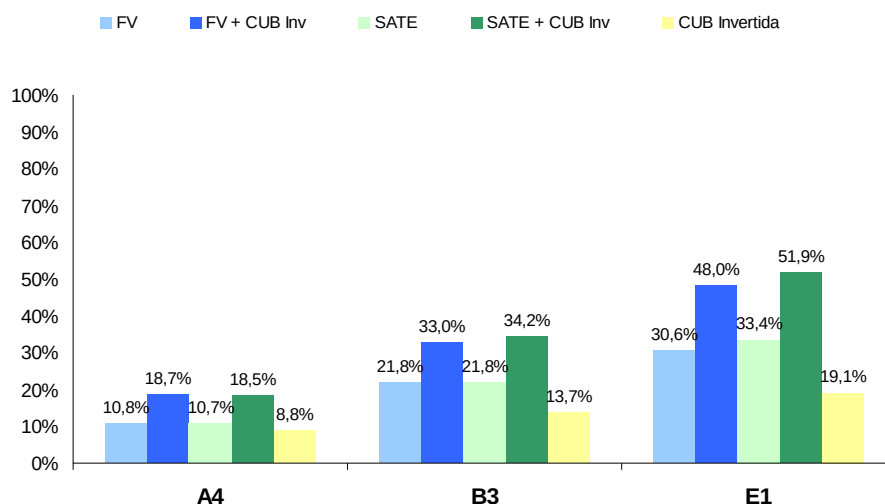
Reducción Demanda Refrigeración (kWh/m2)

Rehabilitación Residencial. Fachadas ESTE-OESTE



Ahorros Energéticos Demanda Climatización (%)

Rehabilitación Residencial. Fachadas ESTE-OESTE



En la comparativa de demandas energéticas anuales para el edificio con fachadas orientadas a Este-Oeste, en las diferentes zonas climáticas, se obtiene una reducción importante en la demanda de calefacción en la zona climática E1 (Soria), en especial en el edificio que incorpora el SATE en fachada y la cubierta invertida. En relación a las demandas de refrigeración, es en la zona climática A4 (Almería) donde se obtienen mayores reducciones de la demanda, siendo el sistema combinado de fachada ventilada + cubierta invertida con el que mejores resultados se obtienen.

El grafico de ahorros energéticos de la demanda de climatización, muestra que mediante la combinación de sistemas cerámicos en la rehabilitación de la envolvente del edificio, se puede reducir la demanda de climatización hasta un 18,7% en zonas climáticas cálidas, y hasta el 51,9% en zonas climáticas frías.

4.6 Evaluación Económica y Ambiental

4.6.1 Metodología de cálculo

La metodología de cálculo seguida para la evaluación económica y ambiental de los sistemas cerámicos propuestos para la rehabilitación, consiste por una parte, en la obtención de los periodos de amortización en base al ahorro anual en climatización y por otra, en la obtención dos ratios, kgCO₂ y kWh reducidos por € invertido en la instalación de los sistemas en el edificio.

Los escenarios definidos para calcular el ahorro económico y ambiental son:

1. Sistema de climatización y sus rendimientos (Calefacción y refrigeración)
2. Coste de la energía y evolución en el tiempo (Gas natural y electricidad)
3. Coste de los sistemas/soluciones constructivas a incorporar en la rehabilitación
4. Factores de conversión de Emisiones de Kg CO₂/kWh (Gas natural y electricidad)
5. Hipoteca (Tipo de interés y años de amortización)

4.6.1.1 Sistema de climatización

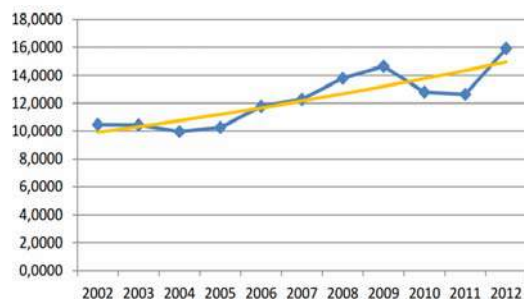
Los resultados obtenidos en Energyplus, muestran las demandas energéticas para obtener las temperaturas de confort en el interior de las viviendas. Para pasar las demandas a consumo y poder así, obtener los ahorros económicos anuales, se definen los equipos de climatización con las siguientes características:

Equipos de climatización	Rendimientos
Calefacción mediante caldera de Gas Natural.	0,8
Refrigeración mediante bomba de Calor.	2,5 (SEER)

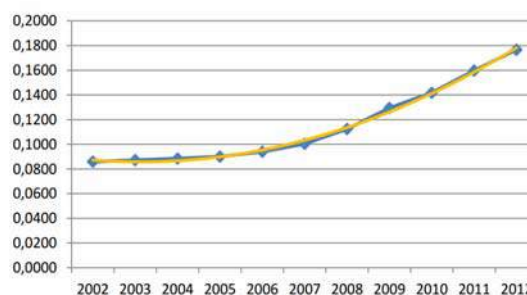
4.6.1.2 Coste de la energía

Según datos obtenidos de Eurostat, en el informe sobre el incremento de precios energéticos en la unión Europea [30], presentado el 27 de Mayo de 2015, informa que el coste de la energía eléctrica a nivel Europeo desde el año 2008 se ha incrementado en más de un 30% y el coste del gas ha aumentado más del 35% en este periodo.

En el caso de España, el coste de la energía eléctrica, ha aumentado más del 30% en menos de 5 años. A continuación se muestran dos gráficos que muestran la evolución del coste de la energía eléctrica y el gas a nivel nacional en los últimos años, extraído de una de las presentaciones de las jornadas Castelló Renova't en 2015 [31]. Como se observa en los gráficos, el incremento medio del gas Natural es de 4,24%, mientras que el incremento medio de la electricidad en estos 10 años es del 7,47%.



Incremento del gas natural



Incremento de la electricidad

Con esta información, para obtener la amortización de los sistemas cerámicos planteados a integrar en la rehabilitación de la envolvente del edificio, se considera un incremento medio anual del coste de la energía (Gas natural y electricidad) del 5%.

Este incremento del 5% se aplicará sobre el coste variable en kWh de la energía eléctrica y del gas natural, de las nuevas tarifas domésticas PVPC (Precio Voluntario Pequeño Consumidor). A continuación se muestran los precios de la energía considerados en el cálculo:

PVPC Gas Natural TUR1. Consumo inferior o igual a 5000 kWh/año	PVPC Electricidad Tarifa. Sin Discriminación Horaria
COSTE FIJO(€/cliente)/mes.....4,36	TERMINO POTENCIA (€/Kw) y año.....42,04
COSTE VARIABLE(€/Kwh).....0,0553	TÉRMINO ENERGÍA (€/kWh).....0,128864

4.6.1.3 Coste de las soluciones constructivas planteadas

El coste de las soluciones constructivas propuestas para la rehabilitación, se ha obtenido de bases de datos de la construcción, en concreto del generador de precios del Cype [32]. Se debe tener en cuenta, que los costes de las distintas soluciones constructivas, varían en función del espesor de aislamiento empleado cada zona climática (A4, B3 y E1), para cumplir con los valores de transmitancias exigidos por el dBHE. El resumen de los costes en función de los sistemas a emplear es el siguiente:

PVP. Precio rehabilitación €/m2	A4	B3	E1
Fachada ventilada cerámica	140 €	142 €	145 €
SATE cerámico	114 €	116 €	119 €
Cubierta con solado fijo porcelánico adherido	97 €	102 €	112 €

En el anexo 3, incorporado en el CD, se ha incorporado en detalle los precios descompuestos, para cada uno de los sistemas cerámicos evaluados.

4.6.1.4 Factores de conversión de Emisiones Kg CO₂/kWh

Para convertir los valores de energía en emisiones de CO₂ es necesario definir unos valores de conversión. En este caso, los valores de conversión utilizados son los mismos que se encuentran en el programa CALENER, tal y como se define en el documento reconocido "Escala de calificación energética para edificios existentes"¹, aunque en Marzo de 2014, el IDAE ha desarrollado una propuesta² con nuevos factores de conversión de emisión de CO₂:

Tipo de energía	Valores de conversión actuales. CALENER (Kg CO₂/kWh)	Valores de conversión propuestos 2014 CALENER (Kg Co₂/kWh)
Gas natural	0,204	0,252
Electricidad convencional	0,649	0,399

4.6.1.5 Hipoteca

En aquellos casos, en los que se requiere la petición de un préstamo para la rehabilitación de la envolvente del edificio, se han considerado con las siguientes condiciones:

- Capital de la hipoteca: 100% del coste del sistema
- Tipo de interés: 2% anual
- Años de hipoteca: 10 años

¹ "Escala de calificación energética". Edificios existentes. IDEA. Madrid, mayo de 2011

² Propuesta de documento reconocido."Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector edificios en España". Versión 03/03/2014

A continuación se muestra un ejemplo de cálculo de la cuota anual de la hipoteca:

HIPOTECA :TIPO DE INTERES 2%		
Capital pendiente inicial	91.677 €	91.677 €
Amortización		-691 €
Intereses	0,2%	-153 €
Cuota (mensual)		-844 €
Capital pendiente final		90.986 €
Periodos	120	
Cuota (anual)		10.128 €
Pago total (120meses)		101.280 €

Otra posibilidad a contemplar frente a petición de una hipoteca, consiste en la petición de ayudas públicas para Rehabilitación de la envolvente térmica de Edificios existentes para el sector residencial (PAREER. IDAE), que actualmente, ofrece una ayuda directa del 30% y un préstamo con un interés aplicable de Euribor +0%, reduciéndose de esta forma el periodo de amortización de los sistemas a instalar en la rehabilitación. En los siguientes ejemplos de cálculo se realizará una estimación de la amortización considerando la concesión de esta ayuda. En el resto de gráficos del proyecto en los que se evalúa el periodo de amortización, no se han considerado este tipo de ayudas.

4.6.1.6 Ejemplo de cálculo

Para cada uno de los sistemas planteados, en las diversas zonas climáticas y en las distintas orientaciones, se ha calculado el periodo de amortización y los ratios de kgCO₂/€ y kWh/€. A continuación se muestra un ejemplo de la evaluación económica y ambiental, que corresponde a un edificio ubicado en la **zona climática B3**, con fachadas orientadas a **Este-Oeste** y rehabilitado mediante **sistema de Fachada Ventilada y Cubierta invertida**

1	DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO	UBICACIÓN	SISTEMA CERRAMIENTO EXTERIOR	DEMANDA ANUAL (kWh) CALEFACCIÓN	DEMANDA ANUAL (kWh) REFRIGERACIÓN	DIFERENCIA (kWh) DEMANDA ANUAL
	BLOQUE DE VIVIENDAS (PB+6)	(B3) Zona climática	Cerramiento Años 80 (Este y Oeste)	29429,52	59605,47	-
			Fachada ventilada (Este y Oeste)	6245,49	53438,38	29351,12

2	DEMANDAS	metros cuadrados EDIFICIO	SISTEMA CERRAMIENTO EXTERIOR	DEMANDA ANUAL (kWh/m2) CALEFACCIÓN	DEMANDA ANUAL (kWh/m2) REFRIGERACIÓN	DIFERENCIA CONSUMO ANUAL (Kwh/m2)
		1460	Cerramiento Años 80 (Este y Oeste)	20,16	40,83	-
			Fachada ventilada (Este y Oeste)	4,28	36,60	20,10

3	CONSUMOS = demanda / rendimiento del sistema	SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN	RENDIMIENTOS SCOP(inv) SEER(ver)	SISTEMA CERRAMIENTO EXTERIOR	CONSUMO ANUAL (kWh) CALEFACCIÓN	CONSUMO ANUAL (kWh) REFRIGERACIÓN	COSTE ANUAL € CALEFACCIÓN	COSTE ANUAL € REFRIGERACIÓN	AHORRO ANUAL (€)
		CALDERA GAS (calef)	0,8	Cerramiento años 80	36786,90	23842,19	2.013 €	3.303 €	
		BOMBA CALOR (Refrig)	2,5	Fachada ventilada	7806,86	21375,35	468 €	2.985 €	1.863 €

4	ENERGIA	TARIFAS	POTENCIA kW	FIJO ANUAL €	COSTE ENERGIA €/kWh
	Energía eléctrica	TUR SHD	5,5	231,00	0,12886
	Gas Natural	TUR T.1	C < 5.000 kWh	51,6	0,05333

5	COSTE REHABILITACIÓN	Orientación	m2 totales de fachada y cubierta	m2 de huecos del edificio	m2 ta rehabilitar de fachada y cubierta	€/m2 de FV y cubierta por vivienda	Coste total FV (€)
		FACHADA VENTILADA EN ESTE Y OESTE (NORTE Y SUR ADIABÁTICA)	601	130	471	145 €	68.207 €
		CUBIERTA INVERTIDA CON SOLADO FIJO	209	0	209	112 €	23.470 €

6	AMORTIZACIÓN (sin hipoteca) (años)	AMORTIZACIÓN (con hipoteca a 10 años)
	26	27

- En el cálculo del periodo de amortización con **hipoteca a 10 años**, se obtiene un periodo de amortización de 27 años, tal y como se muestra a continuación.

Ahorro Anual (€)	Años	coste	coste acum	Incremento coste ener (5% anual)	ahorro	ahorro acumulado	ahorro acum - coste
	0						
1863,38	1	10.128	10128,0	0,00%	1863,38	1863,38	-8264,62
	2	10.128	20256,0	5%	1956,55	3819,93	-16436,07
	3	10.128	30384,0	10%	2054,38	5874,31	-24509,69
	4	10.128	40512,0	16%	2157,10	8031,41	-32480,59
	5	10.128	50640,0	22%	2264,95	10296,36	-40343,64
	6	10.128	60768,0	28%	2378,20	12674,56	-48093,44
	7	10.128	70896,0	34%	2497,11	15171,67	-55724,33
	8	10.128	81024,0	41%	2621,97	17793,64	-63230,36
	9	10.128	91152,0	48%	2753,06	20546,70	-70605,30
	10	10.128	101280,0	55%	2890,72	23437,42	-77842,58
	11	0	101280,0	63%	3035,25	26472,67	-74807,33
	12	0	101280,0	71%	3187,02	29659,69	-71620,31
	13	0	101280,0	80%	3346,37	33006,05	-68273,95
	14	0	101280,0	89%	3513,68	36519,74	-64760,26
	15	0	101280,0	98%	3689,37	40209,10	-61070,90
	16	0	101280,0	108%	3873,84	44082,94	-57197,06
	17	0	101280,0	118%	4067,53	48150,47	-53129,53
	18	0	101280,0	129%	4270,91	52421,38	-48856,62
	19	0	101280,0	141%	4484,45	56905,83	-44374,17
	20	0	101280,0	153%	4708,67	61614,50	-39665,50
	21	0	101280,0	165%	4944,11	66558,61	-34721,39
	22	0	101280,0	179%	5191,31	71749,92	-29530,08
	23	0	101280,0	193%	5450,88	77200,80	-24079,20
	24	0	101280,0	207%	5723,42	82924,22	-18355,78
	25	0	101280,0	223%	6009,59	88933,81	-12346,19
	26	0	101280,0	239%	6310,07	95243,88	-6036,12
	27	0	101280,0	256%	6625,58	101869,46	589,46
	28	0	101280,0	273%	6956,85	108826,31	7546,31
	29	0	101280,0	292%	7304,70	116131,01	14851,01
	30	0	101280,0	312%	7669,93	123800,95	22520,95
	31	0	101280,0	332%	8053,43	131854,37	30574,37
	32	0	101280,0	354%	8456,10	140310,47	39030,47
	33	0	101280,0	376%	8878,91	149189,38	47909,38
	34	0	101280,0	400%	9322,85	158512,23	57232,23
	35	0	101280,0	425%	9788,99	168301,22	67021,22
	36	0	101280,0	452%	10278,44	178579,67	77299,67
	37	0	101280,0	479%	10792,37	189372,03	88092,03
	38	0	101280,0	508%	11331,98	200704,02	99424,02
	39	0	101280,0	539%	11898,58	212602,60	111322,60
	40	0	101280,0	570%	12493,51	225096,11	123816,11
	41	0	101280,0	604%	13118,19	238214,30	136934,30
	42	0	101280,0	639%	13774,10	251988,40	150708,40
	43	0	101280,0	676%	14462,80	266451,20	165171,20
	44	0	101280,0	715%	15185,94	281637,14	180357,14
	45	0	101280,0	756%	15945,24	297582,38	196302,38
	46	0	101280,0	799%	16742,50	314324,88	213044,88
	47	0	101280,0	843%	17579,63	331904,50	230624,50
	48	0	101280,0	891%	18458,61	350363,11	249083,11
	49	0	101280,0	940%	19381,54	369744,65	268464,65
	50	0	101280,0	992%	20350,61	390095,26	288815,26

Cálculo de amortización de los sistemas con petición de hipoteca

A continuación se presentan los resultados de forma gráfica:

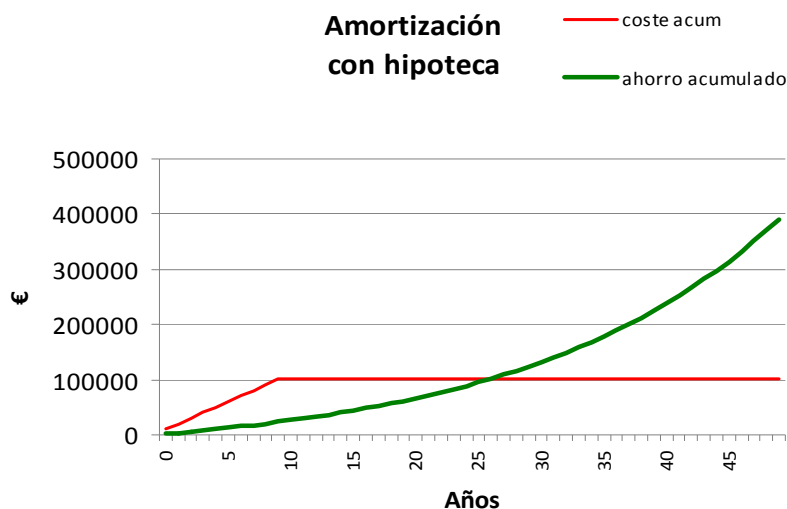


Gráfico de amortización con petición de hipoteca

- En aquellos casos, en los que **no sea necesario solicitar una hipoteca**, se obtiene un periodo de amortización de 26 años, en base al siguiente cálculo:

Ahorro Anual (€)	Años	coste	Coste acumulado	Incremento coste ener (5% anual)	ahorro	ahorro acumulado	ahorro acum - coste
	0						
1863,38	1	91677,04	91677,04	0,00%	1863,38	1863,38	-89813,66
	2	0	0,00	5%	1956,55	3819,93	-87857,11
	3	0	0,00	10%	2054,38	5874,31	-85802,73
	4	0	0,00	16%	2157,10	8031,41	-83645,63
	5	0	0,00	22%	2264,95	10296,36	-81380,68
	6	0	0,00	28%	2378,20	12674,56	-79002,48
	7	0	0,00	34%	2497,11	15171,67	-76505,37
	8	0	0,00	41%	2621,97	17793,64	-73883,40
	9	0	0,00	48%	2753,06	20546,70	-71130,34
	10	0	0,00	55%	2890,72	23437,42	-68239,62
	11	0	0,00	63%	3035,25	26472,67	-65204,37
	12	0	0,00	71%	3187,02	29659,69	-62017,35
	13	0	0,00	80%	3346,37	33006,05	-58670,99
	14	0	0,00	89%	3513,68	36519,74	-55157,30
	15	0	0,00	98%	3689,37	40209,10	-51467,94
	16	0	0,00	108%	3873,84	44082,94	-47594,10
	17	0	0,00	118%	4067,53	48150,47	-43526,57
	18	0	0,00	129%	4270,91	52421,38	-39255,66
	19	0	0,00	141%	4484,45	56905,83	-34771,21
	20	0	0,00	153%	4708,67	61614,50	-30062,54
	21	0	0,00	165%	4944,11	66558,61	-25118,43
	22	0	0,00	179%	5191,31	71749,92	-19927,12
	23	0	0,00	193%	5450,88	77200,80	-14476,24
	24	0	0,00	207%	5723,42	82924,22	-8752,82
	25	0	0,00	223%	6009,59	88933,81	-2743,23
	26	0	0,00	239%	6310,07	95243,88	3566,84
	27	0	0,00	256%	6625,58	101869,46	10192,42
	28	0	0,00	273%	6956,85	108826,31	17149,27
	29	0	0,00	292%	7304,70	116131,01	24453,97
	30	0	0,00	312%	7669,93	123800,95	32123,90
	31	0	0,00	332%	8053,43	131854,37	40177,33
	32	0	0,00	354%	8456,10	140310,47	48633,43
	33	0	0,00	376%	8878,91	149189,38	57512,34
	34	0	0,00	400%	9322,85	158512,23	66835,19
	35	0	0,00	425%	9788,99	168301,22	76624,18
	36	0	0,00	452%	10278,44	178579,67	86902,63
	37	0	0,00	479%	10792,37	189372,03	97694,99
	38	0	0,00	508%	11331,98	200704,02	109026,98
	39	0	0,00	539%	11898,58	212602,60	120925,56
	40	0	0,00	570%	12493,51	225096,11	133419,07
	41	0	0,00	604%	13118,19	238214,30	146537,26
	42	0	0,00	639%	13774,10	251988,40	160311,36
	43	0	0,00	676%	14462,80	266451,20	174774,16
	44	0	0,00	715%	15185,94	281637,14	189960,10
	45	0	0,00	756%	15945,24	297582,38	205905,34
	46	0	0,00	799%	16742,50	314324,88	222647,84
	47	0	0,00	843%	17579,63	331904,50	240227,46
	48	0	0,00	891%	18458,61	350363,11	258686,07
	49	0	0,00	940%	19381,54	369744,65	278067,61
	50	0	0,00	992%	20350,61	390095,26	298418,22

Cálculo de amortización de los sistemas sin petición de hipoteca

A continuación se presentan los resultados de forma gráfica:

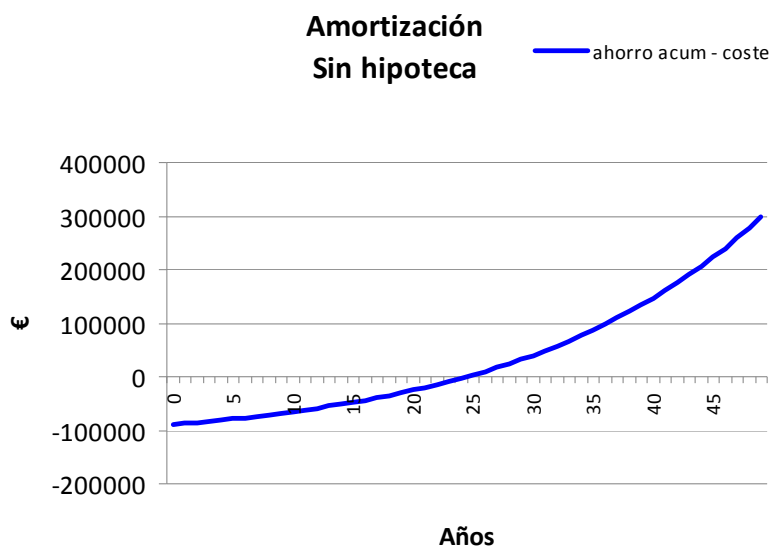


Gráfico de amortización sin hipoteca

- Por último, se calcula el periodo de amortización, considerando la **ayuda del programa PAREER**, que aporta una ayuda directa sobre el coste de la rehabilitación de la envolvente del 30% y un préstamo con un interés aplicable de Euribor +0% con un máximo del 60% del importe, siendo un 10% el importe a abonar inicialmente por los propietarios. Con esta ayuda, el importe total a pagar en la rehabilitación ascendería 64174€, considerando un prestamos a 10 años y un pago del 10% en el primer año. El periodo de amortización se reduce hasta los 18 años, tal y como se muestra en el siguiente cálculo:

Ahorro Anual (€)	Años	coste	coste acumulado	Incremento coste ener (5% anual)	ahorro	ahorro acumulado	ahorro acum - coste
1863.38	0						
	1	14 668	14668.3	0.00%	1863.38	1863.38	-12804.94
	2	5 501	5500.6	5%	1956.55	3819.93	-1680.69
	3	5 501	11001.2	10%	2054.38	5874.31	-5126.93
	4	5 501	16501.9	16%	2157.10	8031.41	-8470.46
	5	5 501	22002.5	22%	2264.95	10296.36	-11706.13
	6	5 501	27503.1	28%	2378.20	12674.56	-14828.55
	7	5 501	33003.7	34%	2497.11	15171.67	-17832.06
	8	5 501	38504.4	41%	2621.97	17793.64	-20710.72
	9	5 501	44005.0	48%	2753.06	20546.70	-23458.28
	10	5 501	49505.6	55%	2890.72	23437.42	-26068.18
	11	0	49505.6	63%	3035.25	26472.67	-23032.93
	12	0	49505.6	71%	3187.02	29659.69	-19845.92
	13	0	49505.6	80%	3346.37	33006.05	-16499.55
	14	0	49505.6	89%	3513.68	36519.74	-12985.87
	15	0	49505.6	98%	3689.37	40209.10	-9296.50
	16	0	49505.6	108%	3873.84	44082.94	-5422.66
	17	0	49505.6	118%	4067.53	48150.47	-1355.13
	18	0	49505.6	129%	4270.91	52421.38	2915.77
	19	0	49505.6	141%	4484.45	56905.83	7400.23
	20	0	49505.6	153%	4708.67	61614.50	12108.90
	21	0	49505.6	165%	4944.11	66558.61	17053.01
	22	0	49505.6	179%	5191.31	71749.92	22244.32
	23	0	49505.6	193%	5450.88	77200.80	27695.20
	24	0	49505.6	207%	5723.42	82924.22	33418.62
	25	0	49505.6	223%	6009.59	88933.81	39428.21
	26	0	49505.6	239%	6310.07	95243.88	45738.28
	27	0	49505.6	256%	6625.58	101869.46	52363.86
	28	0	49505.6	273%	6956.85	108826.31	59320.71
	29	0	49505.6	292%	7304.70	116131.01	66625.41
	30	0	49505.6	312%	7669.93	123800.95	74295.34
	31	0	49505.6	332%	8053.43	131854.37	82348.77
	32	0	49505.6	354%	8456.10	140310.47	90804.87
	33	0	49505.6	376%	8878.91	149189.38	99683.78
	34	0	49505.6	400%	9322.85	158512.23	109006.63
	35	0	49505.6	425%	9788.99	168301.22	118795.62
	36	0	49505.6	452%	10278.44	178579.67	129074.07
	37	0	49505.6	479%	10792.37	189372.03	139866.43
	38	0	49505.6	508%	11331.98	200704.02	151198.42
	39	0	49505.6	539%	11898.58	212602.60	163097.00
	40	0	49505.6	570%	12493.51	225096.11	175590.51
	41	0	49505.6	604%	13118.19	238214.30	188708.70
	42	0	49505.6	639%	13774.10	251988.40	202482.79
	43	0	49505.6	676%	14462.80	266451.20	216945.60
	44	0	49505.6	715%	15185.94	281637.14	232131.54
	45	0	49505.6	756%	15945.24	297582.38	248076.78
	46	0	49505.6	799%	16742.50	314324.88	264819.28
	47	0	49505.6	843%	17579.63	331904.50	282398.90
	48	0	49505.6	891%	18458.61	350363.11	300857.51
	49	0	49505.6	940%	19381.54	369744.65	320239.05
	50	0	49505.6	992%	20350.61	390095.26	340589.66

Cálculo de amortización de los sistemas con ayuda pública PAREER

A continuación se presentan los resultados de forma gráfica:

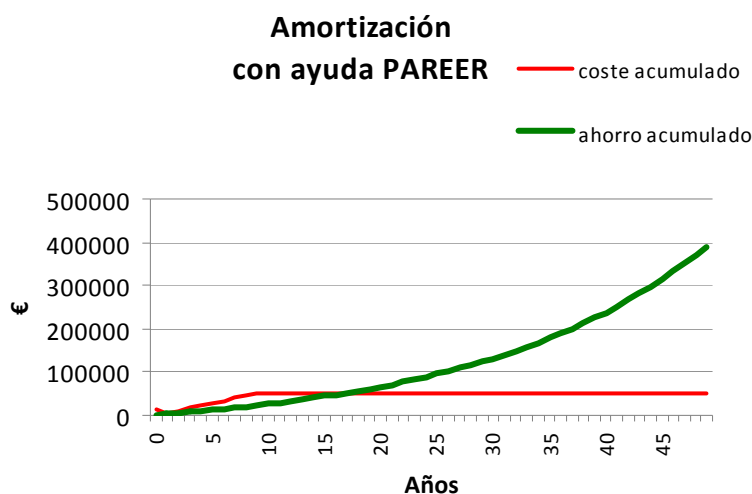


Gráfico de amortización con ayuda pública PAREER

Con este tipo de ayudas públicas, se puede conseguir una reducción de los periodos de amortización de aproximadamente un 33%. Siendo de esta forma viable la rehabilitación con estos sistemas.

- La evaluación ambiental del sistema de rehabilitación

Se basa en la obtención del porcentaje de reducción de las emisiones de CO₂ y de los ratios de kgCO₂/€ y kWh/€ considerando los factores de conversión de Emisiones de CO₂ definidos previamente.

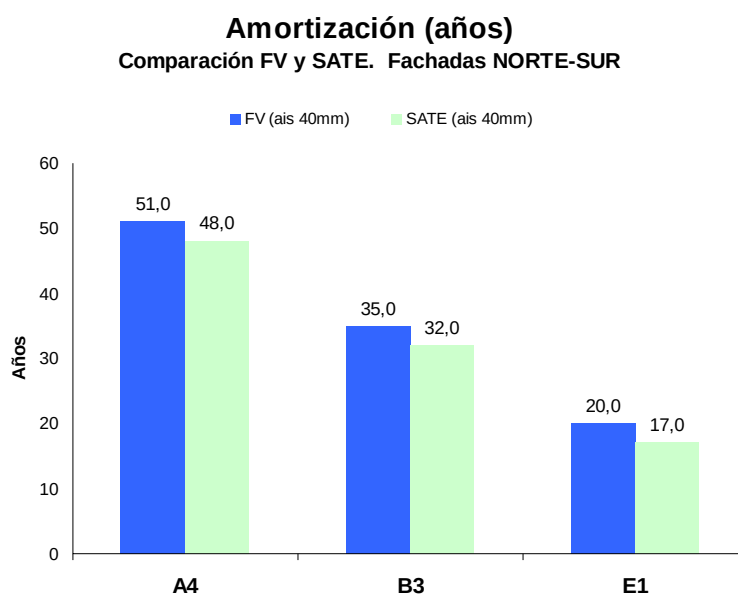
EMISIONES DE CO ₂			
	Calefacción (kWh) (Gas natural)	Refrigeración (kWh) (Electricidad)	TOTAL
Consumo edificio años 80	36786,90	23842,19	60629,1
Consumo edificio Rehabilitado	7806,86	21375,35	29182,2
Diferencia consumo (KWh)	28980,04	2466,84	31446,9
Reducción de emisiones (KgCO ₂)	5796,0075	1600,976564	7397,0
7 Reducción de emisiones (KgCO ₂ /m ²)	3,969868151	1,09655929	5,1
Reducción de emisiones (%)			32,4%
Emisiones de CO ₂ en edificio años 80	7357,38	15473,58001	22831,0
Ratio Kg de CO ₂ /€ reducidas			0,08
Ratio kWh/€			0,34
valores de conversión (Kg CO ₂ /kWh)	Gas Natural	Electricidad	
	0,2	0,649	

Como se observa en la tabla anterior, con el sistema cerámico de fachada ventilada propuesto, se reducen las emisiones de CO₂ en un 32,4%. Por otra parte se obtiene una reducción de 0,08Kg de CO₂ y de 0,34kWh por cada € invertido.

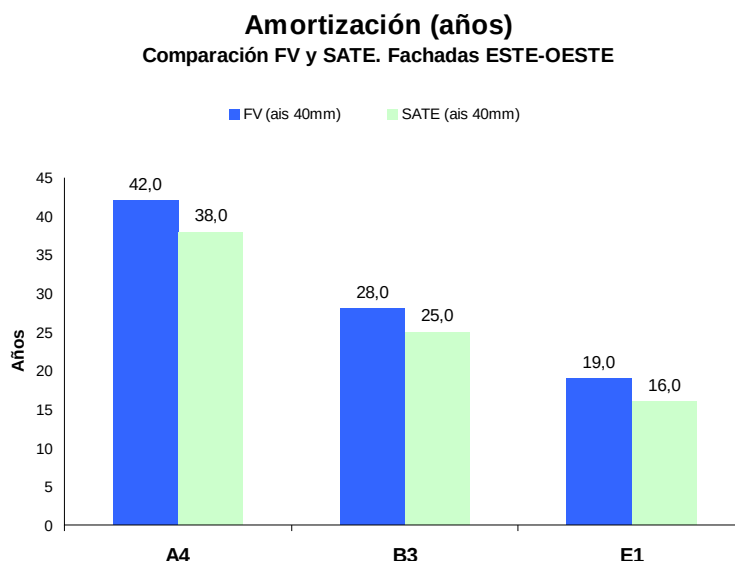
4.6.2 Evaluación Económica de Fachada ventilada y SATE cerámico

Se comparan los periodos de amortización de los sistemas de Fachada Ventilada y el sistema SATE para la rehabilitación energética de las fachadas del edificio. Como se ha comentado anteriormente, en el cálculo de estos periodos de amortización no se han contemplado las ayudas del programa PAREER.

4.6.2.1 Edificio con fachadas orientadas NORTE-SUR



4.6.2.2 Edificio con fachadas orientadas ESTE-OESTE



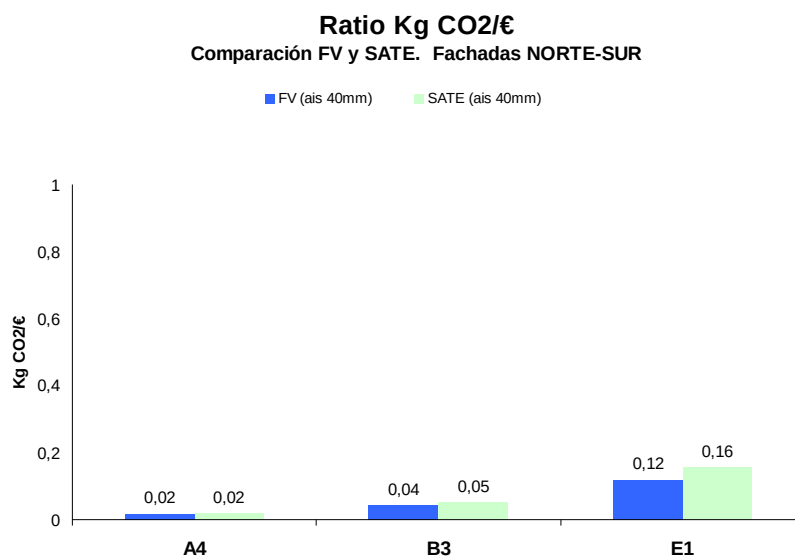
En las zonas climáticas frías E (Soria), se obtienen unos periodos de amortización inferiores a los 20 años, mientras que en las zonas climáticas cálidas los periodos de amortización de los sistemas son mucho más elevados, alcanzando los 51 años, en el edificio ubicado en Almería , con orientación Norte-Sur y rehabilitado con el sistema de fachada ventilada cerámica.

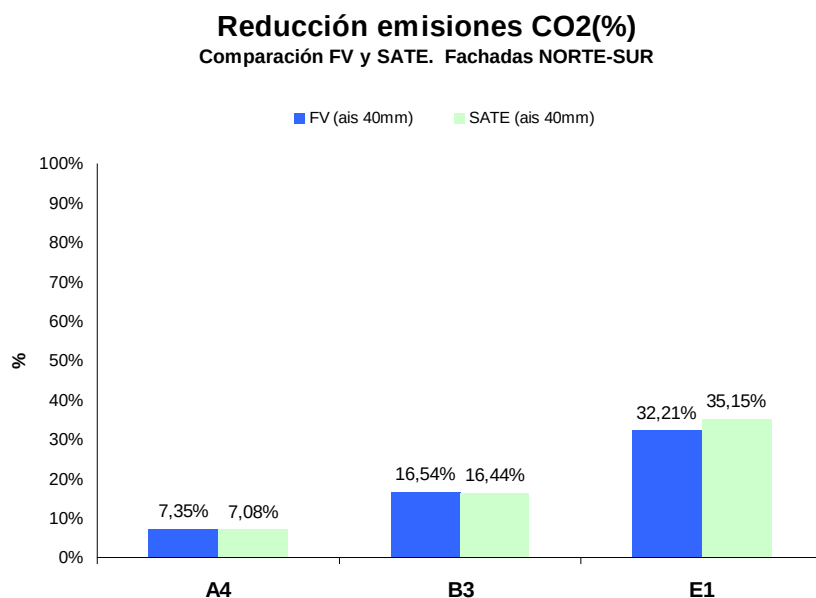
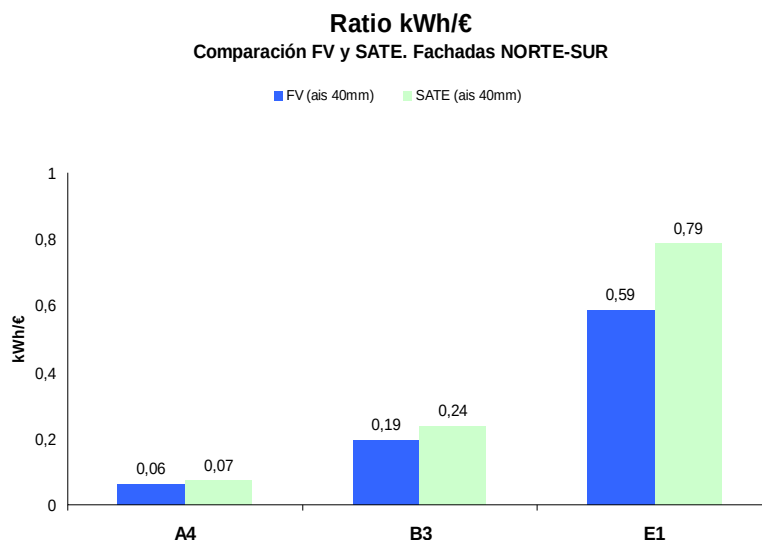
Por otra parte se observa que los periodos de amortización en el edificio con fachadas orientadas a Este-Oeste, son ligeramente inferiores a los del edificio con fachadas a Norte-Sur. Finalmente cabe destacar, que los sistemas SATE, al tener un coste menor que la fachada ventilada, ofrece unos periodos de amortización ligeramente inferiores.

4.6.3 Evaluación Ambiental de Fachada ventilada y SATE

Se comparan los ratios de reducción de emisiones de CO₂ y de kWh por € invertido para la rehabilitación las fachadas del edificio mediante el sistema de Fachada Ventilada y el sistema SATE.

4.6.3.1 Edificio con fachadas orientadas NORTE-SUR



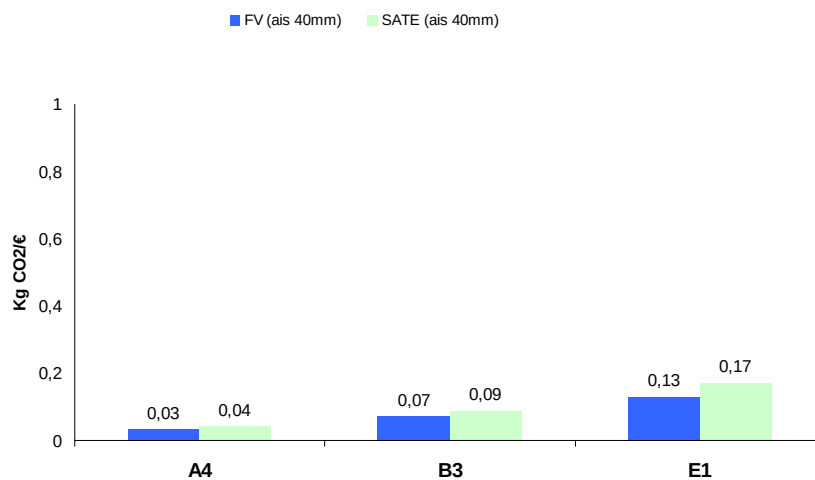


En el edificio con fachadas orientadas a Norte-Sur, los ratios de reducción de emisiones de CO₂ y kWh por € invertido, son más significativos en los edificios ubicados en zonas climáticas frías E1 (Soria), al ser en estas zonas, don se reduce en mayor medida la demanda energética anual del edificio, principalmente en demanda de calefacción.

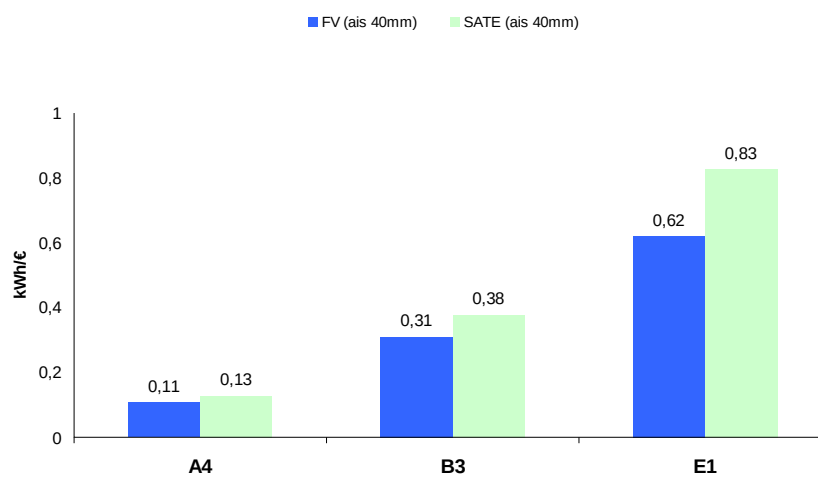
Respecto a la reducción de las emisiones de CO₂ de los sistemas analizados, en la zona climática cálidas A4 (Almería) y B3 (Castellón), mediante la rehabilitación con el sistema de fachada ventilada, se pueden reducir las emisiones entre un 7,35% y un 16,54% respectivamente. En cambio, en el edificio ubicado en Soria, pueden llegar a reducirse las emisiones del CO₂ hasta un 35,15% mediante la rehabilitación con el sistema .

4.6.3.2 *Edificio con fachadas orientadas ESTE-OESTE*

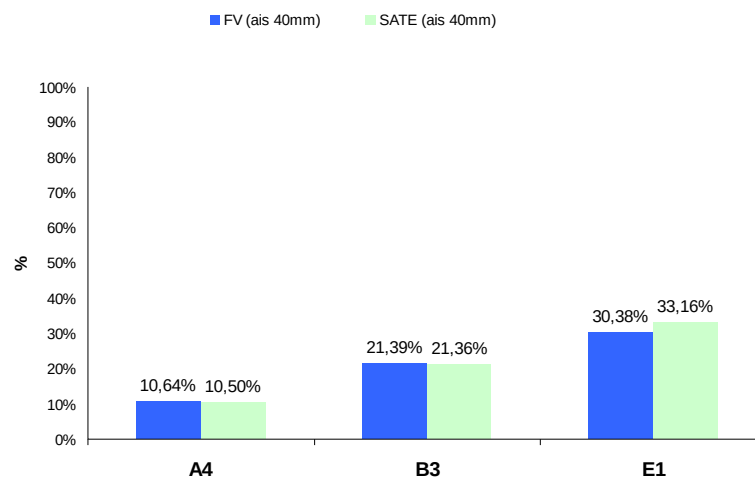
Ratio Kg CO₂/€
Comparación FV y SATE. Fachadas ESTE-OESTE



Ratio kWh/€
Comparación FV y SATE. Fachadas ESTE-OESTE



Reducción emisiones CO₂(%)
Comparación FV y SATE. Fachadas ESTE-OESTE



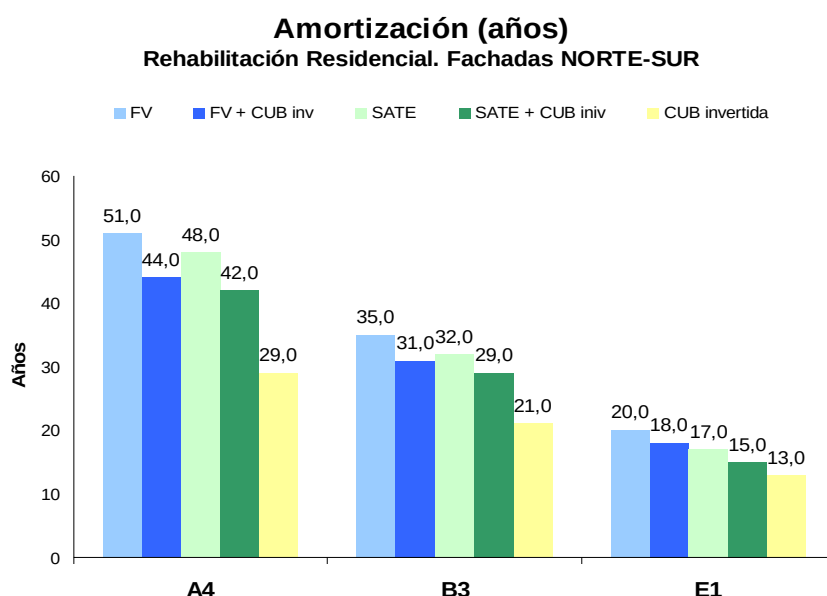
En el edificio con fachadas orientadas a Este-Oeste, al igual que en el caso anterior, es en la zona climática E1 (Soria) en la que se alcanzan mejores ratios de reducción de emisiones de CO₂ y kWh por € invertido.

En este caso, se observa como la reducción de las emisiones de CO₂ de los sistemas analizados, en las zonas climáticas cálidas A4 (Almería) y B3 (Castellón) son más significativas que en el edificio con fachadas orientadas a Norte-Sur, reduciendo las emisiones en A4 (Almería) hasta un 10,64% con el sistema de fachada ventilada. La disminución de emisiones de CO₂ en las zonas climáticas frías, son ligeramente inferiores a las obtenidas en el edificio con fachadas orientadas a Norte-Sur, llegando a reducir hasta un 33,16% con el sistema SATE.

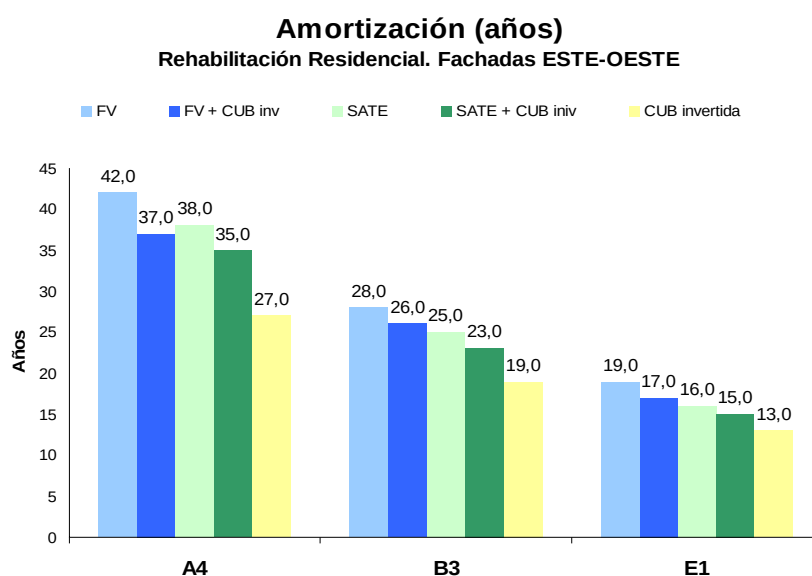
4.6.4 Evaluación económica de los diferentes sistemas

Se comparan los periodos de amortización de los sistemas de Fachada Ventilada, SATE, cubierta invertida y la combinación entre ellos (FV+CUB inv, SATE+CUB inv), para la rehabilitación energética de la envolvente del edificio. En el cálculo de estos periodos de amortización no se han contemplado las ayudas del programa PAREER.

4.6.4.1 Edificio con fachadas orientadas NORTE-SUR



4.6.4.2 Edificio con fachadas orientadas ESTE-OESTE



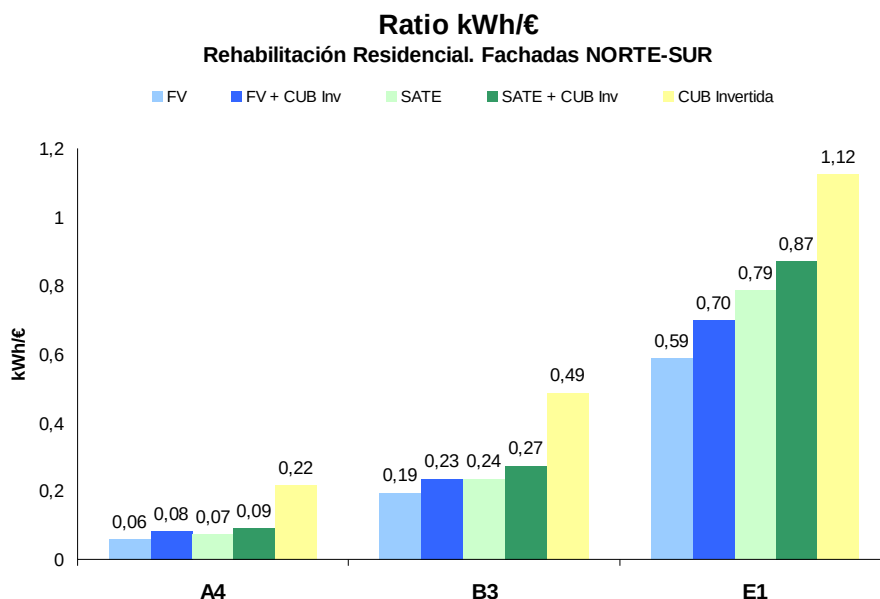
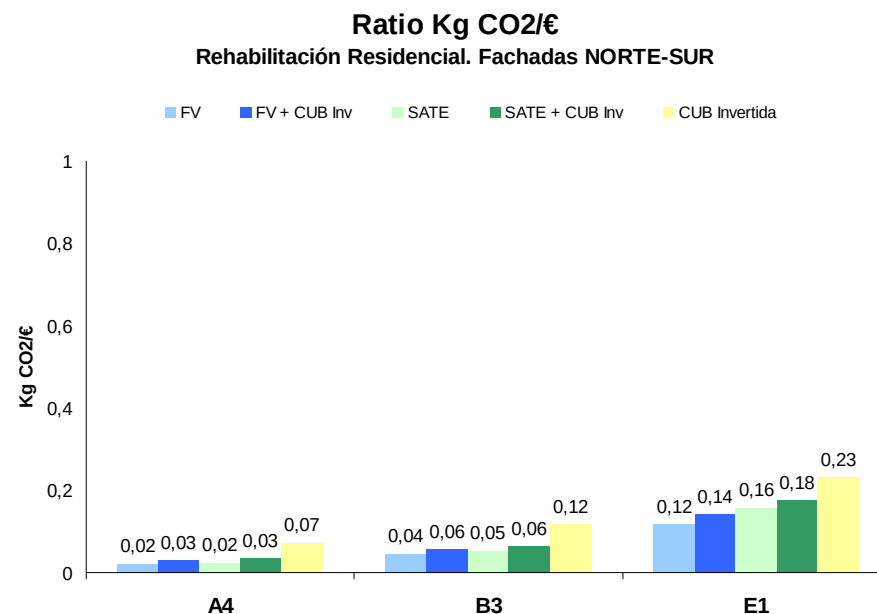
En los gráficos anteriores, se confirma que los periodos de amortización de los sistemas cerámicos para la rehabilitación de la envolvente del edificio, son menores en el edificio con fachadas orientadas a Este-Oeste y en particular en las zonas climáticas frías E1 (Soria), en las que se reducen considerablemente las demandas de calefacción anuales, debido principalmente a la incorporación de un espesor considerable de aislamiento térmico en el envolvente, siendo de 10 cm en fachadas y 14 cm en cubiertas.

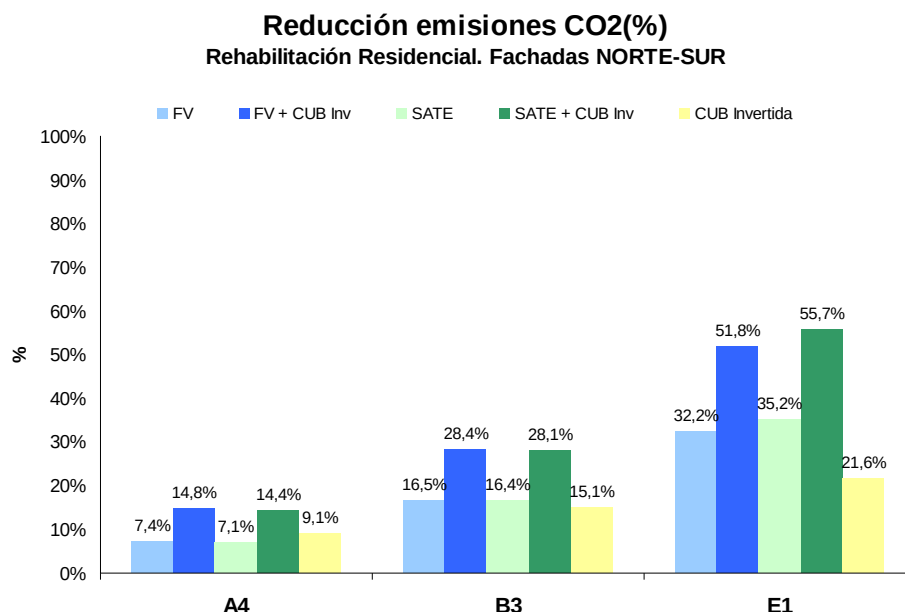
En las zonas climáticas frías E1 (Soria), se consiguen los periodos de amortización mas reducidos, como es el caso del sistema de Cubierta que se amortiza en un periodo de 13 años. El sistema de Cubierta es el que obtiene menores periodos de amortización en las distintas zonas climáticas, siendo inferior a 30 años en las zonas climáticas cálidas A4 y B3.

4.6.5 Evaluación ambiental de los diferentes sistemas

Se comparan los ratios de reducción de emisiones de CO₂ y de kWh por € invertido de la rehabilitación las fachadas y cubierta del edificio mediante los diferentes sistemas planteados.

4.6.5.1 Edificio con fachadas orientadas NORTE-SUR

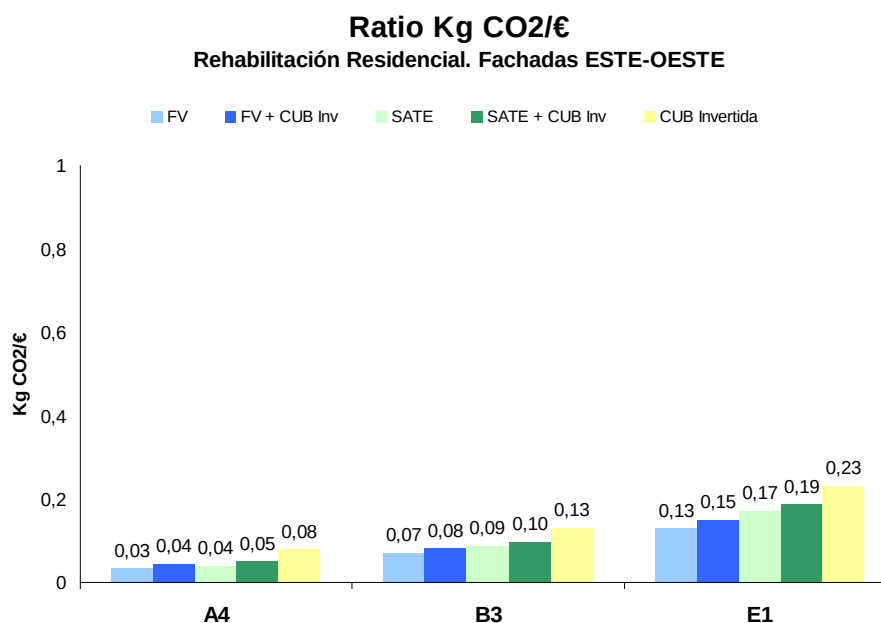


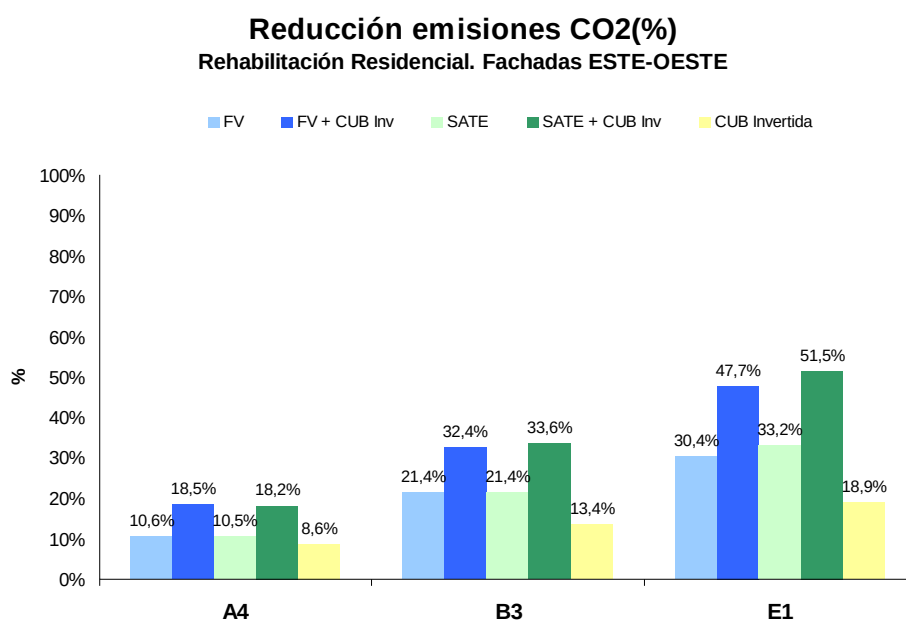
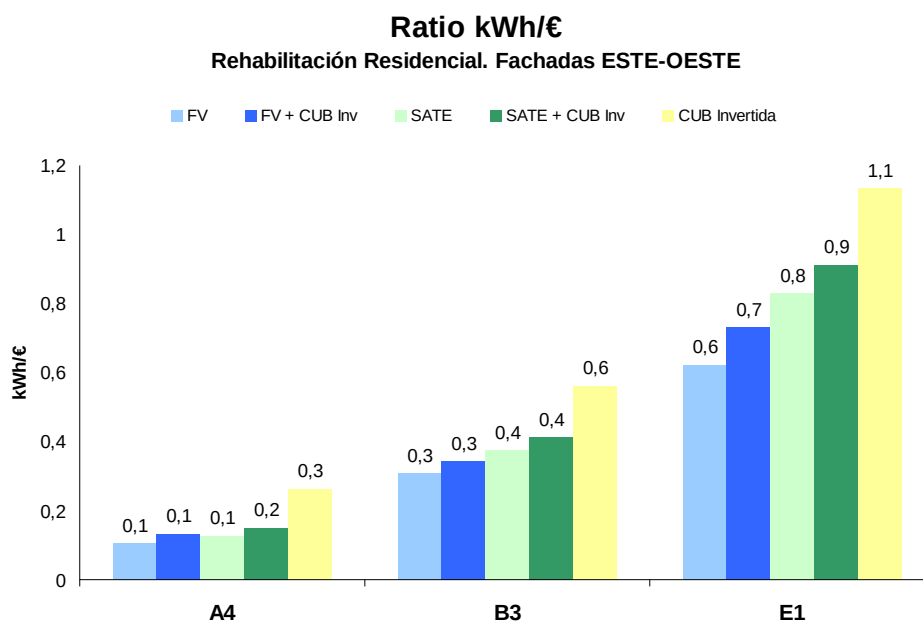


En el edificio con fachadas orientadas a Norte-Sur, los ratios de reducción de emisiones de CO₂ y kWh por € invertido, son más significativos en los edificios ubicados en zonas climáticas frías E1 (Soria), destacando el sistema de cubierta invertida, con el que se alcanza un ratio de kWh/€ superior a la unidad.

Respecto a la reducción de las emisiones de CO₂ de los sistemas analizados, en las zonas climáticas cálidas, la rehabilitación con los sistemas combinados de fachada ventilada y SATE más cubierta, se consigue duplicar la reducción de las emisiones, reduciéndose en un 14,8% en A4 (Almería) y un 28,4% en zona climática B3 (Castellón). En cambio, en la zona climática E1 (Soria), pueden alcanzarse reducciones de emisiones del CO₂ superiores al 50%.

4.6.5.2 Edificio con fachadas orientadas ESTE-OESTE





Por último, en el edificio con fachadas orientadas a Este-Oeste, al igual que en el caso anterior, es en la zona climática E1 (Soria) en la que se alcanzan mejores ratios de reducción de emisiones de CO₂ y kWh por € invertido, destacando el ratio kWh/€ obtenido para el sistema de cubierta invertida.

En las zonas climáticas cálidas A4 (Almería) y B3 (Castellón) se reducen en mayor medida las emisiones de CO₂, respecto al edificio con fachadas orientadas a Norte-Sur, consiguiendo una reducción del 18,5% con el sistema de fachada ventilada en A4 (Almería) y un 33,6% con el sistema SATE en zona climática B3 (Castellón). La disminución de emisiones de CO₂ en la zona climática E1 (Soria), es ligeramente inferior a la obtenida en el edificio con fachadas orientadas a Norte-Sur, obteniendo una reducción del 51,5% con el sistema SATE.

4.7 Resumen de los resultados

Se recogen las tablas con los resultados obtenidos en las simulaciones y en los cálculos desarrollados.

4.7.1 Tabla resumen del Edificio con fachadas orientadas NORTE-SUR

Zona climática	Sistema de Rehabilitación	Demanda Calefacción (kWh/m ²)	Demanda Refrigeración (kWh/m ²)	Reducción Calefacción (kWh/m ²)	Reducción Refrigeración (kWh/m ²)	Ahorros energéticos climatización (kWh/m ²)	Ahorros energéticos climatización (%)	Ahorro Energético anual (€)	Amortización (años)	Reducción emisiones (kg CO ₂)	Reducción emisiones CO ₂ (%)	Ratio % kg CO ₂ /€	Ratio % kWh/€
A4	Edificio residencial años 80	2,50	46,57										
	Rehabilitación con fachada ventilada	0,91	44,50	1,6	2,1	3,7	7,5%	310,6	51,0	1365,2	7,35%	0,02	0,06
	Rehabilitación con fachada ventilada + cubierta invertida	0,00	41,75	2,5	4,8	7,3	14,9%	606,9	44,0	2743,1	14,77%	0,03	0,08
	Rehabilitación con SATE	0,90	44,65	1,6	1,9	3,5	7,2%	301,2	48,0	1315,6	7,08%	0,02	0,07
	Rehabilitación con SATE + cubierta invertida	0,00	41,94	2,5	4,6	7,1	14,5%	592,2	42,0	2669,2	14,37%	0,03	0,09
	Rehabilitación con cubierta invertida	0,52	44,01	2,0	2,6	4,5	9,3%	386,2	29,0	1696,8	9,14%	0,07	0,22
B3	Edificio residencial años 80	11,35	37,35										
	Rehabilitación con fachada ventilada	4,56	35,90	6,8	1,5	8,2	16,9%	769,5	35,0	3026,5	16,54%	0,04	0,19
	Rehabilitación con fachada ventilada + cubierta invertida	0,63	33,98	10,7	3,4	14,1	28,9%	1296,7	31,0	5189,2	28,36%	0,06	0,23
	Rehabilitación con SATE	4,50	36,00	6,8	1,3	8,2	16,8%	767,7	32,0	3009,3	16,44%	0,05	0,24
	Rehabilitación con SATE + cubierta invertida	0,46	34,26	10,9	3,1	14,0	28,7%	1292,5	29,0	5146,4	28,12%	0,06	0,27
	Rehabilitación con cubierta invertida	5,64	35,57	5,7	1,8	7,5	15,4%	689,5	21,0	2757,8	15,07%	0,12	0,49
E1	Edificio residencial años 80	53,28	14,92										
	Rehabilitación con fachada ventilada	31,41	14,65	21,9	0,3	22,1	32,5%	2149,2	20,0	8086,0	32,21%	0,12	0,59
	Rehabilitación con fachada ventilada + cubierta invertida	18,63	13,97	34,6	0,9	35,6	52,2%	3444,3	18,0	13008,7	51,81%	0,14	0,70
	Rehabilitación con SATE	29,09	14,94	24,2	0,0	24,2	35,5%	2353,9	17,0	8826,0	35,15%	0,16	0,79
	Rehabilitación con SATE + cubierta invertida	15,39	14,54	37,9	0,4	38,3	56,1%	3716,9	15,0	13976,1	55,67%	0,18	0,87
	Rehabilitación con cubierta invertida	39,01	14,34	14,3	0,6	14,9	21,8%	1433,0	13,0	5429,9	21,63%	0,23	1,12

4.7.2 Tabla resumen del Edificio con fachadas orientadas NORTE-SUR

Zona climática	Sistema de Rehabilitación	Demanda Calefacción (kWh/m ²)	Demanda Refrigeración (kWh/m ²)	Reducción Calefacción (kWh/m ²)	Reducción Refrigeración (kWh/m ²)	Ahorros energéticos climatización (kWh/m ²)	Ahorros energéticos climatización (%)	Ahorro Energético anual (€)	Amortización (años)	Reducción emisiones (kg CO ₂)	Reducción emisiones CO ₂ (%)	Ratio % kg CO ₂ /€	Ratio % kWh/€
A4	Edificio residencial años 80	4,78	52,68										
	Rehabilitación con fachada ventilada	1,87	49,38	2,9	3,3	6,2	10,8%	531,1	42,0	2311,1	10,64%	0,03	0,11
	Rehabilitación con fachada ventilada + cubierta invertida	0,10	46,61	4,7	6,1	10,7	18,7%	912,4	37,0	4009,0	18,46%	0,04	0,13
	Rehabilitación con SATE	1,87	49,46	2,9	3,2	6,1	10,7%	524,9	38,0	2280,4	10,50%	0,04	0,13
	Rehabilitación con SATE + cubierta invertida	0,11	46,74	4,7	5,9	10,6	18,5%	901,1	35,0	3954,3	18,21%	0,05	0,15
	Rehabilitación con cubierta invertida	2,16	50,25	2,6	2,4	5,0	8,8%	437,0	27,0	1873,6	8,63%	0,08	0,26
B3	Edificio residencial años 80	20,15	40,82										
	Rehabilitación con fachada ventilada	9,43	38,26	10,7	2,6	13,3	21,8%	1236,3	28,0	4883,9	21,39%	0,07	0,31
	Rehabilitación con fachada ventilada + cubierta invertida	4,28	36,60	15,9	4,2	20,1	33,0%	1863,4	26,0	7397,0	32,40%	0,08	0,34
	Rehabilitación con SATE	9,41	38,30	10,7	2,5	13,3	21,8%	1235,5	25,0	4877,2	21,36%	0,09	0,38
	Rehabilitación con SATE + cubierta invertida	3,56	36,55	16,6	4,3	20,9	34,2%	1936,5	23,0	7675,5	33,62%	0,10	0,41
	Rehabilitación con cubierta invertida	13,45	39,18	6,7	1,6	8,3	13,7%	776,3	19,0	3070,2	13,45%	0,13	0,56
E1	Edificio residencial años 80	61,85	16,57										
	Rehabilitación con fachada ventilada	38,98	15,46	22,9	1,1	24,0	30,6%	2309,6	19,0	8768,8	30,38%	0,13	0,62
	Rehabilitación con fachada ventilada + cubierta invertida	25,74	15,00	36,1	1,6	37,7	48,0%	3632,6	17,0	13774,5	47,73%	0,15	0,73
	Rehabilitación con SATE	36,72	15,52	25,1	1,0	26,2	33,4%	2524,4	16,0	9568,3	33,16%	0,17	0,83
	Rehabilitación con SATE + cubierta invertida	22,62	15,10	39,2	1,5	40,7	51,9%	3928,5	15,0	14874,6	51,54%	0,19	0,91
	Rehabilitación con cubierta invertida	47,48	16,00	14,4	0,6	14,9	19,1%	1442,0	13,0	5463,2	18,93%	0,23	1,13

4.7.3 Conclusiones

Las simulaciones realizadas sobre el edificio tipo en las tres zonas climáticas (A4, B3 y E1), han permitido evaluar la contribución en la reducción de la demanda energética, de la rehabilitación de la envolvente del edificio mediante la incorporación de varios sistemas cerámicos. En base a los resultados obtenidos en las simulaciones y en los cálculos desarrollados, se extraen las siguientes conclusiones:

- Se ha comprobado que, en la rehabilitación de la fachada del edificio mediante el sistema de **fachada ventilada** o el sistema **SATE** se obtienen **reducciones** de las **demandas de climatización globales muy similares**, entre ambos sistemas, para las diferentes zonas climáticas. En concreto, con el sistema de fachada SATE se permite reducir en mayor medida las demandas de calefacción, mientras que con el sistema de fachada se obtienen mayores reducciones de la demanda de refrigeración en las zonas climáticas cálidas.
- La contribución en la **reducción de la demanda de climatización** de los sistemas de fachada ventilada y SATE, es mucho **más efectiva** en las **zonas climáticas frías** (E1), debido a la incorporación de grandes espesores de aislamiento, que permiten ahorros importantes en el consumo de energía para calefacción.
- En los resultados de las simulaciones, debido a la incorporación de elevados espesores de aislamiento en la rehabilitación de las fachadas para el cumplimiento de las exigencias del DBHE, se observa que **se minimiza el efecto** de la evacuación del calor por convección que se produce en la **cámara de la fachada ventilada**, obteniendo ligeras mejoras en la reducción de la demanda de refrigeración respecto al sistema SATE.
- Se ha validado que, la rehabilitación de la envolvente del edificio mediante la combinación de sistemas cerámicos para fachada y cubierta, permiten obtener importantes reducciones en las demandas de calefacción de las zonas climáticas frías (E1). Entre los sistemas cerámicos evaluados, destacan los resultados obtenidos para el la rehabilitación mediante el combinado del sistema SATE en fachada y la Cubierta invertida, obtenido **ahorros en la demanda de climatización, superiores al 50%**.
- La contribución de los sistemas en la reducción de las demandas de refrigeración, son significativos en las **zonas climáticas cálidas** (A4). En esta zona climática, mediante el sistema formado por la combinación de Fachada ventilada y cubierta invertida se pueden obtener **ahorros en las demandas de climatización, próximos al 20%**
- La rehabilitación mediante el sistema de **cubierta invertida**, permite **reducir considerablemente las demandas de calefacción**, siendo por tanto más interesante en la rehabilitación de edificios ubicados en zonas climáticas frías.
- A nivel general, el **periodo de amortización** de los distintos sistemas cerámicos, sin considerar la concesión de ayudas públicas, **oscila entre 50 y 13 años**, siendo el sistema de cubierta invertida el que se amortiza en el menor periodo en la zona climática fría (E1) y el sistema de Fachada ventilada el que requiere un periodo de amortización mas elevado en las zonas climáticas cálidas (A4).
- Se ha calculado que, los **periodos de amortización más bajos** se consiguen en las **zonas climáticas frías** (E1), al ser en estas zonas donde se obtienen mayores ahorros en el consumo de energía para calefacción. Los periodos en las zonas climáticas frías varían entre los 13 y los 20 años, en función del sistema evaluado.

- Respecto a la evaluación ambiental, el sistema que permite **reducir** en mayor medida **las emisiones de CO₂** es el sistema combinado de **fachada SATE con Cubierta invertida**, alcanzando reducciones **superiores al 50% en las zonas climáticas frías (E1)** y reducciones superiores **al 30% en zonas climáticas cálidas (B3)**.
- En base al análisis de la inversión y el coste del sistema, se ha obtenido que el sistema de **cubierta invertida** es el que permite alcanzar **mejores ratios** de reducción de **kWh/€** y **kgCO₂/€**.
- Se ha comprobado que las **demandas de calefacción y refrigeración** en las tres zonas térmicas estudiadas (A4, B3 y E1), son ligeramente **superiores en el edificio con fachadas orientadas a ESTE-OESTE** frente al edificio con fachada orientadas a NORTE-SUR.

En el periodo estival, el recorrido del sol alcanza mayor altura y con ello, la radiación solar directa incide con un ángulo menor sobre las fachadas del edificio. Este efecto, produce una reducción de la ganancia de radiación solar a través de las ventanas orientadas a Sur, en el edificio con orientación Norte-Sur, mientras que en el edificio con fachadas orientadas a Este-Oeste, aumentan las ganancias de radiación solar a través de las ventanas, durante las primeras horas del día en las ventanas de la fachada Este y a última hora del día en las de Oeste, ya que en estos periodos del día, el sol alcanza una altura menor, incidiendo la radiación solar con un ángulo próximo a los 90°.

Durante el periodo de invierno, el recorrido del sol alcanza una altura menor, por lo tanto, el efecto es diferente al obtenido en el periodo de verano. En este caso, las ganancias de radiación solar a través de las ventanas, son más importantes en la fachada Sur, al ser el ángulo de la radiación directa casi perpendicular a la fachada y coincidiendo con las horas centrales del día con mayor intensidad radiación. Por este motivo, durante el periodo invernal, la ganancia de radiación solar a través de las ventanas en el edificio con fachadas orientadas a Sur, es mayor que en el edificio con orientación Este-Oeste.

QUINTO BLOQUE. **CONCLUSIONES**

5	CONCLUSIONES	136
5.1	CONCLUSIONES PRINCIPALES.....	136
5.1.1	<i>Fortalezas de los sistemas cerámicos</i>	<i>136</i>
5.1.2	<i>Debilidades de los sistemas cerámicos.....</i>	<i>137</i>
5.2	ESTRATEGIAS DE MEJORA.....	138
5.2.1	<i>Fachadas ventiladas con aprovechamiento del aire caliente.....</i>	<i>138</i>
5.2.2	<i>Pavimentos permeables cerámicos.....</i>	<i>141</i>

5 CONCLUSIONES

La metodología seguida en este trabajo, basada en la búsqueda y el análisis de información, en la obtención de una herramienta comparativa y en el desarrollo de simulaciones, permite evaluar los sistemas y producto cerámicos en la rehabilitación, desde el punto de vista técnico, económico, energético y ambiental. En este punto se presentan las características más importantes en los productos y sistemas cerámicos, y se plantean una serie de estrategias para la mejora de los sistemas cerámicos evaluados.

5.1 Conclusiones principales

Durante el desarrollo del proyecto, se han ido incorporando las **conclusiones específicas** en cada uno de los bloques. En este punto, se resumen las conclusiones más relevantes obtenidas en el desarrollo de los diferentes bloques del proyecto, analizando las fortalezas y debilidades más significativas del material y de los sistemas cerámicos en la rehabilitación de revestimientos interiores, envolventes de los edificios y en la pavimentación urbana.

5.1.1 Fortalezas de los sistemas cerámicos

- El **material cerámico**, se caracteriza por su tradición y su carácter innovador, que permite obtener productos y sistemas con **mejores prestaciones técnicas y estéticas**, que otros materiales. Actualmente el material cerámico ofrece productos y sistemas muy competitivos para diferentes campos de aplicación (revestimientos interiores, envolventes, pavimentos urbanos) que lo convierten en un material muy adecuado para la rehabilitación.
- El material cerámico es un material con elevada durabilidad, que ofrece **vida útil de 50 años**, por ello, se consiguen **reducir los impactos ambientales** en la **etapa de uso y mantenimiento** del producto (limpieza, sustitución y reparación), respecto a otros materiales con una vida útil menor.
- En la rehabilitación de **pavimentos interiores**, los sistemas más interesantes en base a los resultados obtenidos en la comparativa, son los de **colocación en seco**, al ofrecer sencillez de instalación y mayor comodidad al usuario. En la rehabilitación de **revestimientos verticales interiores**, el sistema idóneo es el de **lámina delgada**, al permitir la rehabilitación sobre el soporte existente, reduciendo al mínimo el espacio interior del edificio.
- En la rehabilitación de **fachadas**, el sistema que ofrece **mejores prestaciones** técnicas, estéticas, de instalación y de mantenimiento es el **sistema de fachada ventilada cerámica**. Además los sistemas cerámicos ofrecen una **vida útil de 50 años**, garantizando la estética y prestaciones del material, mientras que en sistemas con materiales de acabado diferentes, esta vida útil se reduce considerablemente.
- En base a los resultados obtenidos en las simulaciones, la rehabilitación de las fachadas mediante el sistema de **fachada ventilada cerámica** o el sistema **SATE**, permiten obtener **importantes ahorros energéticos**, al reducir considerablemente la demanda de calefacción en zonas climáticas frías (E1). En concreto, el sistema SATE cerámico, mejora ligeramente la reducción de la demanda de calefacción frente a la fachada ventilada, principalmente en zonas climáticas frías y además ofrece periodos de amortización más bajos, al tener un coste más reducido que la fachada ventilada.
- En la evaluación de los **periodos de amortización en las zonas climáticas cálidas** (A4, B3), se observa que en los sistemas de fachada ventilada y SATE instalados en el edificio con fachadas orientadas a Este-Oeste se obtienen periodos de amortización que oscilan entre los 42 años (A4) y los 28 años (B3), mientras que en el edificio con

fachadas orientadas a Norte-Sur, los periodos aumentan hasta los 51 años (A4) y 35 años en (B3)

- En la comparativa entre sistemas para la rehabilitación de **cubiertas planas**, se aprecia que el sistema de **cubierta invertida con solado flotante** es el mejor valorado, al ofrecer una superficie transitable seca y sin pendientes, y mejorar el mantenimiento (facilidad de limpieza y registrabilidad), respecto al sistema de cubierta invertida con solado fijo.
- En los cálculos efectuados para la evaluación económica y ambiental, la rehabilitación del edificio con el sistema de **cubierta invertida cerámica**, ofrece los **periodos de amortización más bajos** (13 años en zona climática E1) y unos ratios de reducción de los kWh por € invertido muy interesantes. Por ello, la rehabilitación de la envolvente del edificio, **combinando los sistemas** de fachada ventilada y SATE con el sistema de cubierta invertida, permite reducir considerablemente las demandas en las zonas climáticas frías.
- Por último, en la comparativa de los sistemas de pavimentación urbana, se observa que los **pavimentos urbanos cerámicos**, ofrecen unas prestaciones técnicas y estéticas muy superiores respecto al pavimento de terrazo convencional.

5.1.2 Debilidades de los sistemas cerámicos

- Los sistemas de **colocación en seco**, instalados en pavimentos interiores, ofrecen **menor resistencia frente a la flexión y al impacto** que los sistemas cerámicos adheridos. Por otra parte, la rehabilitación de **revestimientos verticales** mediante el sistema de lámina delgada, **requiere de colocadores experimentados** en la instalación y de un soporte perfectamente nivelado.
- Aunque el sistema de **fachada ventilada** es el que ofrece mejores prestaciones en la rehabilitación de la envolvente, hay que destacar que debido a su elevado coste, los periodos de amortización en las zonas climáticas cálidas (A4 y B3) son muy elevados, llegando a **periodos de más de 50 años**.
- Debido a los dilatados periodos de amortización de la mayoría de los sistemas cerámicos evaluados, se considera fundamental que la **administración pública** apoye a través de **ayudas** como PAREER la rehabilitación de la envolvente de los edificios, ya que con este tipo de ayudas **se pueden conseguir reducciones del 33%** en el periodo de amortización.
- Los sistemas de **cubierta invertida con solado flotante**, son los que producen un **mayor impacto ambiental** durante su producción, al requerir emplear piezas cerámicas de mayores espesores que en el pavimento tradicional.
- De las valoraciones obtenidas en la comparativa, se concluye que aunque los **pavimentos urbanos cerámicos** ofrecen altas prestaciones técnicas y estéticas, la **complejidad del sistema de instalación** que requiere de mano de obra especializada, el **elevado coste del producto** y la **inexistencia de una estandarización** entre productos de diferentes empresas del sector, repercute negativamente en la incorporación de estos productos en el espacio urbano.

5.2 Estrategias de mejora

Tras el análisis de las fortalezas y debilidades aportadas por los sistemas cerámicos en la rehabilitación de edificios, se plantean una serie de estrategias con el objetivo de mejorar o desarrollar nuevos sistemas, que cubran las necesidades actuales o emergentes de los edificios o de los entornos urbanos, aumentando así su valor añadido y potenciando su incorporación en el mercado. Las estrategias que se plantean consisten en el desarrollo de:

- Paneles prefabricados para la rehabilitación revestimientos interiores, que incorporen el aislamiento y el material cerámico como acabado visto del revestimiento.
- Sistema prefabricado de fachada ventilada que permite el aprovechamiento del aire caliente de la cámara para cumplir con las renovaciones de aire exigidas por el dBHS, con el objetivo de reducir las demandas de calefacción.
- Sistema de fachada ventilada con enfriamiento evaporativo para climas cálidos y secos, que permite mejorar la reducción de la demanda de climatización del edificio.
- Sistema SATE prefabricado para la rehabilitación de la envolvente de los edificios.
- Sistema de cubierta prefabricado que incorpore la baldosa cerámica junto con el material aislante necesario.
- Sistema de pavimento estándar, que mejore el sistema de puesta en obra y garantice la compatibilidad entre formatos de distintas empresas, con el objetivo de garantizar a prescriptores y ayuntamientos las tareas de mantenimiento y reposición.
- Pavimentos urbanos permeables, que permitan el drenaje del agua de lluvia y se incorporen en los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDs).

A continuación, se describe con mayor detalle, la estrategia basada en el aprovechamiento del aire caliente de la fachada ventilada y la estrategia basada en el desarrollo de pavimentos cerámicos permeables para pavimentos urbanos, al considerarse que ambas estrategias son técnicamente viables y que pueden tener una salida comercial a corto/medio plazo.

5.2.1 Fachadas ventiladas con aprovechamiento del aire caliente

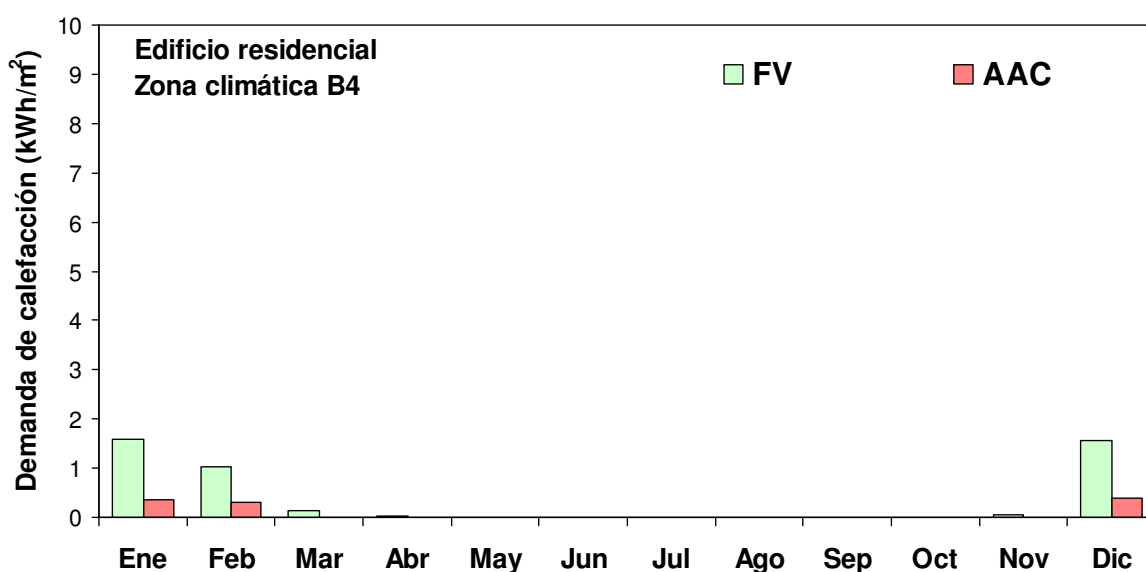
En el caso de la fachada ventilada, se propone el desarrollo de un sistema basado en el aprovechamiento del aire caliente de la cámara, cuyos beneficios han sido estudiados en diversos proyectos de investigación y publicados en diversas revistas científicas **(33) (34)**.

Las conclusiones obtenidas en el apartado anterior, muestran como la rehabilitación mediante el sistema de fachada ventilada permite obtener mejores resultados en las zonas climáticas frías, al reducir considerablemente la demanda de calefacción, debido al efecto del aislante incorporado. Si además, tenemos en cuenta, que la temperatura del aire de la cámara de la fachada ventilada aumenta considerablemente su temperatura, respecto a la temperatura del aire exterior, especialmente en invierno, el aprovechamiento de este aire precalentado como apoyo al sistema de ventilación del edificio, para cumplir con las exigencias de renovaciones de aire del dBHS3, se considera una oportunidad para aumentar la reducción del consumo energético del edificio, tanto en rehabilitación como en obra nueva.

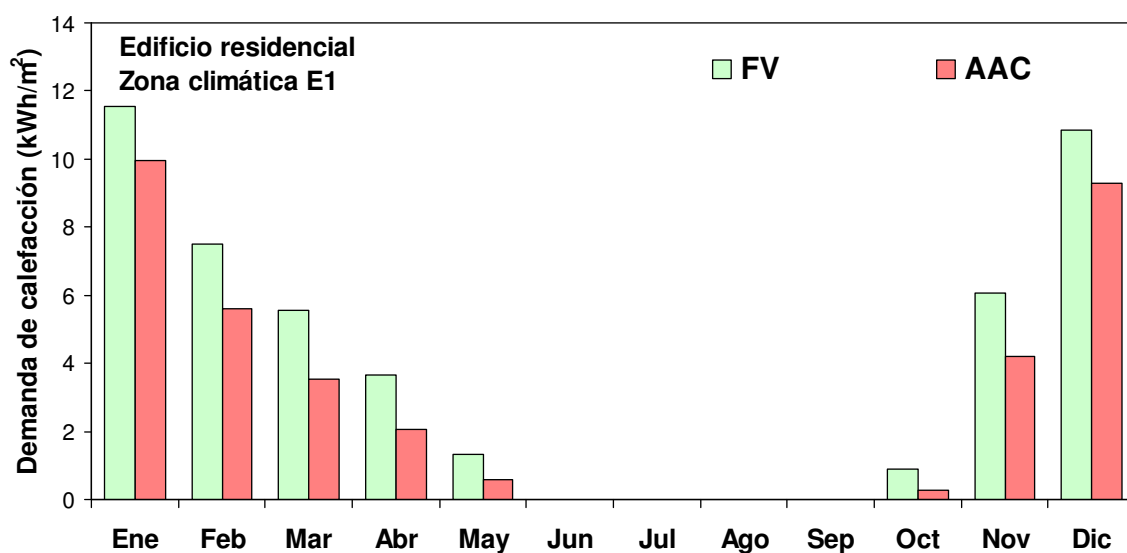
Con este sistema, la cámara ventilada se convertiría en un componente del sistema de ventilación del edificio, la cual se utilizaría para precalentar el aire a introducir en el edificio. Al ventilar el edificio con aire más caliente que el aire exterior, debería reducirse la demanda de calefacción. En este sistema, se plantea la circulación de aire forzada a través de la cámara, donde el sistema de ventilación establece el caudal que circula por la cámara, para cumplir con los requerimientos del CTE.

El sistema de ventilación puede ser colectivo o individual. En el caso de sistemas colectivos, el aire precalentado a través de la cámara ventilada se acumula en la cubierta del edificio y se incorpora como apoyo al sistema de ventilación mecánico (admisión y extracción mecánica), mientras que en el sistema individualizado, el aire precalentado se incorpora directamente a las estancias, en un sistema híbrido (admisión natural y extracción mecánica).

A continuación se muestran los resultados extraídos de los diversos estudios, en los cuales se realizaron simulaciones de la demanda energética de calefacción para un edificio tipo de obra nueva, incorporando en la fachada Sur el sistema de fachada ventilada con aprovechamiento de aire caliente (AAC), para dos zonas climáticas, Burgos (E4) y Sevilla (B4) y comparando estos resultados respecto a un sistema de fachada ventilada convencional.



Demandas de calefacción y refrigeración en zona climática B4. Fuente Simenergía-ITC

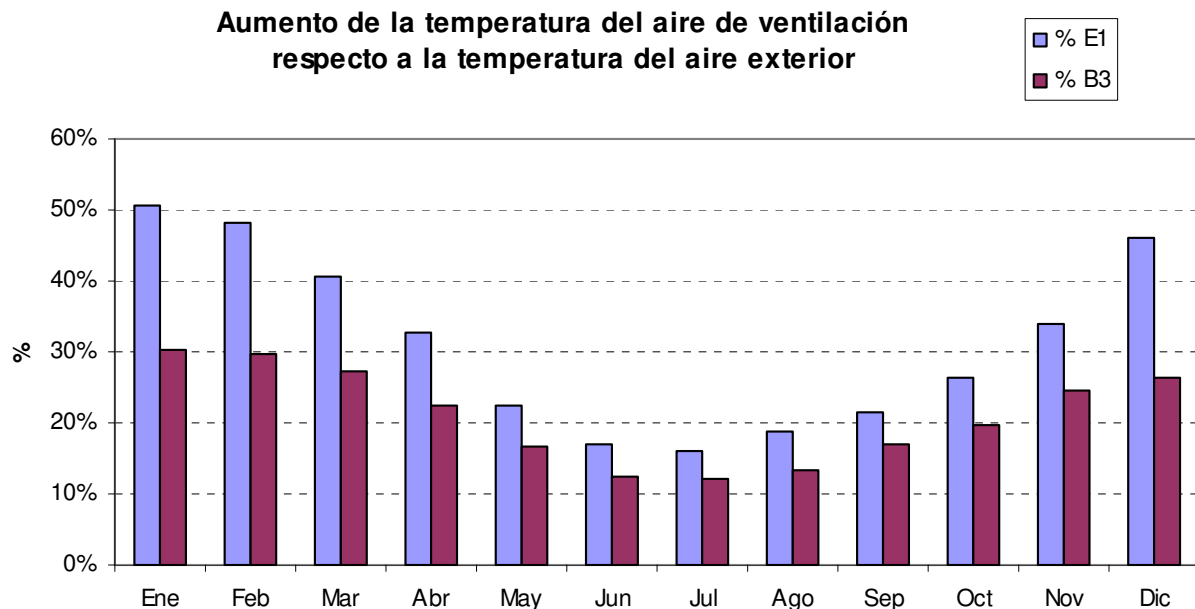


Demandas de calefacción en zona climática E1. Fuente Simenergía-ITC

Como se observa en los resultados, en una zona climática cálida, al incorporar el sistema de fachada ventilada con aprovechamiento de aire caliente se consiguen ahorros energéticos significativos, reduciendo casi por completo la demanda de calefacción global del edificio. Mientras que en una zona climática fría, este sistema permite reducir entre un 20 y 25% la

demanda de calefacción, aportando importante ahorros en el consumo energético de calefacción. Durante el periodo de verano, se considera que este sistema esta desactivado.

Por último, se muestra un gráfico con los incrementos en % de la temperatura del aire en el interior de la cámara, respecto al aire exterior.



Aumento en % de la Tª del aire de ventilación. Fuente Simenergía

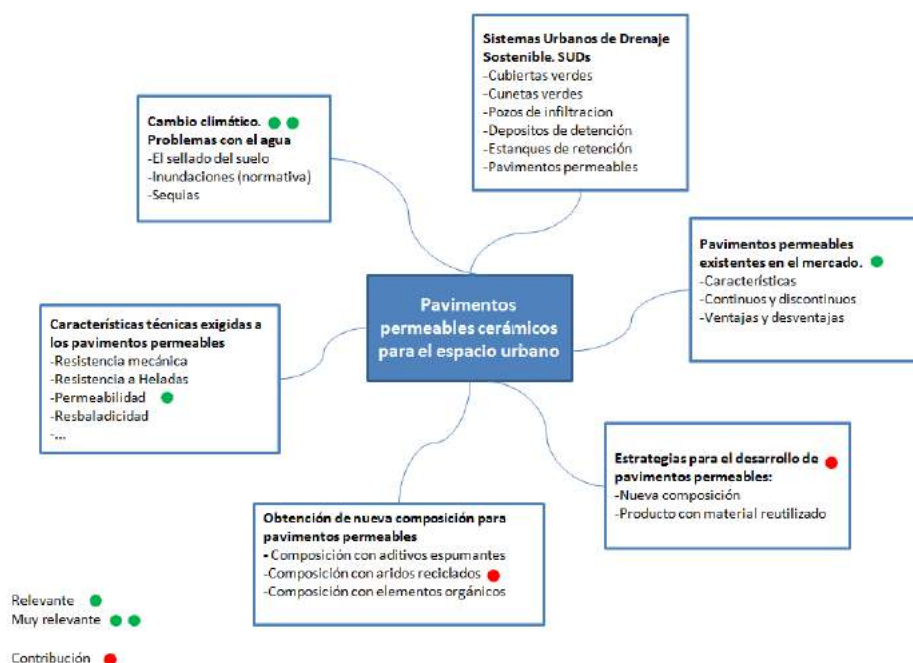
En el gráfico, se aprecia como en la zona climática fría (E1), se obtienen diferencias importantes entre la temperatura del aire en el interior de la cámara y el aire exterior, mientras que en la zona climática cálida (B3) estos incrementos son menos significativos. El aumento de la temperatura del aire en la cámara, respecto a la temperatura del aire exterior, se produce principalmente durante los meses de Noviembre a Marzo, debido a que la temperatura exterior es mas baja y la radiación solar incide con un ángulo casi perpendicular sobre las piezas de la fachada ventilada.

5.2.2 Pavimentos permeables cerámicos

La segunda propuesta de mejora, consiste en el desarrollo de pavimentos cerámicos permeables, cuya aplicación puede ir dirigida a:

1. Cubiertas Planas transitables. Formada por una baldosa porosa con aislamiento rígido incorporado.
2. Pavimentos urbanos permeables integrados en Sistemas urbanos de drenaje Sostenibles (SUDs).

En el siguiente diagrama se muestran de forma esquemática los condicionantes que estimulan el desarrollo pavimentos permeables, abriendo un nuevo nicho de mercado para el sector cerámico:



A continuación se describen los condicionantes más relevantes para el desarrollo de esta estrategia.

5.2.2.1 Problemática del cambio climático

Según el Plan Nacional de adaptación al cambio climático (35), el **Cambio Climático** en España se expresa con una tendencia general, al aumento de temperatura y a la disminución de la precipitación, lo cual dará lugar a los siguientes efectos:

- Reducción en la disponibilidad hídrica general. Estimaciones previas para el total de España con horizonte del 2030, considerando aumentos de 1°C de temperatura y reducciones de un 5% de precipitación.
- Se prevé una especial incidencia en las zonas áridas y semiáridas (aproximadamente el 30% del territorio nacional), donde las aportaciones pueden disminuir hasta un 50%.
- La variabilidad hidrológica aumentará en las cuencas atlánticas, mientras que, en las cuencas mediterráneas y del interior la mayor irregularidad del régimen de precipitaciones ocasionará un aumento en la irregularidad del régimen de crecidas y de crecidas relámpago o torrenciales.

Si bien los diversos escenarios de cambio climático prevén para España en general y para el mediterráneo en particular disminuciones de los valores medios de precipitación anual, prevén igualmente un **aumento de la torrencialidad**. Todo ello se traduce en menos episodios lluviosos al año pero con intensidades de precipitación mayores. Las consecuencias son por tanto un **aumento del riesgo de sequía** (menos recursos) a la vez que se produce un **aumento del riesgo de episodios torrenciales y por tanto de inundaciones**.

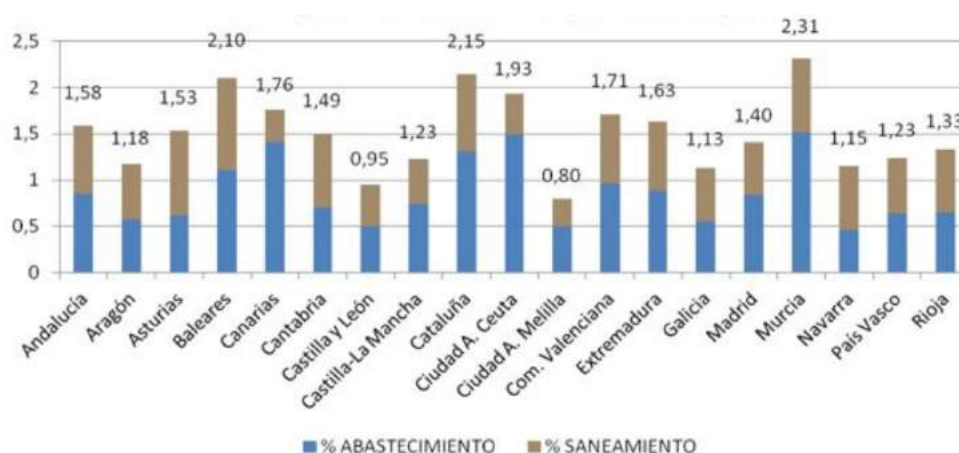
Para una mejor gestión del problema derivado de la escasez (**sequía**) o exceso (**inundaciones**) de agua en entornos urbanos, se deben poner en práctica sistemas que permitan el almacenamiento de agua para su posterior reutilización para paliar la primera, toda vez que mitiguen o reduzcan la rápida respuesta hidrológica ante eventos de lluvia torrencial para hacer sistemas más resilientes a las inundaciones.

En ese sentido, los **Sistemas urbanos de Drenaje Sostenible**, y en particular los **pavimentos permeables**, ayudan a conseguir estos objetivos. En período de lluvias, permiten una menor producción de escorrentía por cuanto fomentan la infiltración al terreno subyacente a la vez que almacenan temporalmente el exceso en la estructura porosa de la base y sub-bases del mismo. Esto se traduce en un menor volumen de escorrentía que alcanzará finalmente el punto final del sistema, y un menor tiempo de respuesta, por tanto con caudales pico de avenida menores. Por otra parte, el excedente de agua almacenada que no acabe rebosando a la red de colectores o al medio receptor puede ser almacenado en aljibes o pequeños depósitos enterrados para su posterior reutilización para riego de jardines o limpieza de calles, lo que reduce el uso de agua de la red.

En el sector cerámico, se han realizado proyectos de investigación relacionados con la porosidad o permeabilidad de las piezas cerámicas, cuyos resultados pueden servir como punto de partida para la obtención de pavimentos cerámicos permeables.

5.2.2.2 Incremento del coste del agua

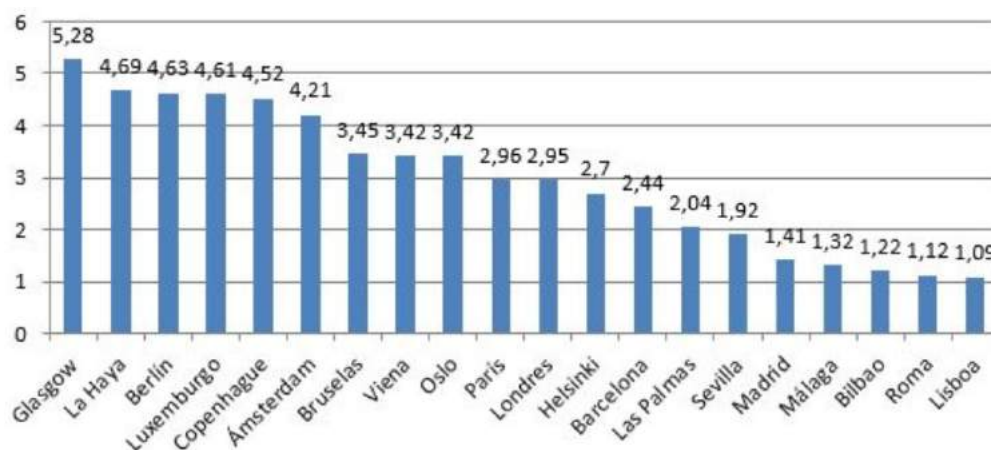
Por otra parte, según el estudio AEAS-AGA 2013 (36), En España, el precio del agua aumentará en los próximos años, ya que las tarifas que se plagan actualmente no cubren los costes de los servicios de agua urbana. Entre algunos de los datos que se recogen en el estudio, destaca que los precios del agua a nivel nacional son muy dispares, existiendo importantes diferencias entre provincias y Comunidades autónomas, como se observa en la siguiente gráfica:



Estas diferencias entre áreas geográficas obedecen a factores de disponibilidad, calidad, proximidad de los recursos hídricos, procesos, técnicas y costes necesarios para la potabilización y depuración del agua, pero también a la incorporación de los diferentes cánones autonómicos. Como ejemplo, las comunidades autónomas que ofrecen un coste más reducido del agua son Melilla y Castilla y León (precios de 0,80€/m³), mientras que las más caras son Murcia y Cataluña (precio de 2,30€/m³).

El precio medio del agua para uso doméstico es de **1,59€/m³**, del que 0,92€ corresponde al servicio de abastecimiento y 0,67€ al de saneamiento (alcantarillado y depuración de aguas residuales), sin incluir IVA.

En contraste con los datos de las comunidades y provincias españolas, las ciudades europeas pagan unos precios considerablemente más altos por el servicio del agua urbana. Podemos comparar los 1,22 €/m³ de Bilbao con los 5,28 €/m³ de Glasgow o los 4,69€/m³ de La Haya o 4,63€/m³ de Berlín, como se observa en el siguiente gráfico.



5.2.2.3 Sistemas urbanos de drenaje Sostenible (SUDs)

El desarrollo urbano sostenible engloba una serie de técnicas específicas de drenaje urbano que se conocen como: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (**SUDs**). Los SUDs son un amplio abanico de soluciones que permiten afrontar el planeamiento, diseño y gestión de aguas pluviales en entornos urbanos dando tanta importancia a los aspectos medioambientales, paisajísticos y sociales como a los hidrológicos e hidráulicos.

Los objetivos de los SUDs se podrían resumir en los siguientes aspectos:

- Proteger los sistemas naturales.
- Integrar el tratamiento de las aguas de lluvia en el paisaje.
- Proteger la calidad del agua.
- Reducir volúmenes de escorrentía y caudales punta
- Incrementar el valor añadido minimizando coste.

Existen diversas tipologías de SUDs, entre las que podemos destacar las siguientes:

- **Superficies Permeables:** Los pavimentos permeables son un subconjunto importante y ampliamente estudiado de superficies permeables dentro de los SUDs, que permiten el paso del agua a su través, abriendo la posibilidad a que ésta se infiltre en el terreno o bien sea captada y retenida en capas sub-superficiales para su posterior reutilización o evacuación.
- **Cubiertas vegetales:** Sistemas multicapa con cubierta vegetal que recubren tejados y terrazas de todo tipo.
- **Franjas Filtrantes:** Franjas de suelo con vegetación, anchas y con poca pendiente, localizadas entre una superficie dura y el medio receptor de la escorrentía.
- **Pozos y Zanjas de Infiltración:** Pozos y zanjas poco profundos (1 a 3 m) rellenos de material drenante (granular o sintético), a los que vierte escorrentía de superficies impermeables contiguas.

- **Drenes Filtrantes o Franceses:** Zanjas poco profundas rellenos de material filtrante (granular o sintético), con o sin conducto inferior de transporte, concebidas para captar y filtrar la escorrentía de superficies impermeables contiguas con el fin de transportarlas hacia aguas abajo.
- **Cunetas Verdes:** Estructuras lineales vegetadas de base ancha (> 0,5 m) y talud tendido (< 1V:3H) diseñadas para almacenar y transportar superficialmente la escorrentía.
- **Depósitos de Infiltración:** Depresiones del terreno vegetadas diseñadas para almacenar e infiltrar gradualmente la escorrentía generada en superficies contiguas)
- **Estanques de Retención:** Lagunas artificiales con lámina permanente de agua (de profundidad entre 1,2 y 2 m) con vegetación acuática, tanto emergente como sumergida.
- **Humedales:** Similares a los anteriores pero de menor profundidad y con mayor densidad de vegetación emergente, aportan un gran potencial ecológico, estético, educativo y recreativo.

5.2.2.4 Pavimentos permeables

Un subconjunto importante y ampliamente estudiado de los SUDS, son los pavimentos permeables, que permiten el paso del agua a su través, abriendo la posibilidad a que ésta se infiltre en el terreno o bien sea captada y retenida en capas sub-superficiales para su posterior reutilización o evacuación.

Los antecedentes de los firmes permeables se remontan fundamentalmente a la década de 1970. Desde entonces han sido múltiples los trabajos de investigación desarrollados en varios países que han dado lugar a monografías y manuales específicos.

Existen múltiples criterios de agrupación para la clasificación de los firmes permeables, Pratt et al (2002), Ferguson (2005), McCormack (2006) o el departamento de transportes de California (Caltrans, 2007), entre otros. Para introducir los diferentes pavimentos existentes en el mercado, se tomará como referencia la clasificación realizada por Jorge Rodríguez en su tesis doctoral (37), que distingue entre pavimentos permeables **discontinuos** y **continuos**.

Los pavimentos permeables **discontinuos** se definen como aquellos formados por elementos o materiales impermeables que, combinados o no con materiales porosos, permiten la infiltración del agua a través de huecos, espacios o ranuras de la superficie, asegurando una adecuada capacidad portante. Algunos ejemplos representativos de este tipo de pavimentos son los adoquines con ranuras o juntas abiertas. Mientras que los pavimentos permeables **continuos** se definen como aquellos formados únicamente por materiales porosos que permiten la infiltración del agua a través de toda la superficie por igual, asegurando una adecuada capacidad portante. Algunos ejemplos de este tipo de pavimentos son los hormigones porosos o mezclas bituminosas.

Pavimentos permeables discontinuos	Pavimentos permeables continuos
<u>Elevada porosidad</u> Hormigones aligerados Cerámica + conglomerante Áridos + ligante sintético	<u>Elevada porosidad</u> Hormigones aligerados Mezcla bituminosa porosa Áridos + ligante sintético Áridos con ligante sintético
<u>Baja o nula porosidad</u> Hormigones aligerados Cerámicos Plásticos	

Los materiales empleados con mayor frecuencia en este tipo de superficies son: césped, grava, rejillas de césped de plástico y rejillas de césped de hormigón, pavimentos de hormigón permeables y asfalto poroso.

Las **principales ventajas** que ofrecen los pavimentos urbanos permeables son las siguientes:

- Aumentan el porcentaje de superficie permeable en las ciudades minimizando así el riesgo de inundaciones.
- Reducen la contaminación difusa evitando problemas en las depuradoras y en los hábitats receptores.
- Permiten la recarga de acuíferos o la reutilización del agua almacenada en su interior para cisternas o riego de jardines.
- Ofrecen un acabado estético de calidad y además evitan la formación de charcos aumentando la comodidad y la seguridad de las calles en tiempo de lluvia.

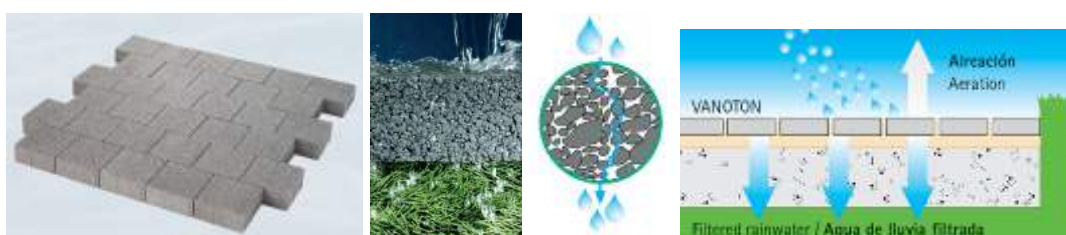
Los **principales inconvenientes** de los firmes permeables son:

- La colmatación que pone en peligro su funcionalidad (perdida de permeabilidad, que requiere un mantenimiento constante de limpieza con agua a presión y aspirado de los pavimentos)
- La degradación de los materiales que amenaza su durabilidad y la falta de capacidad portante y fallo estructural de la estructura de firme.
- Desconocimiento y desconfianza.

Entre los **pavimentos permeables existentes en el mercado**, los materiales empleados con mayor frecuencia en proyectos de urbanización son los hormigones porosos. A continuación se muestran las características dos pavimentos filtrantes de hormigón, uno enfocado a la pavimentación de espacios urbanos y otro su aplicación en terrazas y cubiertas. También se muestra como ejemplo un pavimento permeable cerámico experimental, resultado de un proyecto de investigación.

• **Adoquín permeable (Vanoton)**

Es un adoquín poroso permeable al agua y al aire, capaz de pavimentar espacios urbanos ofreciendo una superficie duradera y uniforme sin sellarla. El agua se filtra directamente a través del adoquín y puede ser conducida a las zonas ajardinadas como riego, evitando la escorrentía en periodos de fuertes lluvias.



Imágenes adoquín permeable. Vanoton

Las características principales del adoquín “vanoton” son las siguientes:

Características	valores
Capacidad de filtración	60-150 l/s-ha
Dimensiones	20,8x17,3x7cm
Masa por unidad	4,8 Kg
Piezas por m2	27
Densidad	1850 g/cm2
Resistencia al desgaste	Mayor o igual a 20mm
Resistencia al deslizamiento	Mayor o igual a 45 USRV

• **Baldosa filtrante “Arliblock”** (Previsa)

Las baldosas filtrantes de previsa, enfocadas a su aplicación en terrazas o cubiertas transitables, tienen la facultad de absorber una gran cantidad de agua en un instante, manteniendo secas las terrazas (sin agua en superficie incluso lloviendo), graduando la salida de agua lentamente, además de ser antideslizantes.

Estas baldosas se comercializan de dos formatos 500x500mm o de 600x600mm y existen dos tipologías para cada uno de los formatos. La primera consiste en una baldosa porosa de hormigón de 40mm de espesor, mientras que la segunda tipología, consiste en una baldosa porosa de hormigón que lleva incorporada una capa de aislamiento t (poliestireno expandido o extrudido), que puede ser de 40mm o de 100mm. Este producto, último producto, denominado “Arliblock” se convierte en una solución muy viable en la rehabilitación de cubiertas planas transitables, gracias a sus prestaciones, facilidad de instalación y bajo coste. Las dimensiones de estos productos pueden ser de y los espesores varían entre 80mm (cuando el espesor del aislamiento es de 40mm) y 100mm (cuando el espesor del aislamiento es de 60mm).



Imágenes baldosa filtrante “Arliblock”

5.2.2.5 Técnicas para desarrollar un pavimento permeable

En el sector cerámico se está trabajando en proyectos relacionados con la porosidad o permeabilidad de las piezas cerámicas, cuyos resultados pueden servir como punto de partida para la obtención de pavimentos cerámicos permeables. Como ejemplo, comentar las espumas cerámicas o los soportes de baja densidad que se han recopilado en el segundo bloque del proyecto. A partir de la información recopilada, se plantean las siguientes técnicas para el desarrollo de pavimentos permeables cerámicos:

1. Nueva composición con aditivos espumantes. Esta estrategia se basará en la obtención de porosidad a través de las reacciones químicas que se producen durante el proceso de cocción del material cerámico.
2. Nueva composición con estructuras volátiles. Esta estrategia se basará en la obtención de porosidad o huecos que se produce durante la cocción de productos orgánicos.
3. Proceso de conformado de la pieza que permita la obtención de huecos. Se basará en el empleo de un proceso de conformado de la pieza que permita desarrollar un geometría o diseño que garantice la permeabilidad del producto.
4. Nueva composición con reutilización de material cerámico. Se plantea una estructura y composición del pavimento similar a la de los pavimentos permeables de hormigón poroso mediante el empleo de “chamota” (a modo de áridos) y “barbotina” (como ligante). Esta última estrategia se considera que técnica y económicamente puede ser una solución viable, al emplear técnicas y procesos de conformado existentes en el sector cerámico. Además, el producto obtenido, al estar basado en el empleo de material cerámico reutilizado, tendría un impacto ambiental reducido.

BIBLIOGRAFÍA

PRIMER BLOQUE

[1]. Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética (PNAEE 2014-2020).

SEGUNDO BLOQUE

[2]. Fundamentos: Cerámica para la Arquitectura. Castellón: ASCER; ITC, 2009.

[3]. Revestimientos cerámicos de altas prestaciones para el recubrimiento de fachadas. Aplicación de las baldosas cerámicas al recubrimiento de fachadas. Informe C010465.TAU Cerámica.

[4]. LIFECERAM. Zero-waste in ceramic tile manufacture. LIFE2012.UE. LIFE+ Environment Policy and Governance Programme. <http://www.lifeceram.eu/>

[5]. "Análisis de ciclo de vida y reglas de categoría de producto en la construcción. El caso de las baldosas cerámicas". G. Benveniste, C. Gazulla, P. Fullana, I. Celades, T. Ros, V. Zaera, B. Godes. Informes de la Construcción. Vol.63,522,71-81, enero-marzo 2011.

[6]. Herramienta informática Solconcer. (www.solconcer.com).

[7]. Proyecto Europeo InEDIC. Innovation and Ecodesign in the Ceramic Industry. 2011.

[8]. Geopolytile. "Eco-desarrollo de baldosas cerámicas obtenidas por geopilimerización". Qualicer 2010.

[9]. Determinación de la función fotocatalítica de recubrimientos sobre soporte cerámico. Artículo Cerámica y vidrio. M.C Bordes, A.Moreno, E.Bou, V.Sanz.

[10]. COOL-COVERINGS (Development of a novel and cost-effective range of nanotech-improved coatings to substantially improve NIR properties of the building envelope).

[11]. Boletín de la sociedad española de Cerámica y vidrio. "Esmaltes permeables al vapor para techos cerámicos" Vol 54, N° 2 (2015) - Marzo / Abril.

[12]. "Espumado de suspensiones arcillosas. Influencia de la reología sobre la microestructura y propiedades mecánicas". Qualicer, Castellón, 2010 A.Saburit, J.Garcia Ten, C.Moreda, P.Agut.

[13]. "Diseño y optimización de aplicaciones arquitectónicas con productos cerámicos: Reutilización y reciclado de productos obsoletos o deshechos de fabricación para la generación de nuevos productos". Ref. IMIDIC/2010/73. 2010.

TERCER BLOQUE

[14]. Guía de la baldosa cerámica. Instituto Valenciano de la Edificación Valencia, 6ª edición, Septiembre 2011.

[15]. Fachadas ventiladas y pavimentos técnicos: cerámica para la arquitectura. Castellón: ASCER; ITC, 2009.

[16]. Guía. "Sistemas de Aislamiento térmico Exterior (SATE) para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios". IDAE. Madrid, abril 2012.

[17]. La fachada ventilada con ladrillo caravista. Ignacio Paricio y Cristina Pardal.

[18]. "Manual de instalación en aplicaciones especiales de recubrimiento s cerámicos". Carnet profesional Alicatador Solador. Nivel 2. PROALSO (asociación profesional de Alicatadores/Soladores)

[19]. La cubierta aislada. Soluciones flexibles y duraderas con poliestireno extruido (XPS). AIPEX

[20]. Artículo Qualicer 2014. "Tejidos cerámicos. Una nueva oportunidad arquitectónica para la cerámica." Vicente Sarrablo. Universitat Internacional de Catalunya.

[21]. Guía de la baldosa de terrazo. IVE.2009.

CUARTO BLOQUE

- [22]. B GRIFFITH. A Model for Naturally Ventilated Cavities on the Exteriors of Opaque Building Thermal Envelopes. SimBuild 2006, Second National IBPSA-USA Conference, 2-4 August 2006, Cambridge, Massachusetts.
- [23]. “Contribución de la Fachada Ventilada a la demanda energética de un Edificio”. Qualicer 2012. Emilie Bannier, Vicente Cantavella, Gonzalo Silva, José Manuel Pinazo, Victor Manuel Soto, Emilio Sarabia.
- [24]. Documentación del programa EnergyPlus. User guides. Engineering references. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_documentation.cfm.
- [25]. Proyecto SimEnergía IMDEEA/2012/83 desarrollado por el ITC. Financiado por el Institut Valencià de Competitivitat Empresarial (IVACE) a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional.
- [26]. Catálogo de soluciones constructivas de rehabilitación. Instituto Valenciano de la Edificación (IVE). Generalitat Valenciana. Abril, 2011.
- [27]. Documento Básico HE. Ahorro de Energía. Septiembre 2015. Código Técnico de la Edificación.
- [28]. Condiciones de aceptación de Procedimiento alternativos a LIDER y CALENER. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Madrid, mayo 2009.
- [29]. <https://www.openstudio.net/>
- [30]. Eurostat Newsrelease. 92/2015 “Energy prices in the EU” 27 Mayo 2015
- [31]. Análisis económico de las actuaciones de rehabilitación” de D.José Babiloni. Jornadas de Rehabilitación Castelló Renova’t. Marzo 2015.
- [32]. Generador de precios cype. Base de datos de la construcción.

QUINTO BLOQUE

- [33]. “Use of hot air from the ventilated ceramic façade as heating system input”. Energy Forum 2014
- [34]. “Cuantificación de la mejora de la eficiencia energética con sistemas innovadores basados en fachadas ventiladas”. CIC. Centro informativo de la construcción. Arquitectura y Sostenibilidad. Enero-Febrero 2015.
- [35]. Oficina española del cambio climático. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, PNACC. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2009
- [36]. <http://www.iagua.es/noticias/economia/13/12/11/estudio-aeas-aga-2013-%C2%BFque-precio-pagan-los-usuarios-del-servicio-del-ciclo-integral-de-agua-en-esp>
- [37]. Jorge Rodríguez Hernández. Estudio, análisis y diseño de secciones permeables de firmes para vías urbanas con un comportamiento adecuado frente a la colmatación y con la capacidad portante necesaria para soportar tráfico ligero. Universidad de Cantabria, 2008.
-

ANEXOS

Existen una serie de archivos auxiliares que han servido para la realización de este trabajo y que encuentran en el CD adjunto;

- Anexo 1; Archivo Excel con la herramienta que permite la comparativa entre sistemas, en base a la escala de ponderación e indicadores valorados de forma cualitativa y cuantitativa.

- Anexo 2; Datos impactos ambientales BEDEC

- Anexo 3; Archivo Excel con los siguientes datos:

 - Resultados de las simulaciones,

 - Cálculo de ahorros energéticos y reducciones de demandas

 - Cálculo de los periodos de amortización y gráficas

 - Cálculo de reducción de emisiones de CO₂

 - Cálculo de los ratios kWh/€ y kgCO₂/€.

 - Descompuesto de precios de los sistemas cerámicos evaluados



“El material cerámico en la Rehabilitación”

Castellón, Noviembre de 2015