

DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF MODULARS CERAMIC AND METAL ELEMENTS IN VERTICAL GARDEN AND VENTILATED FACADES IN BUILDINGS

Pérez Andreu, Víctor ¹; Aparicio Fernández, Carolina ²; Castilla, Francisco ¹; Vivancos Bono, José Luis ²

¹ Universidad de Castilla La Mancha, ² Universitat Politècnica de València

A modular system based on ceramic elements for the construction of ventilated facades which allows to develop vertical gardens of plant species is presented. The aim is to transfer the temperature and humidity of the soil and plants, provided through the ceramic containers envelope proposed system, lowering the temperature of the chamber and thus the air content can be exploited to the air conditioning of the building. The previous phases of design and prototyping have been developed. At present, phases of testing and monitoring results are testing, in order to characterize and achieve system efficiency. For this study physical behaviour of a prototype is being monitored. This study intends to contribute to technological development of green facades systems within the strategy to achieve greater environmental efficiency of buildings.

Keywords: Building; modelization; monitorization; façade

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS MODULARES CERÁMICOS Y METÁLICOS PARA FACHADAS AJARDINADAS Y VENTILADAS DE EDIFICIOS

Se presenta un sistema de envolvente construido con contenedores de sustrato cerámicos y modulados utilizados como un revestimiento de fachada ventilada y ajardinada. Se considera que la temperatura y la humedad propia del sustrato y de las plantas se transferirá a la cámara de aire, a través de las paredes de las jardineras, haciendo descender su temperatura y así posibilitar el aprovechamiento del aire contenido para la climatización de espacios del edificio.

Se han realizado las fases previas de diseño, y construcción de prototipos. Actualmente se ha iniciado la realización de ensayos con la finalidad de caracterizar la eficiencia del sistema. Para ello se están utilizando técnicas de simulación energética y fluidomecánica, y se monitoriza el comportamiento físico de un prototipo.

Este estudio pretende contribuir al desarrollo tecnológico de sistemas de fachadas verdes, dentro de la estrategia de alcanzar mayor eficiencia medioambiental de los edificios.

Palabras clave: Edificación; modelización, monitorización; fachada

1. INTRODUCCIÓN.

La tecnología empleada en fachadas ventiladas ha permitido desarrollar fachadas con jardines verticales sobre los cuales analizamos el comportamiento térmico de la cámara de aire ventilada y la comparamos con un sistema de fachada ventilada con revestimiento de piedra. Se presentan dos sistemas para la instalación de jardinería vertical que se desarrollan priorizando prestaciones arquitectónicas y medioambientales básicas frente a la espectacularidad estética, la complejidad y la especialización de algunos de los montajes actualmente utilizados y que, a juicio de los autores, dificultan la generalización de esas instalaciones por un elevado coste. Para desarrollar sistemas de jardinería vertical integrada en los edificios, caracterizados adecuadamente y manteniendo unos costes de instalación y mantenimiento que permitan su amortización, es clave demostrar que los beneficios de estos sistemas sean aprovechables en la estrategia de la reducción del impacto medioambiental de edificios nuevos y existentes.

1.1. La eficiencia medioambiental de los edificios en el contexto del cambio climático.

Las previsiones del cambio climático y la escasez de recursos energéticos fósiles exigen un cambio urgente de los modelos de habitar. La adaptación de la vivienda al cambio de paradigma implica una reducción controlada del impacto medioambiental de su producción, utilización y mantenimiento. Para alcanzar tecnológicamente este objetivo desde una perspectiva local, será preciso disponer herramientas y bases metodológicas contrastadas, útiles y eficaces para los profesionales del sector, adaptadas a cada lugar.

Según proyecciones futuras de cambio climático en la región mediterránea tendrá lugar un incremento de temperatura superior a la media global y más pronunciada en los meses estivales que en los invernales. Para el escenario RCP8.5 y para mediados del siglo XXI, la región mediterránea experimentará incrementos medios de temperatura de 2,2°C y de 3,3°C en los meses invernales y estivales, respectivamente.

Tabla 1. Previsión de aumento de temperaturas en regiones mediterráneas para el año 2065, RCP8.5. (Centro Nacional de Educación Ambiental Cambio Climático, 2013).

Mes	Temperatura			Precipitación		
	Min.	(°C)	Max.	Min.	(%)	Max.
Invierno	0,7	2,2	3,1	-24	-4	6
Verano	2,1	3,3	5,6	-31	-12	9
Anual	1,6	2,5	4,1	-23	-7	1

También se prevé una reducción de la precipitación anual sobre la península Ibérica, que será más acusada cuanto más al sur. Las precipitaciones se reducirán fuertemente en los meses estivales. Para el escenario RCP8.5 y para mediados del siglo XXI, la Región Mediterránea experimentará reducciones medias de precipitación de 4% y de 12% en los meses invernales y estivales, respectivamente (Centro Nacional de Educación Ambiental Cambio Climático, 2013).

En cuanto al consumo de energía, la demanda de energía mundial tiene previsto un crecimiento del 37% hasta 2040, siendo la eficiencia energética una herramienta fundamental para aliviar la presión del suministro de energía (Agencia Internacional de la Energía, 2014). El 40% del consumo total de energía en la Unión corresponde a los edificios. El sector se encuentra en fase de expansión, lo que hará aumentar el consumo de energía. El impacto ambiental directo e indirecto de la edificación en España puede resumirse en las siguientes cifras: entre 33% y 42% del consumo de energía primaria (la mitad se destina a climatización); entre el 35% y el 50% de las emisiones de GEI, el 40% del consumo de recursos minerales; el 50% de la generación de los residuos sólidos y el 18% del consumo total de agua (Isasa et al., 2014).

1.2 Sistemas envolventes con vegetación: beneficios medioambientales y retos para una normalización del uso.

El uso más común de integración de la vegetación en los edificios se produce a través de las denominadas cubiertas verdes. La integración de estos espacios verdes es una oportunidad para mejorar la calidad ambiental de áreas urbanas. En términos generales, sus principales beneficios se relacionan con muy diversos aspectos medioambientales, económicos y sociales, entre ellos: reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, adaptación de los espacios habitables al cambio climático, mejora de la calidad del aire interior y exterior de los edificios, desarrollo de la biodiversidad urbana, etc. Estos factores están todos relacionados y operan según un rango de escala; siendo unos sensibles a escala de barrio o ciudad, y otros a escala de edificio (Hoyano, 1988).

El uso arquitectónico de estos sistemas viene motivado por cuestiones estéticas y funcionales de integración paisajística en el acondicionamiento urbano (Pérez et al., 2010) y pueden justificarse también por razones de regulación térmica de edificios y entornos, el ahorro energético y la reducción de CO₂ (Köhler, 2008), la durabilidad de materiales de superficie, y razones de salud.

Además, hay que comentar el beneficio medioambiental que supone el empleo de cubiertas ajardinadas, basándose en la reducción de ganancias de calor que proporciona a los edificios en los que se instalan y en la modificación de las condiciones ambientales más próximas a través de la fotosíntesis y la evapotranspiración de las plantas. Así, del resultado de diversos estudios se demuestra que las cubiertas ajardinadas pueden enfriar efectivamente su entorno ambiental en 1,5 °C (Wong et al., 2002).

Sabemos que comportamiento térmico de la cubierta ajardinada afecta al comportamiento térmico del edificio puesto que está integrado en la envolvente térmica del mismo. Se estima que el 27% de la radiación solar total absorbida por la cubierta verde es reflejada, mientras que las plantas y el sustrato absorben el 60%, y finalmente únicamente el 13% de la radiación es transmitida hacia el interior del cerramiento. El valor de aislamiento térmico de una cubierta ajardinada lo proporcionan las plantas y la capa de sustratos (England et al., 2004).

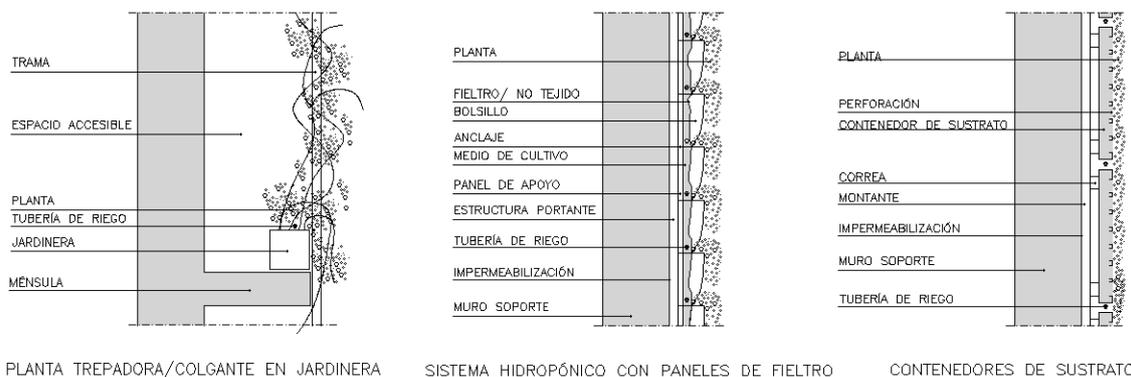
Un número creciente de países, como es el caso de Alemania, Francia, Estados Unidos, Canadá, Dinamarca, Japón o Suiza priman e incluso regulan la utilización de cubiertas verdes en los edificios. En el caso de Portland (EEUU) la regulación de las cubiertas determina las pendientes, tipos de impermeabilización, drenaje, medio de cultivo, incluso los tipos de vegetación. En el caso de Los Ángeles (EEUU), estas cubiertas deben instalarse según especificaciones del fabricante y se determina que la vegetación debe incluir plantas autosuficientes que no requieran pesticidas o

fertilizantes, y alcancen una cobertura vegetal del 90% en el plazo de dos años (Nolon, 2016).

De forma similar, el uso de la vegetación integrada en las envolventes verticales de los edificios determina también beneficios medioambientales, sociales y económicos. Esta tecnología, que puede considerarse todavía más emergente, se está estableciendo al demostrar su validez para el diseño de los edificios en el contexto del cambio climático, y por ello existen autores que proponen que la vegetación en vertical debe ser claramente caracterizada para poder asociarse al diseño, la construcción y el mantenimiento de edificios.

Pueden distinguirse de forma genérica dos grandes tipologías. Por un lado los *muros verdes*, que son aquellos en los que la vegetación crece directamente sobre los paramentos verticales o mediante estructuras guía que pueden crear espacios intermedios. En esta tipología el sustrato y el riego se produce al pie de la planta, normalmente en la parte inferior, directamente en el terreno base de la edificación, o en jardineras horizontales distribuidas por niveles. Por otro lado, los denominados *jardines verticales*, que son aquellos en los que el enraizamiento de la vegetación se distribuye por toda la superficie junto a los sistemas de riego que normalmente aportan también el nutriente. La jardinería vertical suele presentarse en forma de paneles de fieltro, o de forma modular con contenedores de *sphagnum* o de sustrato. En cualquier caso precisan de estructuras auxiliares que normalmente se adosan a un paramento del edificio que previamente se habrá impermeabilizado. Esta segunda tipología tiene la posibilidad de crear cámaras de aire, más o menos ventiladas en función de los sistemas. Todos estos tipos pueden ser utilizados bien en la piel exterior y en los paramentos interiores, y han sido clasificados independientemente en tres sistemas: modulares, paneles ligeros de fieltro, y jardineras con enrejados (Loh, 2008).

Figura 1: Tipología genéricas de envolventes verticales con vegetación (Fuente propia).



PLANTA TREPADORA/COLGANTE EN JARDINERA SISTEMA HIDROPÓNICO CON PANELES DE FIELTRO CONTENEDORES DE SUSTRATO

En mayor o menor medida, para cada tipo de paramento ajardinado se ha comprobado que pueden favorecer la regulación térmica de los edificios en distinta manera. Normalmente favorece la refrigeración que puede llevarse a cabo de diferentes formas. Primeramente se produce un aislamiento térmico debido a la densidad del follaje, la cámara de aire situada en el espacio intermedio y la acción del sustrato. Por supuesto, también interacciona con la radiación solar creando sombra según la densidad y la caducidad del follaje. También hay que tener en cuenta el enfriamiento evaporativo producido según el tipo de planta, la exposición, el clima y la velocidad del viento, así como la variación del efecto del viento sobre la edificación en función de la densidad y penetrabilidad del follaje y la orientación fachada (Palomo, 1998). De una forma más relacionada con el entorno se establece también que la jardinería vertical

arquitectónica genera oxígeno, reduce la materia en suspensión, filtra gases nocivos, y atrapa y procesa metales pesados (Darlington et al., 2000).

Estudios realizados durante los últimos 20 años y en diferentes circunstancias cuantifican los diferentes beneficios de estos sistemas. A partir de ensayos han llegado a conseguirse diferencias de 10°C en la superficie de paramentos con vegetación directa (Hoyano, 1988) y reducciones del 28% de la refrigeración de un edificio por la acción de un muro con hiedra (Di & Wang, 1999). A partir de simulaciones del sombreado vegetal sobre fachadas se han calculado reducciones de consumos de climatización de un 23% en verano (Bass & Baskaran, 2001). Estas acciones sobre la temperatura de los edificios se deben también a la evapotranspiración de las plantas.

En relación con el entorno urbano se ha estimado mediante simulación que al disminuir el calor reflejado por las superficies duras de edificios, calles y pavimentación llegan a disminuir la temperatura ambiental hasta 8°C. Este valor corresponde a un modelo de cañón urbano de calor de 5 m a 10 m de altura y 5 m a 15 m de anchura, con rangos de temperatura diurna de 27°C y 32°C, que tiene en cuenta la contribución de la vegetación. Así se llega a considerar que la incorporación controlada de jardines verticales en el diseño de edificios afectaría positivamente al microclima de ciudades, logrando ahorros del 32% de la energía consumida para la refrigeración de edificios (Alexandri & Jones, 2006).

Además, se pueden considerar que las superficies verdes en vertical pueden proporcionar otros beneficios medioambientales como son la reducción objetiva de la contaminación acústica junto al hecho de favorecer efectos psicoacústicos positivos que otorgan mayor cualificación a la habitabilidad de espacios (Haron & Olham, 2010). Aunque las hojas de las plantas por si mismas no tienen una gran capacidad de absorción de sonido, sí que se consigue aumentar la absorción del sonido mediante el conjunto del sistema de plantación de manera que de una forma pasiva estas superficies reducen la reflexión del sonido por los edificios en las ciudades. Este efecto también se aprecia en espacios interiores cerrados donde la reverberación disminuye considerablemente. En cualquiera de estos casos se produce una mejora de la calidad acústica por absorción.

Existen otros interesantes factores a considerar en relación a las envolventes verdes como puede ser que se consigue mejorar la eficiencia hidrológica de los entornos urbanos al contribuir a un mejor funcionamiento de las redes de evacuación de aguas ya que permiten reducir y retardar descargas repentinas de lluvia. Aunque este aspecto está menos estudiado para el caso de los jardines verticales es indudable que pueden retener lluvias en cierto grado y también reutilizar aguas de diferentes tipos.

A pesar de los beneficios de las fachadas ajardinadas la viabilidad en su utilización pasa por considerar la relación de costes y amortización. Existen estudios que lo realizan de una forma comparada entre los diferentes sistemas que se vienen utilizando más habitualmente y concluyen que desde el punto de vista económico se comportan de forma diversa debido a los diferentes costes de instalación y de mantenimiento, siendo los de tipo modular los que manifiestan mayor dificultad de amortización (Perini & Rosasco, 2013).

Se puede concluir que la aportación de estos sistemas a la sostenibilidad de entornos urbanos, edificios y medioambiente en general es un asunto a considerar en la creación y rehabilitación arquitectónica. Sin embargo, desde el punto de vista de la futura normalización de su uso como componentes constructivos o sistemas de edificación, somos conscientes de que existen dificultades. Entre ellas puede

destacarse insuficiencias de caracterización constructiva y costes elevados de instalación y mantenimiento.

Existe una creciente investigación en estas áreas, aunque hay que observar que la especificidad intrínseca de los edificios dada por el lugar, clima, y el diverso comportamiento de las especies de las plantas que se pueden emplear, obliga a una cautelosa interpretación de resultados que dificulta generalizaciones. Así, es necesario ampliar la investigación a nivel local de forma que se permita adaptar, optimizar y controlar el funcionamiento de estos sistemas a las particularidades de cada entorno.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Este trabajo pretende caracterizar dos prototipos de jardines verticales modulares desarrollados bajo una serie de premisas:

- Aprovechar cualidades de los sistemas modulares de ajardinados (posibilidad de crear cámaras ventiladas, aprovechamiento del sombreado de hojas, condiciones de humedad del sustrato, evapotranspiración vegetal y absorción acústica).
- Utilizar sistemas de agarre y nutrición de plantas mediante sustratos naturales con aporte de solución nutritiva de baja concentración para impedir excesivo crecimiento y reducir costes de mantenimiento.
- Aprovechar especies de plantas silvestres propias del ámbito de la instalación, como estrategia para la reducción de costes de instalación y mantenimiento y así facilitar la integración medioambiental del sistema.
- Crear sistemas que puedan fabricarse en el entorno de implantación final (madera, chapa de acero y cerámica, en este caso) para reducir de costes económicos y medioambientales de transporte de productos y materiales y colaborar con el contexto socioeconómico del lugar.
- Utilizar anclajes de acero con mortero como elementos de sustentación de los módulos dada la eficacia económica y constructiva.
- Aprovechar el comportamiento físico de las fachadas ventiladas y de los materiales finalmente empleados.

Así, se materializan dos series de prototipos modulares ajardinados en forma de cajones metálicos y cerámicos. Para anclarlos se utilizan los anclajes de las placas de piedra caliza que actualmente forman parte de una fachada ventilada. La fachada sobre la que se colocan tiene orientación este y forma parte del cerramiento de los laboratorios de la Escuela Politécnica de Cuenca. En ellos se instala una red de riego y drenaje, creando dos diferentes sistemas preparados para el cultivo del revestimiento vegetal. Sobre la fachada ajardinada y sobre la fachada de piedra ya existente, se instalan unos sensores que nos permiten recoger datos de temperatura y humedad.

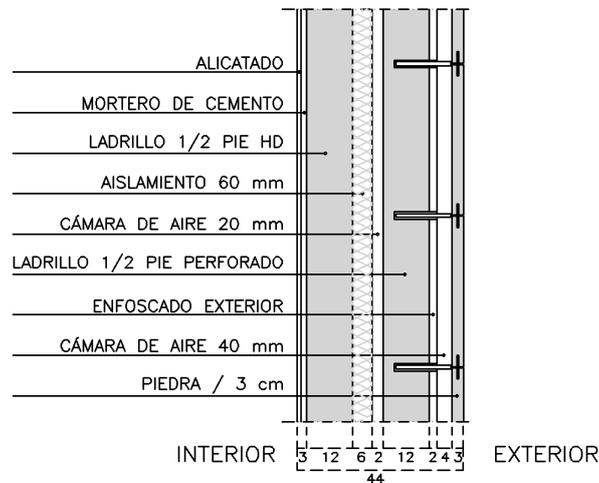
3. METODOLOGÍA Y CASOS DE ESTUDIO

El estudio que se presenta consiste en la construcción de prototipos de dos nuevos sistemas de fachada ventilada, ambos ajardinados, y su posterior monitorización. También se monitoriza la fachada ventilada de piedra, lo que nos permitirá comparar los resultados entre las distintas tipologías. La monitorización se ha realizado durante el mes de marzo de 2016.

3.1. Descripción del sistema de fachada existente

El cerramiento de fachada ventilada de piedra está determinado por un muro compuesto por medio pie de ladrillo macizo en su exterior, enfoscado exterior de cemento, aislamiento de poliestireno expandido de 50 mm, y trasdosado interior con medio pie de ladrillo hueco triple con guarnecido y enlucido de yeso interior. Exteriormente está cubierto con piezas de con una piedra caliza de 70 cm x 40 cm y 3 cm de espesor, suspendidas mediante anclajes de acero inoxidable anclados a la hoja exterior de la fachada con mortero de fraguado de rápido. Este revestimiento permite dejar unas juntas abiertas de 3 mm en vertical y horizontal, y una cámara de aire de 4 cm de espesor.

Figura 2: Esquema del sistema de fachada existente.



La transmitancia térmica calculada en régimen estacionario para esta fachada según valores térmicos de diseño del CTE-HE es de $U=0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3.2. Descripción del sistema ajardinado de cajones metálicos.

La piel vegetal que se crea para el edificio se nutre y se sustenta en sustrato de lombriz y fibra de coco irrigado periódicamente en función de las necesidades de las plantas.

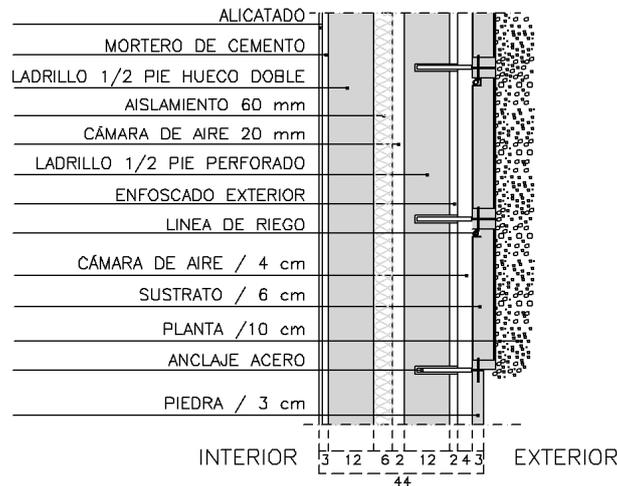
Para ello se han fabricado contenedores de sustrato de 66 cm de ancho, 36 cm de alto y 7 cm de profundidad formados por fondo y laterales de chapa galvanizada de 1 mm de espesor. El frente se resuelve con malla electrosoldada galvanizada de varillas de 3 mm formando una trama de 10 cm x 5 cm conteniendo en su interior paquetes de rafia con el sustrato descrito en su interior.

Los cajones metálicos se instalan atornillados a una trama de bastidores de madera confeccionados con tablillas de pino silvestre con tratamiento de autoclave de clase IV, formando marcos con medidas de 70x40 cm (medidas interejes), 2 cm de espesor y 7 cm de profundidad, suspendida sobre anclajes de acero inoxidable ya existentes para las placas de piedra. El conjunto crea una cámara de aire de 4 cm de espesor.

Como sistema de riego se utiliza una red de microirrigación por goteo de uso agrícola formado por tuberías de polietileno, filtro, contador de agua y programador analógico. El nutriente procede del sustrato aportado y enriquecido periódicamente mediante un sistema Venturi.

La planta utilizada para definir el tapiz corresponde con el mismo tipo de especies silvestres locales. Este plantel se coloca a través de orificios proporcionados por el propio diseño de las jardineras, antes de colocarse y fijarse en los anclajes de acero. El sistema de riego se acopla geométricamente a través de una ranura en la parte posterior y orificios en las paredes laterales.

Figura 3: Esquema de sistema de jardín vertical de cajones metálicos.



Las especies seleccionadas se enmarcarán dentro de las que de forma natural se desarrollan en las paredes, plantas rupícolas, o también de las denominadas colonizadoras, ambos tipos adaptados a situaciones en las que son escasos los recursos, tanto de agua como nutritivos. Estas son *Santolina Chamaecyparissus*, *Rosmarinus Officinalis var. Postrtat*, *Thymus Vulgaris*, *Lavandula Latifolia*, *Cerastium Tomentosum* y *Sedum Sp*.

Figura 4: Sistema ajardinado instalado en sustitución del revestimiento calizo.



El sustrato en el que las plantas van a desarrollar el sistema radicular y, por tanto, del que van a obtener el elemento de fijación y el agua y nutrientes necesarios para completar su ciclo vital, debe cumplir los requisitos de ser: ligero, inerte y estable volumétricamente, que posea una CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico: potencial de retención de nutrientes y administración regulada de los mismos) aceptable y, por cuestiones ecológicas, que sea renovable. Por las características del sistema de cultivo y del sustrato se hace necesario el aporte de agua y nutrientes de forma

continuada a las plantas. Los minerales se suministrarán en el agua de riego, es decir, mediante fertirrigación. Se trata en sí de un proceso hidropónico en el que se incorpora una solución nutritiva completa de baja concentración mineral para no favorecer un exceso de crecimiento (Garcés, Castilla & Pérez, 2013).

La transmitancia calculada en régimen estacionario para esta fachada según valores térmicos de diseño del CTE-HE es de $U=0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$.

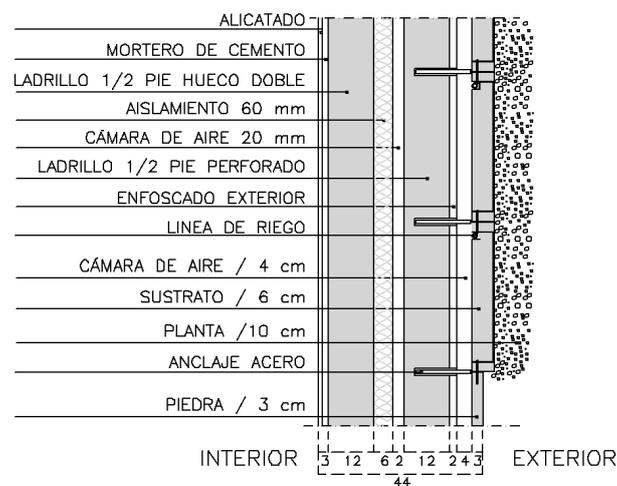
3.3. Descripción del sistema ajardinado de cajones cerámicos.

De forma similar al sistema descrito en el apartado anterior la piel vegetal del sistema se nutre y se sustenta en sustrato de lombriz y fibra de coco irrigado periódicamente en función de las necesidades de las plantas.

Para este caso se han producido manualmente 16 contenedores cerámicos de 35 cm de ancho, 40 cm de alto y 7 cm de profundidad, con paredes de 1,2 mm de espesor aproximadamente que contienen en su interior el sustrato de las plantas.

Los cajones cerámicos se colocan suspendidos de anclajes de acero tomados con mortero rápido. El conjunto crea igualmente una cámara de aire de 4 cm de espesor. Para este caso se han producido anclajes con dimensiones especiales que proporcionan una superficie de apoyo a los elementos modulares elaborados. Como sistema de riego se utiliza un sistema similar al descrito con anterioridad y la aportación del nutriente lo realiza inicialmente el propio sustrato y el riego programado.

Figura 5: Esquema del sistema de jardín vertical de módulos cerámicos.



La planta prevista a utilizar para definir el tapiz corresponde con el mismo tipo de especies silvestres locales. Este plantel se coloca a través de orificios proporcionados por el propio diseño de las jardineras, antes de colocarse y fijarse a los anclajes de acero. El sistema de riego también se acopla geométricamente a través de una ranura en la parte posterior y orificios en las paredes laterales.

La estrategia de cultivo es similar a la del sistema de cajones metálicos y se utilizarán especies similares de plantas. Sin embargo, para este caso se prevé una reducción del consumo de agua propiciado por la capacidad de retención de humedad del material cerámico y por el diseño de los contenedores.

El modelado de los contenedores se ha realizado con arcilla roja y moldes de escayola. La cocción se ha realizado a baja temperatura con la finalidad de obtener poro abierto que favorezca a la evapotranspiración del agua contenida en el interior.

Este fenómeno se pretende únicamente en la cara interior por estar en contacto con la cámara de aire. Así se ha procedido a tapan el poro de las caras exteriores mediante la aplicación de un esmalte de baja temperatura.

La transmitancia calculada en régimen estacionario para esta fachada según valores térmicos de diseño del CTE-HE es de $U=0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3.4. Descripción del sistema de monitorización.

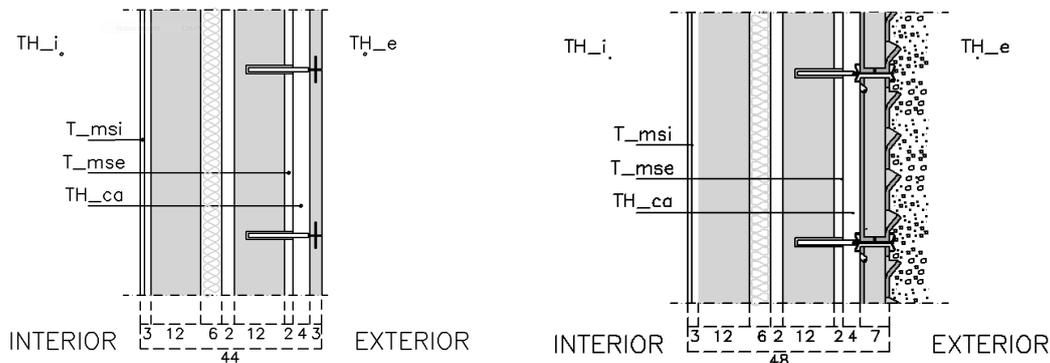
Para obtener los datos del comportamiento higrotérmico de los sistemas de fachada se utiliza un sistema de sensores, gestión y almacenamiento de datos de la casa HOBO. Las condiciones meteorológicas del entorno e higrotérmicas interiores se obtienen mediante estación meteorológica Oregon Scientific WMRS200 proporcionando datos de temperatura y humedad ambiental interior y exterior.

El software de gestión utilizado corresponde al proporcionado por cada uno de los fabricantes del equipamiento utilizado. La sincronización de las medidas para su análisis se realiza mediante uso de hoja de cálculo Openoffice Calc.

El plan de monitorización consiste en la medición de temperaturas y humedad de cada sistema de fachada durante al menos una semana por cada estación climática del año. El equipamiento dispuesto permite monitorizar dos sistemas constructivos al mismo tiempo, así se ha establecido que para cada estación del año se obtendrán datos simultáneamente del cerramiento original junto al modificado con módulos cerámicos, y finalmente también en paralelo los dos cerramientos modificados.

Para cada uno de los cerramientos se disponen sensores de temperatura y humedad de ambiente interior (TH_i) y exterior (TH_e), temperatura y humedad del aire de la cámara (TH_{ca}), y temperaturas superficiales de interior (T_{msi}) y exterior (T_{mse}) del muro. Con ellos que se registran datos cada 10 minutos.

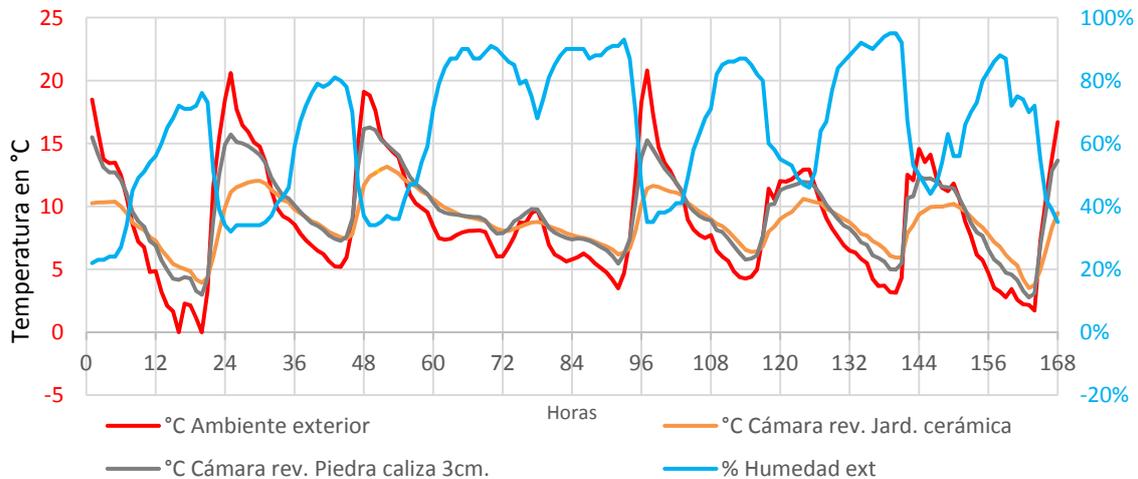
Figura 6: Disposición de sensores en el cerramiento tipo y el modificado.



3.5. Resumen de primeros resultados de la monitorización del comportamiento físico de fachada existente y modificada con módulos ajardinados cerámicos.

Los datos registrados entre los días 16 de marzo y 23 de marzo de 2016. Por la situación del edificio se considera un clima mediterráneo continental. No se ha dispuesto vegetación en las pruebas iniciales para poder conocer la incidencia de las piezas y el sustrato independientemente de las plantas al compararlo posteriormente con el producido con el efecto de la vegetación cuando el crecimiento de las mismas lo permita.

Figura 7. Grafica representativa comportamiento térmico comparado de la fachada caliza existente con la correspondiente a jardineras cerámicas.

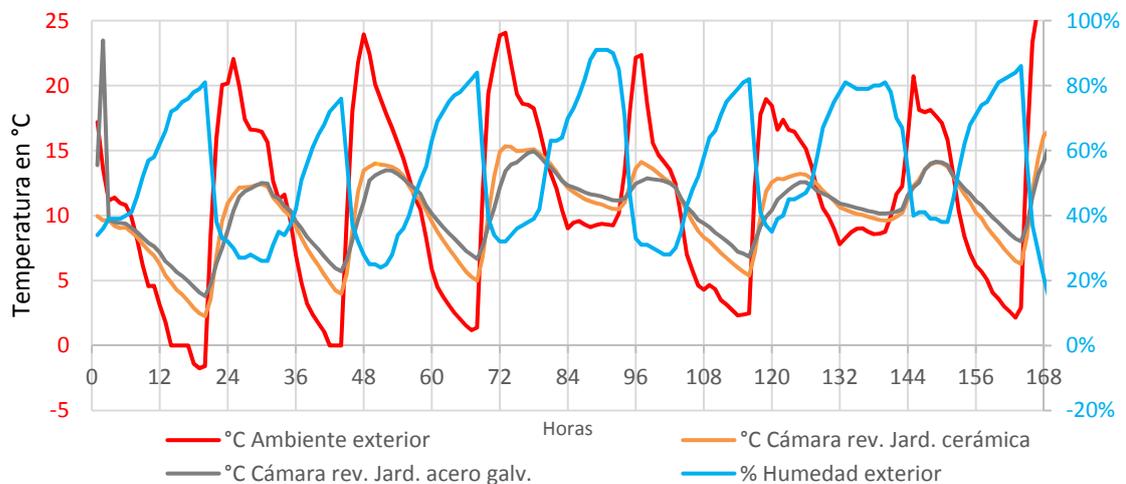


Se obtienen menores temperaturas en la cámara de aire que corresponde al revestimiento de jardineras cerámicas en relación con las existentes en la cámara formada por el aplacado calizo original en la fachada del edificio en temperaturas ambientales por encima de aproximaciones a 10°C, observándose diferencias hasta de 5°C en condiciones de ambiente exterior próximas a 20°C y 32% de humedad relativa, propios de un día primaveral en el lugar. Se comprueba que en bajas temperaturas los resultados entre los dos sistemas se aproximan llegando incluso a igualarse, pero manteniéndose por encima de la temperatura ambiental.

3.6. Resumen de primeros resultados de la monitorización del comportamiento físico de fachadas modificadas con módulos ajardinados cerámicos y de acero galvanizado.

Los datos registrados entre los días 23 de marzo y 30 de marzo de 2016, en el mismo lugar.

Figura 8. Grafica representativa comportamiento térmico comparado de la fachada de jardineras cerámicas con la correspondiente a jardineras de acero galvanizado.



Comparando resultados entre los dos sistemas ajardinados, se comprueban comportamientos térmicos relativamente aproximados y muy por debajo de la temperatura ambiental, en condiciones medias. Existe una tendencia de la temperatura en la cámara de aire formada por piezas cerámicas a aproximarse hacia los extremos de la temperatura ambiental, marcando diferencia entre 0°C y 2°C en relación a la temperatura de la cámara de aire de las jardineras metálicas. En cualquiera de los sistemas existen apreciables diferencias de temperatura entre la cámara y el ambiente exterior.

4. CONCLUSIONES

Ha sido posible desarrollar módulos que permiten la reutilización de los sistemas de anclaje utilizados con fachadas de piedra ventilada. Con esta acción conseguimos reducir el coste de la fachada ajardinada.

Los datos iniciales reafirman las previsiones de un comportamiento favorable para la refrigeración de la cámara de aire, por parte de los dos diseños ajardinados. La tendencia de las gráficas aumenta la expectativa de comprobar mejores resultados de estos nuevos sistemas para los ensayos programados del periodo estival debido al aumento de temperatura ambiental. Igualmente, estas características indican precaución de un uso de las instalaciones estudiadas en ambientes fríos.

Los valores se agudizan, en particular, para el caso de los módulos cerámicos comprobándose en las mediciones una transferencia del grado de humedad del sustrato a la cámara. La capacidad refrigeradora del este sistema de jardín vertical se verá favorecida con el sombreado y a evapotranspiración de las plantas todavía ausentes en esas jardineras y por tanto en los ensayos ahora presentados.

REFERENCIAS

- Agencia Internacional de la Energía. (2014). *World Energy Outlook 2014*. París. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.
- Alexandri, E., & Jones P. (2006). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43(4), 480-493.
- Bass, B., & Baskaran, B. (2001). Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas. *CCAF Report B1046*. Institute for Research in Construction of Canada.
- Centro Nacional de Educación Ambiental Cambio Climático. (2013). *Guía resumida del quinto informe de evaluación del IPCC (Grupo de trabajo I)*. Madrid. Biodiversidad, Oficina Española de Cambio Climático, Agencia Estatal de Meteorología.
- Darlington, A., Chan, M., Malloch, D., Pilger, C., & Dixon, C. (2000). The biofiltration of indoor air: Implications for air quality. *Indoor Air*, 10, 39-46.
- Di, H., & Wang, D.N. (1999). Cooling effect of ivy on a wall. *Experimental Heat Transfer: A Journal of Thermal Energy Generation, Transport, Storage, and Conversion*, 12, 235-245.
- England, E., Morgan, B., Usrey, L., Greiner, M., & Blackmann, C. (2004). Vegetated roofing technology: an evaluation. *In LCA/LCM 2004*. The American Center for Life Cycle Assessment.

- Garcés, S., Castilla, F.J., & Pérez, V. (2013). Agrotecnología y eficiencia energética: prácticas de jardinería vertical aplicada a la edificación para alumnos del grado superior. *I Encuentro de Experiencias Docentes en Educación Superior en Energía y Medioambiente: University Vocational Training Network*. Ciudad Real.
- Haron, Z., & Olham, D. (2010). A Markovian approach to the modelling of sound propagation in urban streets. *Jurnal Teknologi*, 52, 61-75.
- Hoyano, A. (1988). Climatological uses of plants for solar control and the effects on the thermal environment of a building. *Energy and Buildings*, 11, 181-199.
- Isasa, M. Gazulla, C. Zabalza, I. Zambrana, D. Partidario, P. Duclos, L., & Oregui, X. (2014). Herramienta EnerBuilCA para el análisis del ciclo de vida de edificios y su adaptación al contexto urbano. *II Congreso EECN: Edificios de Emisiones de Ciclo de Vida casi cero*. Grupo Tecma Red y Ministerio de Fomento de España. Madrid
- Köhler, M. (2008). Green facades—a view back and some visions. *Urban Ecosystems*, 11(4), 423-436.
- Loh, S. (2008). Living Walls: A Way to Green the Built Environment. *Environment Design Guide – TEC 26*. Australian Institute of Architects.
- Nolon, J.R. (2016). Enhancing the Urban Environment Through Green Infrastructure. *46 Environmental Law Reporter*. Citation: 46 ELR 10071 Obtenido en <http://digitalcommons.pace.edu/lawfaculty/1011/>.
- Palomo, E. (1998). Analysis of the green roofs cooling potencial in buildings. *Energy and Buildings*, 27, 179–193.
- Pérez, G., Vila, A., Castell, C., & Cabeza, L. (2010). Ensayos con arquitectura vegetada. *Seguridad y medioambiente*, 118, 34-45.
- Perini, K., & Rosasco, P. (2013). Cost benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment*, 70, 110-121.
- Wong, N.H., Wong, V.L., Chen, Y., Lee, S.E., Cheong, D., Lim, G.T., Ong, C.L., & Sia, A. (2002). The Thermal Effects of Plants on Buildings, *Architectural Science Review*, 45, 337-348.