

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR. INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA



ESTUDIO DEL COMPORAMIENTO ACÚSTICO Y ENERGÉTICO DE FACHADAS VERDES

PROYECTO FINAL DE MÁSTER EDIFICACIÓN,
ESPECIALIDAD TECNOLOGÍA

2013

ALUMNO: YOLANDA SORIA MELIÀ
TUTOR: IGNACIO ENRIQUE GUILLÉN GUILLAMÓN

ÍNDICE

0. PREÁMBULO.....	2
0.1. Introducción	2
0.2. Metodología de trabajo	4
1. SISTEMAS DE VEGETACIÓN VERTICAL EN EDIFICIOS.....	5
1.1. Clasificación.....	5
1.2. Sistemas de muros vivos (living walls)	7
1.2.1. Sistemas con fieltros geotextiles.....	7
1.2.2. Sistemas modulares con paneles	11
1.2.3. Sistemas con gaviones.....	20
1.2.4. Paredes vivas con soporte cerámico.....	23
1.2.5. Paredes vivas con hormigón vegetal.....	25
1.3. Estudio de los condicionantes. Elección del sistema.	27
1.3.1. Sistemas con fieltros geotextiles.....	27
1.3.2. Sistemas modulares con paneles	28
1.3.3. Sistemas con gaviones.....	28
1.3.4. Sistemas cerámicos	29
1.3.5. Hormigón vegetal.....	29
1.4. Tipología de Fachadas. Elección de los cerramientos.....	31
1.4.1. Introducción	31
1.4.2. Clasificación de las fachadas.	31
1.4.3. Conclusiones.....	37
2. ESTUDIO DE LA VEGETACIÓN COMO REGULADOR TÉRMICO Y ACÚSTICO.....	38
2.1. Estudios de los factores.....	38
2.1.1. La vegetación como regulador térmico.	38
2.1.2. Acondicionamiento acústico	43
2.2. Evaluación de las prestaciones.....	45
2.2.1. Acústica	48
2.2.2. Térmica.....	49
2.2.3. Resultados del estudio de prestaciones.....	55
2.2.4. Análisis de los resultados	66
3. CONCLUSIONES	68
4. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN	70
BIBLIOGRAFÍA.....	71

0. PREÁMBULO

0.1. Introducción

En las últimas décadas, circunstancias como el cambio climático, el deterioro en la capa de ozono, la escasez de recursos naturales, la construcción masiva, y el urbanismo indiscriminado, han dado lugar a un nuevo concepto de arquitectura. Una arquitectura sostenible, donde se refleja la preocupación por la integración al medio ambiente, la eficiencia energética y el bienestar y confort de los usuarios. Este nuevo concepto de la arquitectura es conocida como “Arquitectura Bioclimática”.

Un buen ejemplo de la aplicación de ésta son las fachadas ajardinadas, un sistema innovador que permite obtener numerosos beneficios, como pueden ser, entre otros, los que se destacan a continuación:

La mejora de la calidad de aire.

El contenido de CO₂ en zonas urbanas es altísimo. El exceso de dióxido de carbono provoca un calentamiento del planeta, acentuando el efecto invernadero.

Mediante la fotosíntesis, las plantas liberan oxígeno del dióxido de carbono, y además de esto, transforman el CO₂ en carbono y lo almacenan en la biomasa. Reduciendo así la contaminación del aire exterior.

La vegetación también contribuye a la retención del polvo y las partículas contaminantes del entorno urbano.

Los efectos sobre las temperaturas en los edificios.

La vegetación permite regular la térmica de los edificios, con el consiguiente ahorro energético. Este aspecto se consigue mediante el enfriamiento por evapotranspiración, la interacción con la radiación solar (las plantas evitan que la superficie de la fachada se caliente) y la reducción del efecto del viento sobre la superficie del edificio, ya que este disminuye la eficacia del aislamiento térmico ordinario.

La mitigación, en zona urbana, del efecto isla de calor.

Este efecto se define como el domo de aire cálido que se forma en áreas urbanas debido a la presencia de los edificios y superficies pavimentadas que continúan irradiando calor incluso después de la puesta del sol. [1]

La vegetación mejora el clima del entorno urbano, mediante las corrientes de aire que conectan las zonas verdes interiores (parques y jardines) con las zonas verdes del exterior.

El aislamiento acústico de los edificios.

La vegetación es capaz de atenuar el sonido a altas y bajas frecuencias, esto es debido a su porosidad y su follaje. También el sonido agradable que producen sus hojas al moverse con el viento es capaz de enmascarar los ruidos de fondo desagradables.

La disminución de la contaminación acústica.

La vegetación contribuye ligeramente a la reducción acústica del en zonas urbanas. Su efectividad dependerá de la especie de planta, las dimensiones del recubrimiento, su forma, y la ubicación con respecto al sonido.

El aumento de la longevidad de los materiales de construcción.

La vegetación protege la envolvente del edificio de los rayos ultravioleta, al igual que de las temperaturas extremas y del tránsito peatonal.

La mejora estética del edificio.

La vegetación rompe con la monotonía y las líneas rectas de las fachadas convencionales. Además aporta un aspecto diferente en cada estación del año, con cambios de forma, color...

Beneficios humanos.

Hay estudios que muestran que, debido al nivel de humedad más alto creado por la evapotranspiración del agua, se crea un microclima más agradable que estimula la productividad de las personas. Al igual que la presencia de vegetación reduce el estrés y el cansancio. [2]

Los beneficios económicos.

Estos son difíciles de cuantificar debido a que son efectos indirectos, como por ejemplo, el aumento de los valores inmobiliarios, el ahorro de energía para la refrigeración y calefacción y los ingresos por el aumento del turismo.

Para finalizar esta introducción, comentar que no todo son ventajas, la integración de la vegetación en las fachadas supone un coste elevado comparado con los revestimientos convencionales. La inversión inicial es significativa al igual que el coste de su mantenimiento.

0.2. Metodología de trabajo

Una vez introducidos los aspectos que nos puede aportar el uso de la vegetación en la envolvente del edificio. El presente trabajo se centrará en el estudio del comportamiento acústico y termodinámico de las fachadas ajardinadas.

Sentado lo anterior, el proyecto se dividirá en tres fases.

En un primer lugar se realizará una recopilación de los distintos tipos de fachadas verdes existentes en el mercado. En esta fase se enumerarán y describirán cada una de estas, al igual que sus sistemas constructivos. Viendo también sus ventajas e inconvenientes a la hora de la elección del sistema.

A continuación se estudiarán las características termodinámicas y acústicas de los jardines verticales. En esta fase, inicialmente se realizará una búsqueda exhaustiva de datos en estudios y ensayos ya realizados. Posteriormente, se elaborarán una serie de cálculos, con los que poder evaluar y comparar las prestaciones tanto acústicas como térmicas de las fachadas verdes.

Finalmente se analizarán los resultados obtenidos en la fase anterior, al igual que los datos obtenidos de los diferentes estudios y ensayos.

1. SISTEMAS DE VEGETACIÓ VERTICAL EN EDIFICIOS

1.1. Clasificaci3n.

Teniendo en cuenta los diferentes sistema de vegetaci3n vertical que se pueden encontrar en el mercado, diferenciamos de manera clara dos grandes grupos: las fachadas que utilizan una estructura independiente a la envolvente del edificio para proveer de soporte a la vegetaci3n, conocidas como **fachadas vegetales** (Green facades), y un segundo grupo de fachadas donde el jard3n vertical forma parte del sistema envolvente del edificio, estas 3ltimas se conocen como **muros vivos** (living walls).

En el caso de las **fachadas vegetales** podemos diferenciar:

- Sistemas con plantas trepadoras. En este tipo de fachadas las plantas crecen desde el suelo y utilizan una superficie vertical para apoyarse. Pueden hacerlo directamente sobre la pared, o mediante un sistema de doble piel. Este 3ltimo se basa en que las plantas utilizan como superficie vertical un enrejado de acero galvanizado, cables o mallas.



Imagen 1. Fachada tradicional con plantas trepadoras

Imagen 2. Fachadas con plantas trepadoras de doble piel, mediante enrejado de acero galvanizado, cable y malla.

- Sistemas con plantas en contenedores, jardineras y macetas. Este tipo de fachadas consiste en rodear el edificio de macetas, jardineras o contenedores, que se pueden colocar directamente en el suelo o construir in situ formando parte de la fachada del edificio.



Imagen 3. Jard3n Tarradellas, Barcelona y Tower Flower, Par3s

Los **muros vivos**, como ya se ha dicho, es un sistema en el que la fachada del edificio incorpora un medio de crecimiento para las plantas. Dentro de esta categoría podemos observar diferentes tipos de fachadas en función del sistema constructivo empleado, que variará según cual sea el soporte de la vegetación:

- Filtros geotextiles.
- Sistemas modulares como paneles plásticos o metálicos
- Sistemas con gaviones.
- Soporte cerámico.
- Hormigón vegetal.

En base a lo expuesto en los párrafos anteriores, se ha elaborado una tabla donde se representa de manera clara la clasificación de los sistemas vegetales verticales (tabla 1)

SISTEMAS VEGETALES VERTICALES.	FACHADAS VEGETALES	SISTEMA TREPADERA	SISTEMA TRADICIONAL		
			DE DOBLE PIEL	CABLES	
				MALLAS	
	ENREJADOS MODULARES				
	SISTEMA DE CONTENEDORES				
	MUROS VIVOS	SISTEMAS CON FIELTROS GEOTEXTILES			
		SISTEMAS MODULARES CON PANELES	PLÁSTICOS		
			METÁLICOS		
		SISTEMAS CON GAVIONES			
		SISTEMA CERÁMICO			
HORMIGÓN VEGETAL					

Tabla 1. Propuesta de clasificación de sistemas vegetales verticales. Elaboración propia

Una vez establecida la clasificación, se lleva a cabo un estudio sobre los diferentes sistemas de muros vivos en el ámbito de las empresas líderes en el sector, que están desarrollando sistemas y tecnologías para la integración de la vegetación en fachadas y muros de edificios.

Para ello, a continuación, se realiza una enumeración de los diferentes tipos de sistemas constructivos de muros vivos que podemos encontrar en el mercado para, posteriormente, proceder al estudio de las ventajas e inconvenientes que presentan cada tipo de fachada.

1.2. Sistemas de muros vivos (living walls)

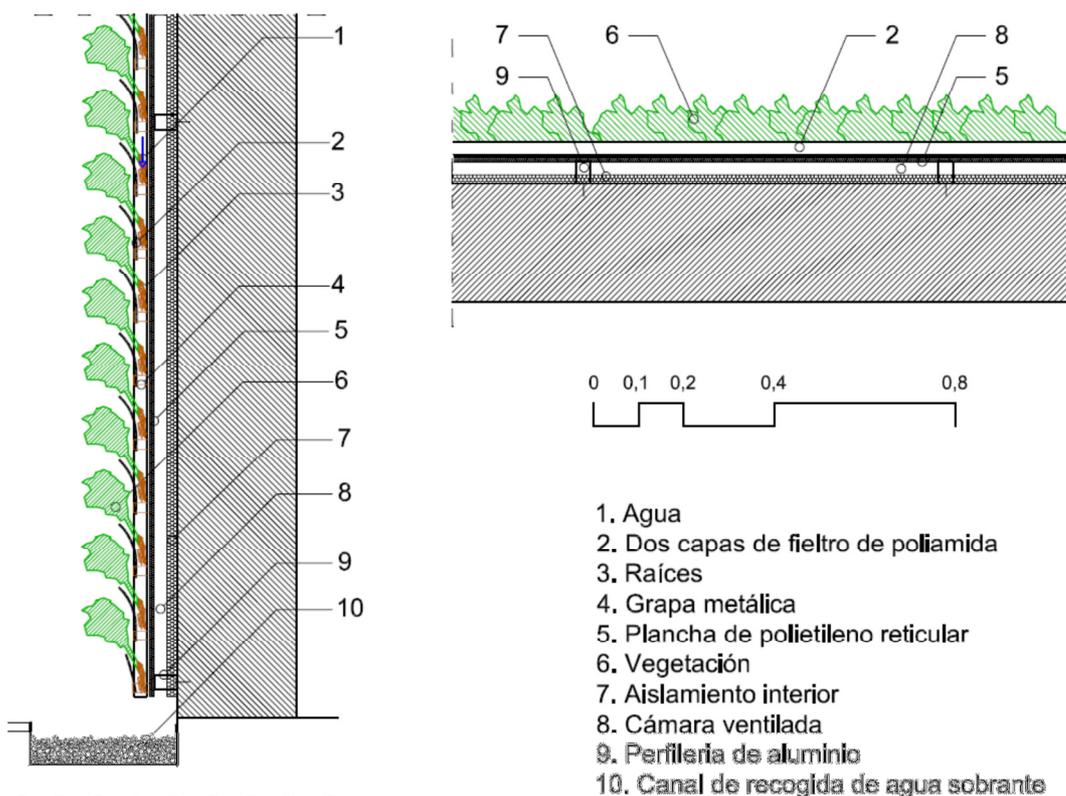
1.2.1. Sistemas con fieltros geotextiles

1.2.1.1. Le mur vegetal

“Le mur vegetal” fue desarrollado por Patrick Blanc, el sistema se compone de un marco estructural, de una capa impermeable de PVC y dos capas de fieltro de poliamida. Sobre el muro se instala un entramado de rastreles, la mayoría verticales con alguno horizontal perforado. Este entramado conforma una cámara ventilada de unos 5cm y permite disponer el aislamiento.

Sobre dicha estructura se fija el panel de PVC de 1cm de espesor, al cual se grapan las dos capas de fieltro de poliamida, que serán las que aguanten el peso de las plantas (20-40 plantas/m²).

El sistema de riego consiste en la colocación tubos horizontales de polipropileno perforado separados un máximo de 4 metros en altura. El agua enriquecida cae por gravedad empapando el fieltro y las raíces, y se recoge en la parte inferior del jardín, mediante un sistema convencional de recogida de aguas. [3]



Detalle constructivo 1. Le mur vegetal. Elaboración propia.



Imagen 4. Construcción jardín vertical
Caixa Fórum, Madrid.



Imagen 5. Caixa Fórum, Madrid.



Imagen 6. Alpha Park, Clayes-sous-Bois

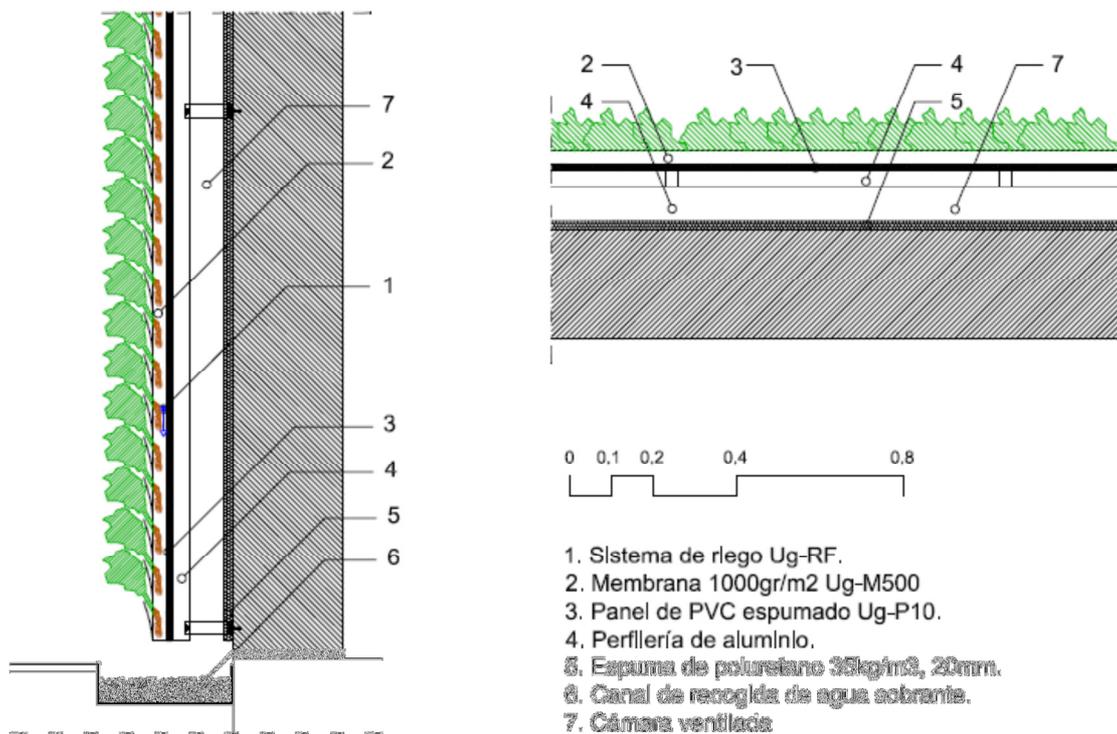


Imagen 7. Musée du Quai Branly, París

1.2.1.2. Sistema F+P

El sistema F+P es un sistema desarrollado por la empresa urbanarbolismo, está compuesto por un trasdosado de paneles impermeables anclados sobre bastidores, el innovador sistema de doble cámara de aire garantiza la estanqueidad del soporte base. Sobre los paneles se ancla una doble capa sintética de material no tejido por donde discurre una solución hidropónica.

Es uno de los sistemas más utilizados por su rapidez de montaje y bajo peso 35kg/m². Las especies vegetales se plantan y sustituyen muy fácilmente, sin necesidad de afectar al resto del jardín. Las instalaciones de riego se sitúan entre la capa de material no tejido por lo que su mantenimiento y sustitución son muy sencillas. [4]



Detalle constructivo 2. Sistema F+P. Elaboración propia.



Imagen 8. Fachada vegetal con fieltro en Paterna.



Imagen 9. Fachada vegetal con fieltro en Paterna.



Imagen 10. Detalle del sistema constructivo.



Imagen 11. Detalle del sistema de recogida de agua.



Imagen 12. Detalle de vegetación.

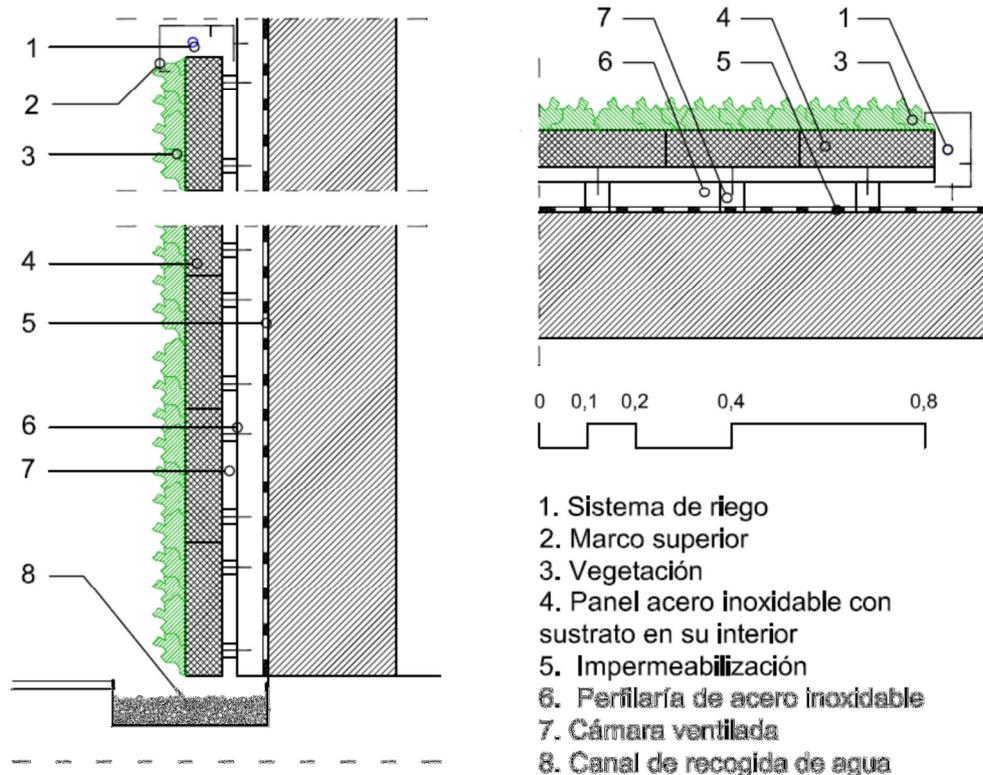
1.2.2. Sistemas modulares con paneles

1.2.2.1. Sistemas con paneles con celdas metálicas

1.2.2.1.1. GSky Pro Wall System

Gsky Pro Wall System es un sistema desarrollado por GSky Plant Systems, se basa en un sistema modular que puede instalarse en prácticamente cualquier superficie al aire libre, en cualquier tipo de clima caliente o frío, y está diseñado para resistir fuertes vientos, lluvia y los terremotos. El sistema consta de 5 componentes principales:

- Paneles de acero inoxidable, sus dimensiones pueden ser personalizadas para adaptarse a cualquier tipo de construcción o pared. En ellos se encaja un tejido no inflamable con unos orificios circulares en una de sus caras
- Sustrato: pendiente de patente, se compone de material no erosivo para la planta. El mantenimiento es mucho más bajo que los sistemas de tierra suelta.
- Plantas: estas están precultivadas en paneles durante varios meses antes de colgarse en la pared. Con el fin de resistir fuertes vientos o actividad sísmica.
- Sistema de riego y fertilización: sistema automático por goteo, tiene sensores de temperatura y humedad que permiten el uso del agua solo cuando sea necesario.
- Sistema de sujeción es una estructura de acero inoxidable, esta permite quitar el panel cuando sea necesario. [5]



Detalle constructivo 3. Gsky Pro Wall System. Elaboración propia.

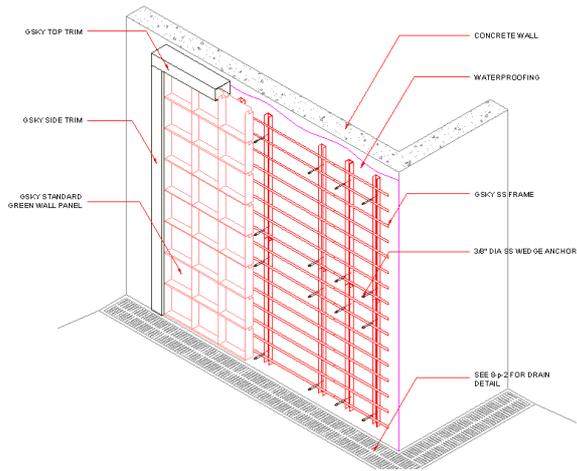


Imagen 13. Perspectiva



Imagen 14. Módulos GSKY Pro Wall System



Imagen 15. Queens University of Charlotte, Carolina del Norte. 2012



Imagen 16. Queens University of Charlotte, Carolina del Norte. 2012



Imagen 17. Lowes Food, Carolina del Norte 2010

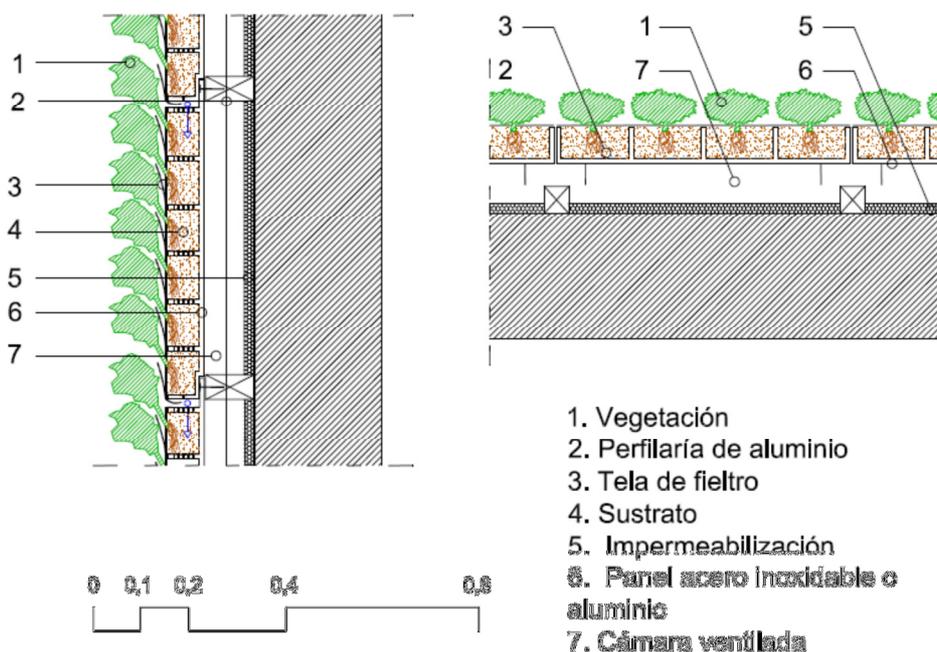


Imagen 18. Detalle Lowes Food, Carolina del Norte 2010

1.2.2.1.2. Green Living Walls

Green Living Walls es un sistema desarrollado por la empresa "Green Living Technologies, LLC". Este pared vegetal está formada por paneles modulares de aluminio o acero inoxidable de varios tamaños (módulos de 61 x 61 x 7'6cm., 30'5 x 61 x 7'6cm., 30'5 x 30'5 x 7'6cm. y piezas de esquina). Estos se colocan sobre un entramado de perfilaría vertical y horizontal anclado al muro, permitiendo así, la creación de una cámara de aire y colocación del aislante. En el interior de cada panel se deposita el sustrato y se envuelve con un fieltro sintético de fibras de poliéster, al cual se hacen cortes y se introducen las plantas.

El sistema de riego es por goteo, disponiéndose los tubos entre las bandejas. Respecto el agua, ésta se filtra a través de las celdillas interiores, empapando la tierra y recogiendo en la parte inferior de la fachada. [6]



Detalle constructivo 4. Green living walls. Elaboración propia.



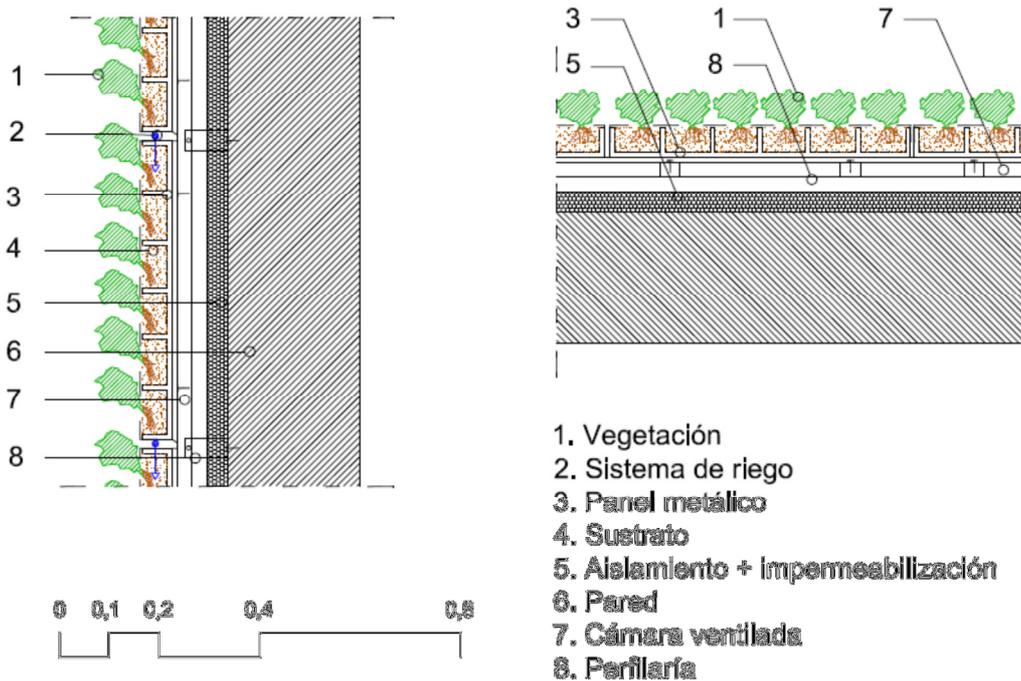
1. Hotel internacional Santiago de Chile



Imagen 19. PNC Bank en Maryland

1.2.2.1.3. Paramento vegetado Intemper

Este concepto de fachada verde es desarrollado por la empresa Intemper. Consiste en un sistema modular de 60 x 60 x 6cm de chapa perforada (5cm de diámetro) con o sin base de poliestireno extruido. Este se colocado sobre un entramado de perfilaría vertical y horizontal anclado al muro, permitiendo así, la creación de una cámara de aire y colocación del aislante. En el interior de cada panel se deposita el sustrato y se envuelve con un fieltro sintético de fibras de poliéster, al cual se hacen cortes y se introducen las plantas (aproximadamente 300 plantas/m²). El sistema de riego para el crecimiento de las plantas es completamente automático e incluye una red auxiliar para la aplicación de fertirrigación y un dosificador de abono. [7]



Detalle constructivo 5. Paramento vertical Intemper. Elaboración propia.



Imagen 20. Casa del amor, Madrid. 2003



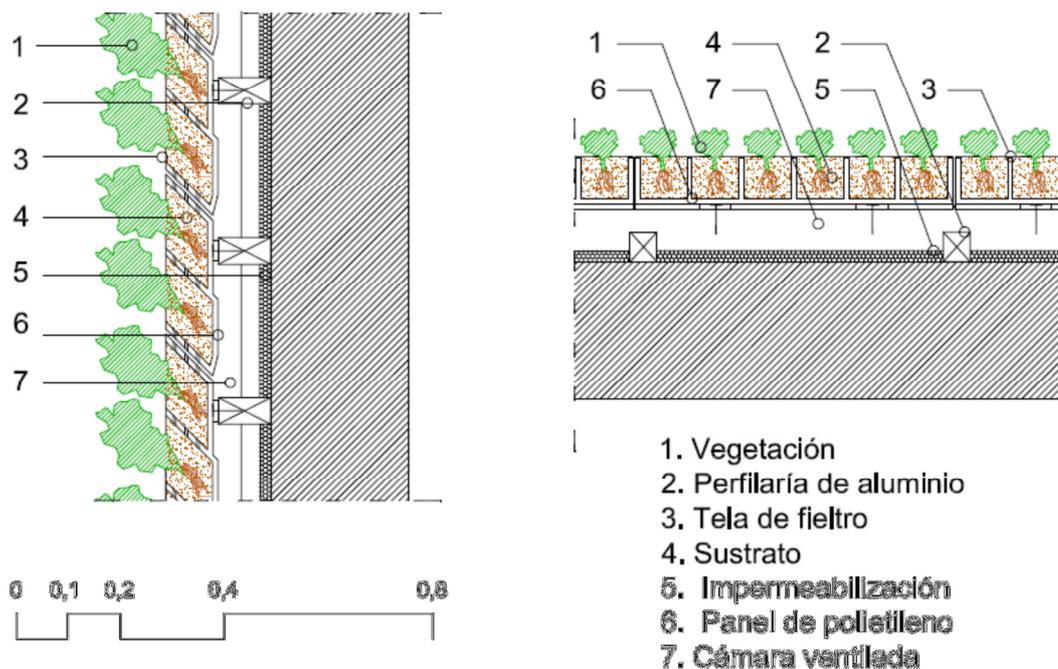
Imagen 21. Casa del amor, Madrid. 2003

1.2.2.2. Sistemas con paneles con celdas plásticas

1.2.2.2.1. Sistema Naturpanel @Aljibe

La empresa Intemper también ha desarrollado un sistema vegetal compuesto por módulos Naturpanel® Aljibe, industrializados y precultivados, de 60x30x10 cm de polietileno. Estos paneles están provistos de un depósito aljibe para la optimización del suministro del agua a las plantas. Cada módulo se colocan sobre perfiles horizontales fijados mecánicamente a la fachada o sobre una estructura auxiliar

El aporte de agua se realiza en la parte superior de la fachada, minimizando los tiempos de riego y simplificando la instalación. El empleo de "Jardineras Aljibe" a pie de fachada permite recircular la solución de drenaje a través de bombas, consiguiendo un sistema cerrado de recirculado de nutrientes. [7]



Detalle constructivo 6. Sistema Naturpanel Aljibe. Elaboración propia.



Imagen 22. Centro cultural municipal de Moreda, en Aller, Asturias.

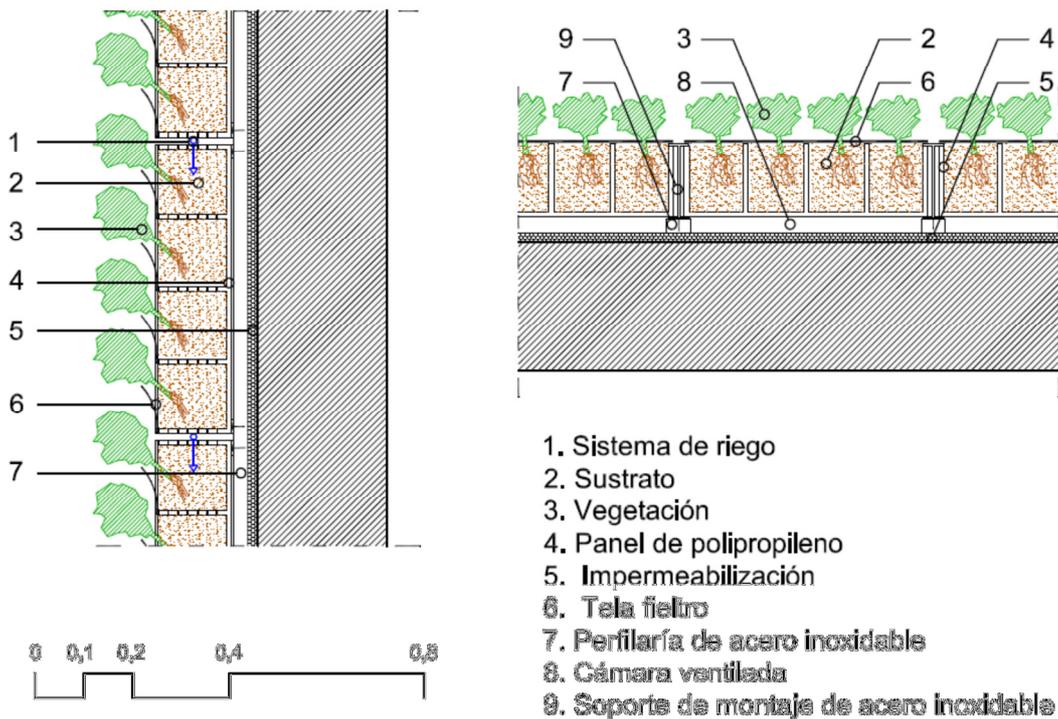


Imagen 23. Fachada en Plaza Pericon, Malaga 2010

1.2.2.2.2. VGM Green Wall

VGM Green Wall es un sistema desarrollado por la empresa Elmich, está formado por paneles modulares de polipropileno de 60 x 50cm, de 15 o 25cm de espesor. Estos pueden fijarse directamente sobre la pared, o bien, sobre un entramado de perfilaría vertical y horizontal anclado al muro. En el interior de cada panel se deposita el sustrato para, posteriormente, ser envuelto con una tela de fieltro, a la que se le hacen cortes y se introducen las plantas.

El sistema de riego es por goteo, los tubos se disponen entre las bandejas. El agua y nutrientes se filtran a través de las celdillas interiores hasta empapar la tierra. Puede disponer también de sistema de recogida de agua inferior. [8]



Detalle constructivo 7. Elmich VGM Green Wall. Elaboración propia.



Imagen 24. Fachada realizada mediante el sistema desarrollado por Elmich

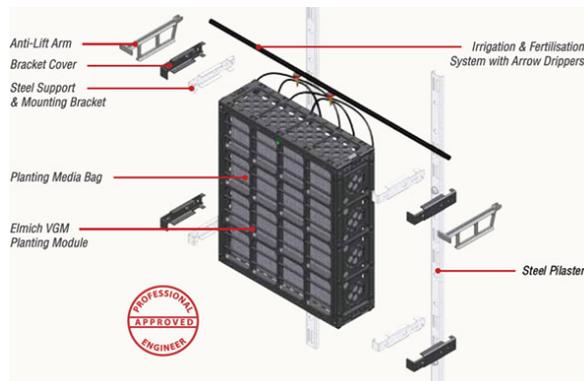


Imagen 25. Panel de polipropileno Elmich

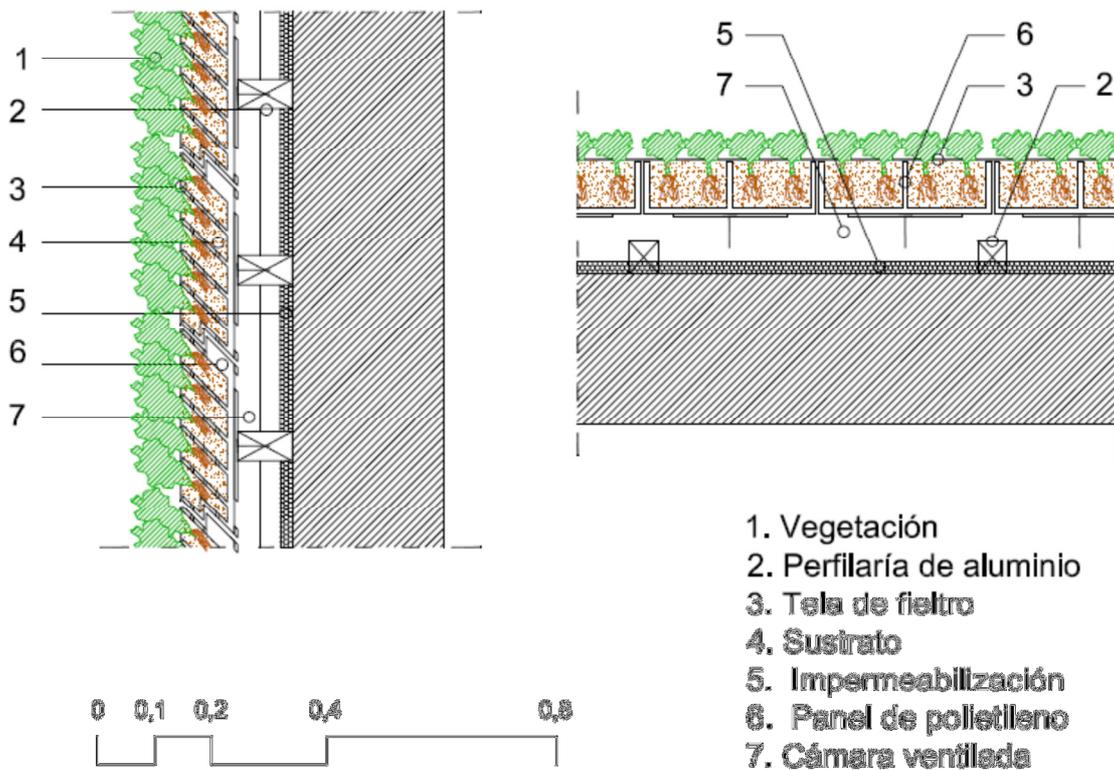
1.2.2.2.3. ELT EasyGreen® Living Wall Systems

El ELT EasyGreen® Living Wall Systems, es un sistema de fachada verde desarrollado por la empresa ELT Easy Green. Está formado por paneles modulares de 30x30x9 cm de polietileno de alta densidad (HDPE). Los paneles son precultivados antes del suministro y montado.

Los módulos pueden ser montados sobre un sistema de rastreles o directamente en las paredes existentes. Hay cuatro canales en cada lado del panel para proporcionar un punto de fijación con el muro o sistema de rastreles.

Los paneles tienen una inclinación de 30° sobre la horizontal y están agujereados para permitir el drenaje y aireación de la vegetación.

El sistema de riego es por goteo programable, los tubos se disponen entre las bandejas, y el agua se filtra a través de las celdillas interiores hasta empapar la tierra. [9]



Detalle constructivo 8. ELT EasyGreen Living Wall Systems . Elaboración propia.

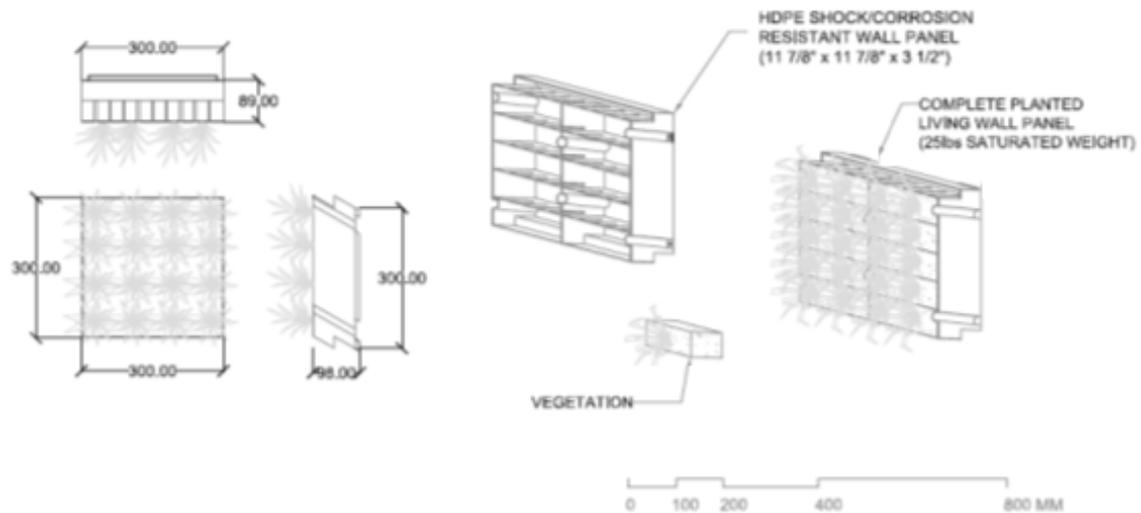


Imagen 26. Detalle del panel ELT EasyGreen® Living Wall Systems

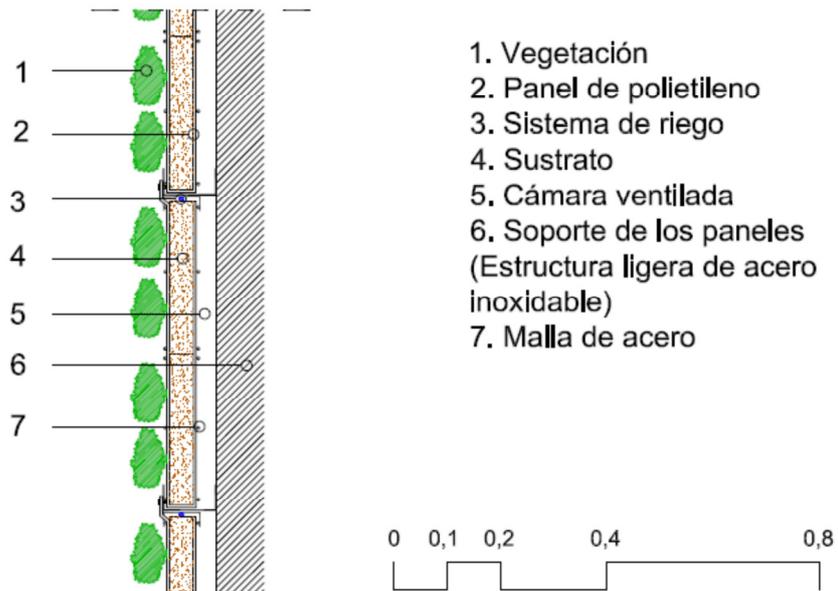


Imagen 27. Fachadas realizadas mediante el sistema desarrollado por EasyGreenELT®

1.2.2.2.4. Sistema Parabienta

El sistema Parabienta está desarrollado por la constructora Shimizu Corporation y por el fabricante de maquinaria agrícola Minoru Industrial Corporation. Esta pared revestida de vegetación consiste en colocar sobre la estructura ligera de acero inoxidable unos paneles de 60x60x5 cm. de polietileno, depositando el sustrato en su interior.

Este tipo de sustrato es esponjoso y se compone de una mezcla de tierra y poliéster, presentando propiedades como la retención y el drenaje de agua, y dotando mayor ligereza al sistema. [10]



Detalle constructivo 9. Sistema Parabienta. Elaboración propia.



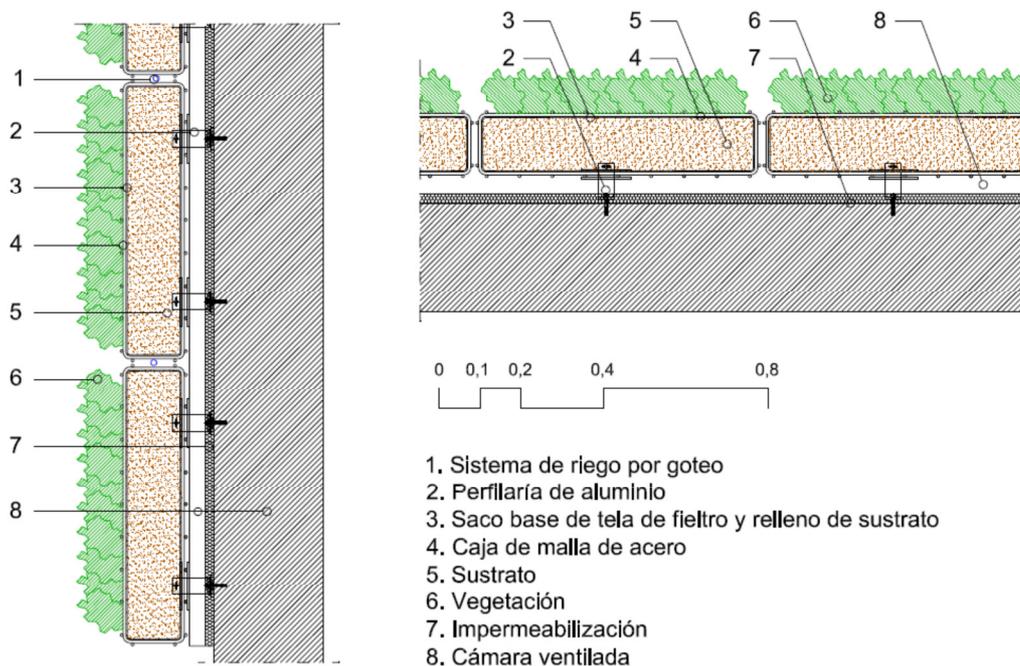
Imagen 28. Ejemplos de fachadas con parabienta

1.2.3. Sistemas con gaviones

1.2.3.1. Green wall system

Sistema desarrollado por Marie Clarke (paisajista) y Alan Conisbee (ingeniero de estructuras). Este sistema consiste en una estructura básica conformada por gaviones, esto es, jaulas realizadas a base de malla metálica electrosoldada rígida. En el interior de cada gavión se introduce un saco de fieltro relleno de sustrato, colgándose en el muro por medio de una estructura de rastreles. Una vez colocados, se hacen agujeros a los sacos de fieltro entre las rejillas de gaviones y se introducen las plantas

El sistema de riego es por goteo y se dispone de forma que el agua filtra a través de los sacos de sustrato, y lo mantienen empapado de forma continua. [11]



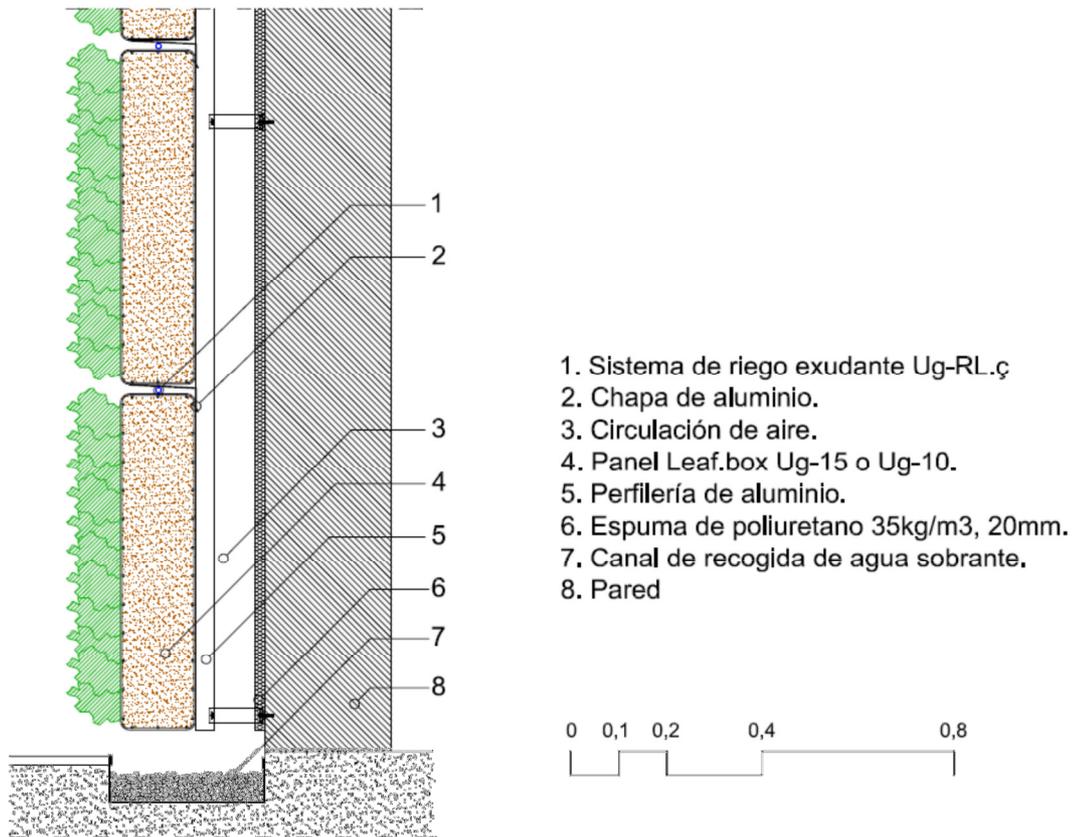
Detalle constructivo 10. Green wall system. Elaboración propia.



Imagen 29. Ejemplo fachada vegetal con gaviones

1.2.3.2. Sistema Leaf.box

Se trata de un sistema desarrollado por Urbanarbolismo se compone de paneles modulares de fibras vegetales con un espesor de 10 a 15cm instalados sobre bastidores. La naturaleza y durabilidad del sustrato utilizado permite una simplificación del sistema de fertirrigación, esto facilita el mantenimiento del jardín sobretodo en instalaciones particulares. [4]



Detalle constructivo 11. Sistema Leaf.box. Elaboración propia.



Imagen 30. Fachada verde con gaviones. Urbanarbolismo

1.2.3.3. Ejemplos en la Comunidad Valenciana.

A continuación, se muestran dos ejemplos de jardines verticales resueltos mediante gaviones que podemos encontrar en la comunidad valenciana.

1.2.3.3.1. Jardín vertical en Aldaia (Valencia)

Se trata de un jardín vertical situado en una de las paredes del centro comercial de Bonaire (Aldaia, Valencia). Este ha sido llevado a cabo por el estudio de paisajismo DStudio de Madrid.

Se trata, al igual que los anteriores, de un sistema donde la vegetación de la fachada se resuelve mediante gaviones colocados sobre una estructura auxiliar al cerramiento. [12]



Imagen 31. Jardín vertical Aldaia. Valencia.

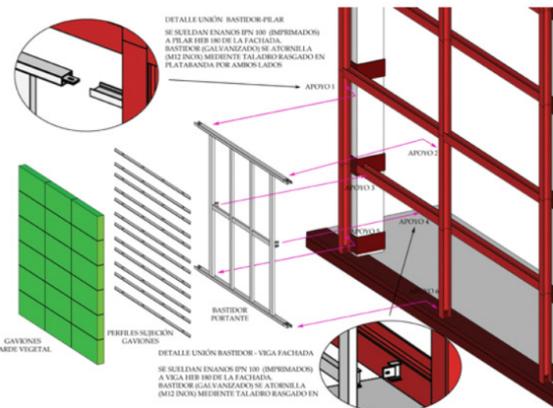


Imagen 32. Esquema del jardín vertical Aldaia. Valencia.

2.3.3.2. Jardín vertical (San Vicent del Raspeig, Alicante)

En la ciudad alicantina de San Vicent del Raspeig el arquitecto José María Chofre ha diseñado un jardín vertical realizado de manera similar a los anteriores. Aunque hay una diferencia con respecto a las ya estudiadas, en esta fachada, se ha dispuesto de unas pasarelas traseras, cuya finalidad es servir de acceso para el mantenimiento de la estructura y de la red de riego, así como, en su caso, la colocación y retirada de gaviones. [13]



Imagen 33. Jardín vertical San Vicent del Raspeig. Alicante



Imagen 34. Jardín vertical San Vicent del Raspeig.

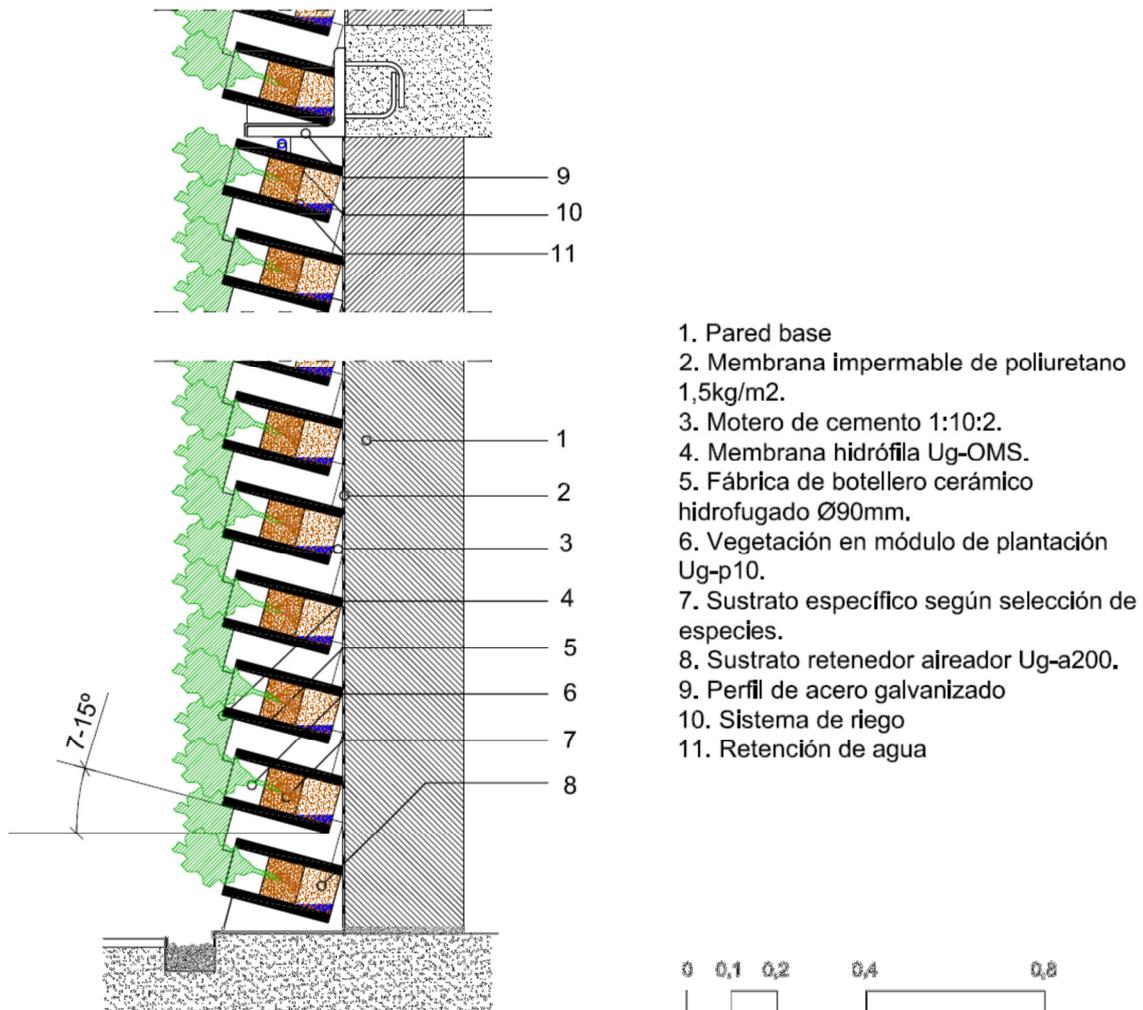
1.2.4. Paredes vivas con soporte cerámico

1.2.4.1. Sistema Eco.bin.

La empresa Urbanarbolismo ha desarrollado una nueva idea de fachada verde mediante un entramado de celdas cerámicas, podemos ver un ejemplo de este tipo de construcción en el hotel Ushúia situado en Ibiza.

Sobre el muro se coloca una membrana impermeable de poliuretano, sobre la que se van colocando las celdas cerámicas hidrofugadas hexagonales de dos huecos inclinadas $7-15^\circ$ sobre la horizontal. Las celdas cerámicas se fijan al muro mediante mortero y conectores de alambre de acero inoxidable de 4mm de diámetro cada 1,5 ml. En las celdas cerámicas se dispondrán los sustratos y las plantas (80 plantas/m²).

El sistema de riego se basa en una distribución sectorizada de líneas de goteo autocompensante con goteos de 4 l/h y separación de 3m entre las líneas. [4]



Detalle constructivo 12. Sistema Eco.bin. Elaboración propia.



Imagen 35. Hotel Ushüaia situado en Ibiza.



Imagen 36. Hotel Ushüaia situado en Ibiza.

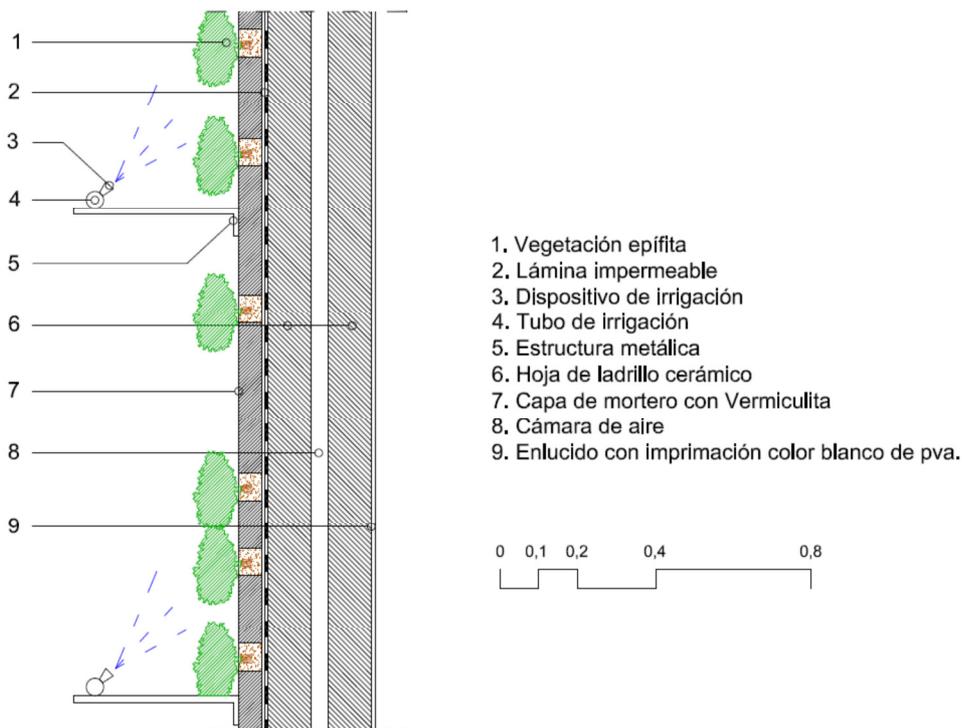


Imagen 37. Detalle Hotel Ushüaia situado en Ibiza.

1.2.5. Paredes vivas con hormigón vegetal

Este tipo de sistema vertical utiliza un hormigón polímero. Sobre el muro se coloca una lámina impermeable y sobre ésta el hormigón polímero, en el cual se realizan una serie de cavidades sobre la superficie, a modo de poros desde donde crecen las plantas. Este tipo de hormigón tiene una superficie permeable que permite el crecimiento de las plantas, lo que resalta la capacidad del hormigón para la captar el agua y mantener la humedad.

El sistema de riego se basa en la captación y reutilización de aguas de lluvia. El agua llega hasta las plantas (después de ser tratada) mediante un sistema de tuberías que recorren perimetralmente el edificio, y que van bombeándola hasta los muros. [14]



Detalle constructivo 13. Hormigón vegetal. Elaboración propia.



Imagen 38. Harmonia 57, Sao Paulo



Imagen 39. Harmonia 57. 2012

A continuación se ha realizado una tabla para ver de forma clara a qué tipo de muro vivo corresponde cada uno de los sistemas anteriormente descritos.

MUROS VIVOS	SISTEMAS CON FIELTROS GEOTEXTILES		Le mur vegetal de Patrick Blanc Sistema F+P
	SISTEMAS MODULARES	PANELES PLÁSTICOS	VGM Green Wall ELT EasyGreen® Living Wall Systems. Naturpanel® Aljibe Parabienta
		PANELES METÁLICOS	Gsy Pro Wall System Green Living Walls
	SISTEMAS CON GAVIONES		Sistema Leaf.Box Green wall system Jardin vertical en Aldaia, Valencia Jardin vertical san vicent del Raspeig, Alicante
	SISTEMA CERÁMICO		Sistema Eco.Bin de Urbanarbolismo
	HORMIGÓN VEGETAL		Sistema de hormigón vegetal

Tabla 2. Clasificación de los sistemas desarrollados por las empresas líderes en el mercado.

1.3. Estudio de los condicionantes. Elección del sistema.

En el apartado anterior se observan las diferencias significativas que hay entre los sistemas a la hora de abordar la vegetación de la fachada. Por lo que nos planteamos hacer una reflexión de la conveniencia de utilizar uno u otro sistema en función de las necesidades y condicionantes del proyecto.

Se han seleccionado siete aspectos que permiten comparar los diferentes sistemas y extraer unas primeras conclusiones sobre el uso de los mismos. Los aspectos a estudiar serán los siguientes:

- Inversión
- Complejidad del sistema
- Sistema de riego
- Factor estético
- Daños asociados
- Mantenimiento
- Sustitución de plantas

1.3.1. Sistemas con fieltros geotextiles

Inversión: Su precio es variable y elevado (en Europa el precio medio es de 500 €/m²) [15]

Complejidad del sistema: El peso de los fieltros geotextiles, permite un sistema de sujeción ligero, sencillo y económico de instalar.

Sistema de riego: Necesita un sistema complejo de riego y de filtrado, que aporte gran cantidad de agua y nutrientes. Este sistema es derrochador de agua y necesita un sistema de recogida inferior y reutilización de agua.

Factor estético: este sistema forma jardines verticales irregulares, con grandes cambios de forma y volumen, debido a la densidad de plantas que permite su sistema constructivo.

Daños asociados: Este tipo de sistemas no afectan al cerramiento ya que las plantas no están en contacto con la construcción, además se prevén mecanismos de impermeabilización necesarios para evitar daños de humedad y agua.

Mantenimiento: Necesita mucho mantenimiento y muchos cuidados, de forma permanente y continua. Tiene un mantenimiento caro. Y es absolutamente sensible a los fallos de riego ya que el fieltro no puede retener los nutrientes.

Sustitución de plantas: Es necesario reponer gran cantidad de plantas porque se secan. (Una media de 15% de plantas al año) [15]

1.3.2. Sistemas modulares con paneles

Inversión: Aunque el precio del sistema es elevado, es bastante inferior al del sistema anterior. (En Europa el precio medio es de unos 300 €/m²) [15]

Complejidad del sistema: Necesita de una estructura para la sujeción de los módulos. La instalación es lenta y necesita mano de obra cualificada.

Sistema de riego: Los sistemas modulares tienen poco consumo de agua y nutrientes. Estos suelen resolverse de forma sencilla mediante un sistema automático de riego por goteo, colocando los tubos entre los paneles.

Factor estético: En general en este sistema se puede colocar gran cantidad de plantas lo que permite obtener jardines uniformes.

Daños asociados: Al igual que el anterior estos tipos de sistemas no afectan al cerramiento ya que las plantas no están en contacto con la construcción, además se prevén mecanismos de impermeabilización necesarios para evitar daños de humedad y agua.

Mantenimiento: Los sistemas modulares tienen poca necesidad de mantenimiento y puede ser muy económico. Estos sistemas son resistentes a fallos de riego, tanto más cuanto mayor sea su espesor.

Sustitución de plantas: No es necesario reponer gran cantidad de plantas. (Menos del 2% de plantas al año) [15]

1.3.3. Sistemas con gaviones

Inversión: Aunque el precio del sistema es elevado, es bastante inferior al del sistema anterior. (En Europa el precio medio es de unos 350 €/m²) [15]

Complejidad del sistema: Este sistema necesita de una estructura fuerte para la sujeción de los gaviones, debido a su peso y su espesor. La instalación es lenta y necesita mano de obra cualificada.

Sistema de riego: El sistema de muro vegetal resuelto mediante gaviones tiene poco consumo de agua y nutrientes. El riego se suele efectuar de forma sencilla mediante un sistema automático de riego por goteo, colocando los tubos entre los módulos.

Factor estético: En general en este sistema se puede colocar gran cantidad de plantas lo que permite obtener jardines uniformes.

Daños asociados: Al igual que los anteriores este tipo de sistema no afecta al cerramiento ya que las plantas no están en contacto con la construcción, además se prevén mecanismos de impermeabilización necesarios para evitar daños de humedad y agua.

Mantenimiento: Los sistemas con gaviones tienen poca necesidad de mantenimiento y puede ser muy económico. Estos son resistentes a fallos de riego, tanto más cuanto mayor sea su espesor.

Sustitución de plantas: Al igual que pasa con los sistemas modulares de paneles no es necesario reponer gran cantidad de plantas. (Menos del 2% de plantas al año) [15]

1.3.4. Sistemas cerámicos

Inversión: En la instalación de jardines verticales el precio varía mucho en función del tamaño del jardín vertical. Conforme mayor es el la superficie menor es el precio por m² que oscila entre los 300 y los 800 euros/m². [16]

Complejidad del sistema: La instalación de este sistema es lenta. En ella se tendrá especial atención en el replanteo y aplomado de la fachada, también en la horizontalidad de las hiladas, humedecido de las piezas y espesor de las juntas.

Sistema de riego: En este sistema el agua se almacena en la parte trasera de las celdas permitiendo tiempos de riego más espaciados, esto junto a la selección de plantas crasas permite un menor consumo de agua. El sistema de riego utilizado en este tipo de fachadas es automático y realizado mediante líneas de goteo separadas un máximo de 3m.

Factor estético: En este sistema se puede colocar una densidad elevada de plantas (80 plantas/m²) lo que permite obtener jardines uniformes.

Daños asociados: A diferencia de los otros sistemas, éste está en contacto con la construcción lo que podría provocar daños en los muros. Aunque se prevé de mecanismos de impermeabilización necesarios para evitar daños de humedad y agua.

Mantenimiento: El mantenimiento de este tipo de fachadas es sencillo, aunque requiere de un trato más personalizado que los anteriores. El mantenimiento puede ser llevado a cabo por cualquier persona con nociones de jardinería. Necesita de inspecciones oculares mensuales en verano y bimensuales el resto del año, para reponer, podar y verificar el correcto funcionamiento del sistema de riego. [4]

Sustitución de plantas: Es necesario reponer sobre un 10% de la vegetación existente. [17]

1.3.5. Hormigón vegetal

Debido a lo innovador del sistema, no disponemos de datos como el precio, mantenimiento y reposición de plantas.

Complejidad del sistema: La fachada de hormigón vegetal está basada en un sistema modular de piezas de hormigón polímero lo que facilita la instalación del sistema. Para la realización de este tipo de fachadas no es necesario un sistema auxiliar de sujeción.

Sistema de riego: En este sistema, el agua de lluvia se capta para posteriormente ser tratada, y finalmente bombeada al muro. Éste se lleva a cabo con un sistema complejo de tuberías en la parte exterior del muro.

Factor estético: Debido a la baja densidad de plantas y a las tuberías del sistema de riego, este tipo de fachada, en vez de una estética natural paradójicamente nos da una estética industrial.

Daños asociados: Este tipo de sistemas no afectan al cerramiento ya que las plantas no están en contacto con la construcción, además se prevén mecanismos de impermeabilización necesarios para evitar daños de humedad y agua.

A continuaci3n se realiza una tabla donde se comparan los diferentes sistemas de muros vivos, teniendo en cuenta los aspectos anteriormente descritos (No se ha tenido en cuenta el sistema de hormig3n vegetal para la presente comparativa debido a que se trata de un sistema novedoso y no disponemos de datos suficientes para su an3lisis).

	SISTEMAS CON FILTROS GEOTEXTILES	SISTEMAS MODULARES	SISTEMAS CON GAVIONES	SISTEMA CERÁMICO
INVERSI3N				
COMPLEJIDAD DEL SISTEMA				
COMPLEJIDAD SISTEMA DE RIEGO				
FACTOR ESTÉTICO				
DAÑOS ASOCIADOS				
MANTENIMIENTO				
SUSTITUCI3N DE PLANTAS				

	ASPECTO FAVORABLE		ASPECTO INTERMEDIO		ASPECTO DESFAVORABLE
---	----------------------	---	-----------------------	---	-------------------------

Tabla 3. Estudio comparativo para la elecci3n de un sistema. Elaboraci3n propia.

1.4. Tipología de Fachadas. Elección de los cerramientos.

1.4.1. Introducción

Después de estudiar los diferentes tipos de muros vivos, es necesario conocer en qué tipo de fachadas podremos poner esta clase de revestimientos. Para ello, se han elaborado una serie de tablas, basándose en el Catálogo de Elementos Constructivos del Perfil de Calidad [18], donde se clasifican los distintos tipos de fachadas según el revestimiento exterior, la hoja principal, la existencia o no de cámara de aire, y la localización del aislamiento.

A la hora de nombrar los diferentes tipos de fachadas, se ha seguido un criterio similar al que se utiliza en el Catálogo de Elementos Constructivos.

- Las dos primeras letras nos indican que se trata de una fachada vegetal (FV).
- Los siguientes dos caracteres indican el tipo de fachada.
- Y por último, con una letra minúscula se indica el subtipo al que pertenece la solución
 - a: hoja principal de bloque o medio pie de ladrillo, más hoja interior de ladrillo.
 - b: hoja principal de bloque o medio pie de ladrillo, más hoja interior de yeso laminado o sin hoja interior
 - c: hoja principal de un pie de ladrillo, más hoja interior de yeso laminado o sin hoja interior.

1.4.2. Clasificación de las fachadas.

Antes de empezar con la clasificación, a continuación, se explica brevemente la leyenda que aparece en las tablas, referente a los distintos elementos que forman las fachadas.

- Revestimiento exterior (RE): protege el cerramiento de los agentes climáticos y ambientales, así como evita la entrada de agua del exterior. Las distintas soluciones adoptadas en la elaboración de las fachadas han sido:
 - Sistema con fieltros geotextiles
 - Sistemas con paneles
 - Sistemas con gaviones
 - Sistemas cerámicos
- Hoja principal (HP): sirve de soporte al resto de las hojas y componentes de la fachada así como, en su caso, función estructural. Las soluciones adoptadas han sido mediante:
 - Hoja principal de ladrillo cerámico macizo o perforado tomado con mortero de cemento en aparejo de 1 pie o medio pie.
 - Hoja principal de bloque prefabricado de hormigón o bloque cerámico de arcilla aligerada.
- Cámara de aire (CA): su función es la de favorecer la difusión de vapor que atraviesa la fachada.
 - Cámara de aire ventilada (CA-V)
 - Cámara formada por la perfilaría (CA-P)



- Aislamiento térmico (AT): su función es la de aislar térmicamente el espacio interior habitable. Aunque en las tablas no se especifica el tipo de aislamiento térmico, éste al igual que su espesor, será el adecuado para cumplir con las exigencias. Entre otros, estos pueden ser:
 - Lana mineral (MW)
 - Poliuretano (PUR)
 - Poliestireno Expandido (EPS)
 - Poliestireno Extruido (XPS)
- Hoja interior (HI): esta protege el aislamiento y sirve como soporte, en su caso, al revestimiento interior.
 - Ladrillo cerámico hueco doble de 7cm o 9cm (LH7 o LH9) tomado con mortero.
 - Placa de yeso laminado sobre estructura portante(PYL)
- Revestimiento interior (RI): Sirve de soporte de acabados interiores. La solución en caso de utilizar un revestimiento interior ha sido un guarnecido y enlucido de yeso.

Una vez definidos los diferentes elementos que van a formar parte de las fachadas verdes, se procede a la clasificación de los distintos tipos de envolventes obtenidos.

		CON CÁMARA DE AIRE VENTILADA				
		AISLAMIENTO POR EL EXTERIOR		AISLAMIENTO POR EL INTERIOR		
HOJA PRINCIPAL DE LADRILLO	FILTROS GEOTEXTILES					
	PANELES					
	GAVIONES					
	CERAMICA					

Tabla 4. Clasificación de fachadas con hoja principal de ladrillo y cámara de aire ventilada. Elaboración propia.

		CON DOBLE CÁMARA DE AIRE VENTILADA – AISLAMIENTO POR EL INTERIOR		
HOJA PRINCIPAL DE LADRILLO	FIELTROS GEOTEXTILES	 FV03a	 FV03b	 FV03c
	PANELES	 FV06a	 FV06b	 FV06c
	GAVIONES	 FV09a	 FV09b	 FV09c
	CER.			

Tabla 5. Clasificación de fachadas con hoja principal de ladrillo y doble cámara de aire ventilada. Elaboración propia.

		SIN CÁMARA DE AIRE VENTILADA – AISLAMIENTO POR EL INTERIOR		
HOJA PRINCIPAL DE LADRILLO	FILTRO S GEOT.			
	PANEL ES			
	GAVIO NES			
	CERÁMICA	 FV11a	 FV11b	 FV11c

Tabla 6. Clasificación de fachadas con hoja principal de ladrillo y sin cámara de aire ventilada. Elaboración propia.

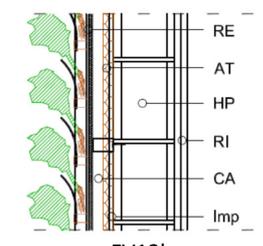
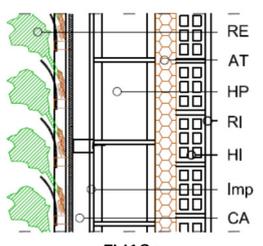
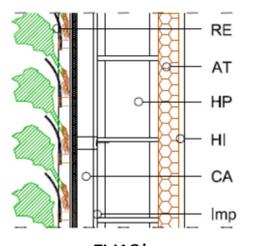
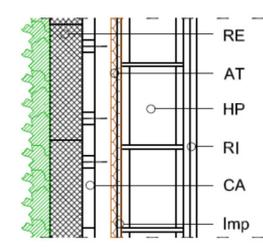
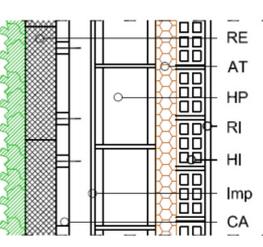
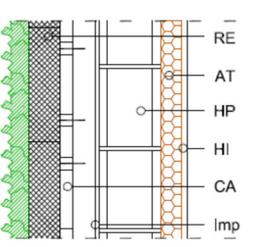
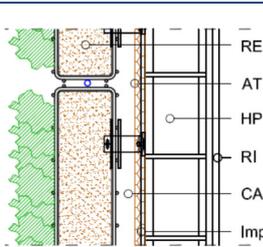
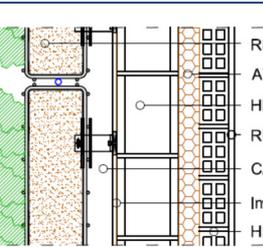
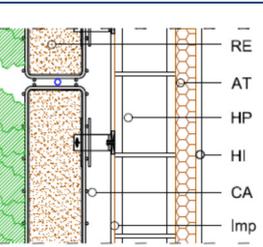
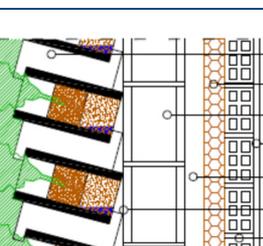
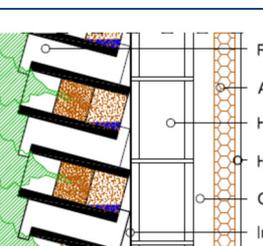
		CON CÁMARA DE AIRE VENTILADA		
		AISLAMIENTO POR EL EXTERIOR	AISLAMIENTO POR EL INTERIOR	
HOJA PRINCIPAL DE BLOQUE	FIELTROS GEOTEXTILES	 FV12b	 FV13a	 FV13b
	PANELES	 FV15b	 FV16a	 FV16b
	GAVIONES	 FV18b	 FV19a	 FV19b
	CERÁMICA		 FV21a	 FV21b

Tabla 7. Clasificación de fachadas con hoja principal de bloque y cámara de aire ventilada. Elaboración propia.

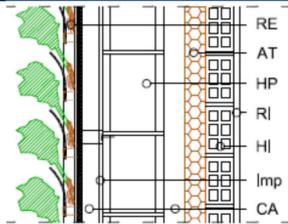
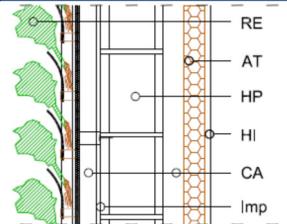
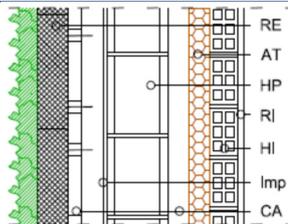
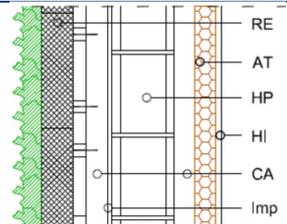
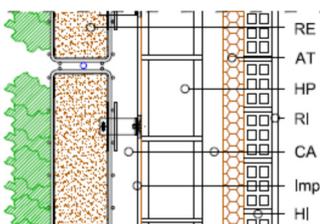
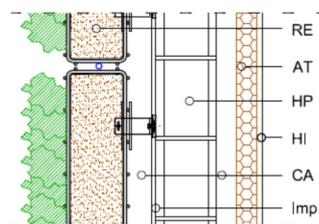
		CON DOBLE CÁMARA DE AIRE VENTILADA – AISLAMIENTO POR EL INTERIOR	
HOJA PRINCIPAL DE BLOQUE	FILTROS GEOTEXTILES	 FV14a	 FV14b
	PANELES	 FV17a	 FV17b
	GAVIONES	 FV20a	 FV20b
	CER.		

Tabla 8. Clasificación de fachadas con hoja principal de bloque y doble cámara de aire ventilada. Elaboración propia.

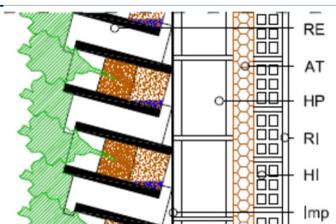
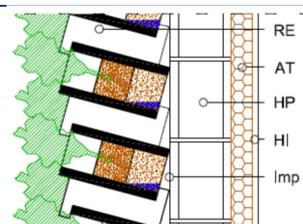
		SIN CÁMARA DE AIRE VENTILADA – AISLAMIENTO POR EL INTERIOR	
HOJA PRINCIPAL DE BLOQUE	FILTRO S GEOT.		
	PANEL ES		
	GAVIONES		
	CERAMICA	 FV22a	 FV22b

Tabla 9. Clasificación de fachadas con hoja principal de bloque y sin cámara de aire ventilada. Elaboración propia.

1.4.3. Conclusiones

La envolvente arquitectónica es el elemento más importante de un edificio. Una envolvente bien diseñada y gestionada puede convertirse en una magnífica herramienta para el buen acondicionamiento térmico y acústico del edificio.

A su vez, un buen diseño de esta, nos permite disfrutar de gran ahorro de energía, con la consiguiente disminución de la contaminación del medio ambiente.

El comportamiento de la envolvente, en este caso las fachadas, no solo depende del tipo de revestimiento, sino de todos y cada uno de los elementos que la conforman. Por consiguiente, a la hora de hacer un análisis del comportamiento de los diferentes revestimientos vegetales, debemos tener presente que los cerramientos deben ser idénticos. Esto es, que tanto la hoja principal, como la interior (si procede), el aislamiento térmico, la cámara de aire (si existe), y el revestimiento interior, serán del mismo material y tendrán el mismo espesor y localización, en los cerramientos a estudiar. De esta manera se podrá analizar y comparar los diferentes tipos de revestimientos vegetales.

2. ESTUDIO DE LA VEGETACIÓN COMO REGULADOR TÉRMICO Y ACÚSTICO.

2.1. Estudios de los factores

En este apartado se procede al estudio de los factores que influyen en el comportamiento térmico y acústico de los sistemas vegetales.

2.1.1. La vegetación como regulador térmico.

Para el estudio del acondicionamiento térmico de los muros vivos, tendremos en cuenta los diferentes factores que influyen en la regulación térmica. Como son el aislamiento térmico, la interacción con la radiación solar (la sombra), el enfriamiento por evaporación y la variación del efecto del viento sobre el edificio.

Son muchos los estudios relacionados con el potencial de enfriamiento de las fachadas verdes. Un ejemplo de ellos, es el realizado por Wong Nyuk Hien en 2008 en Singapur (clima tropical), en él se realiza un análisis térmico de ocho tipos diferentes fachadas vegetales mostrando una reducción máxima de la temperatura de 11,6°C, esta se consigue mediante el sistema de Parabienta [19]. Un año más tarde, Eumorfopoulo y Kontoleon realizan otro estudio, en el que obtienen una reducción de la temperatura de la fachada de hasta 10,8° C para un clima mediterráneo. [20]

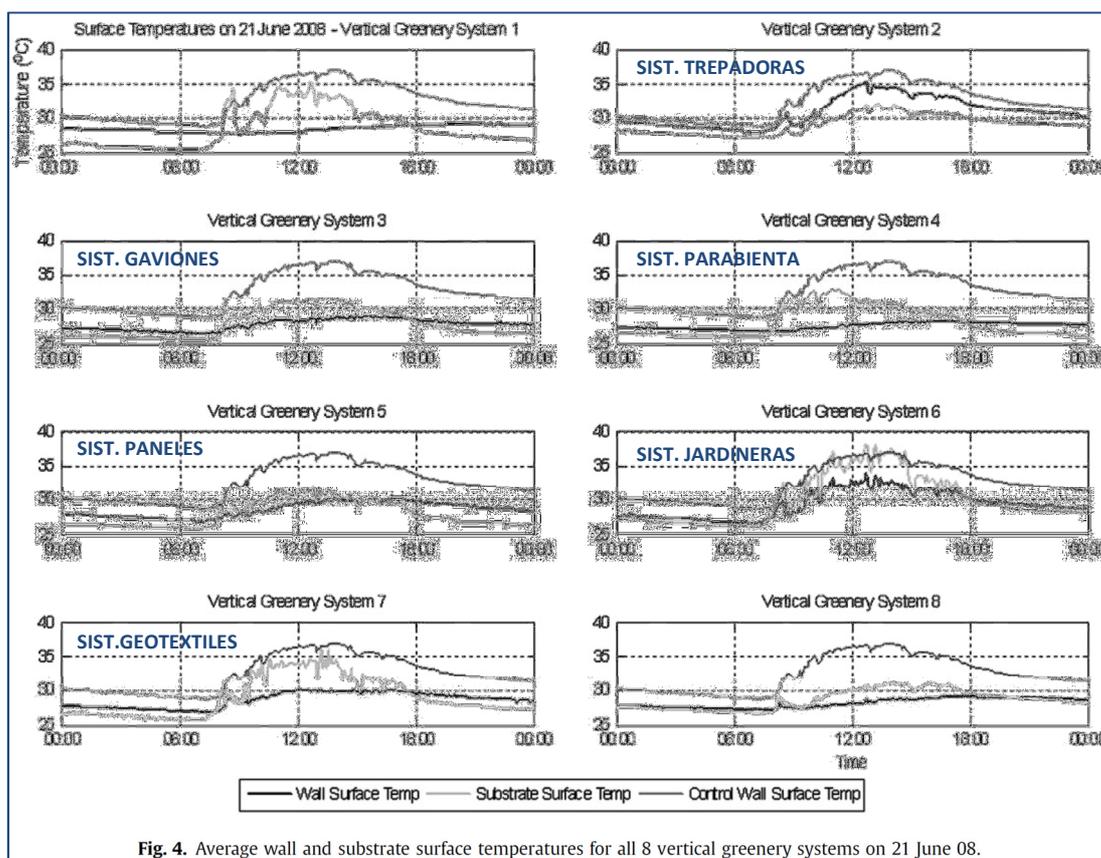


Fig. 4. Average wall and substrate surface temperatures for all 8 vertical greenery systems on 21 June 08.

Imagen 40. Comparación térmica de una pared sin vegetación (control Wall) con 8 sistemas diferentes de jardines verticales, realizada el 21 de Junio del 2008. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. [19]

Un ensayo realizado por la Universidad Politécnica de Madrid nos muestra las ventajas de la vegetación en la temperatura interior. Este ensayo se realiza sobre un jardín vertical, resuelto mediante módulos de polipropileno, en un edificio experimental de Intemper S.A. en Colmenar Viejo (Madrid).

En la siguiente gráfica, la cual recoge las diferentes temperaturas registradas durante el periodo de siete días, se puede observar que en el interior del módulo con vegetación, las temperaturas son inferiores a las del módulo sin vegetación. [21]

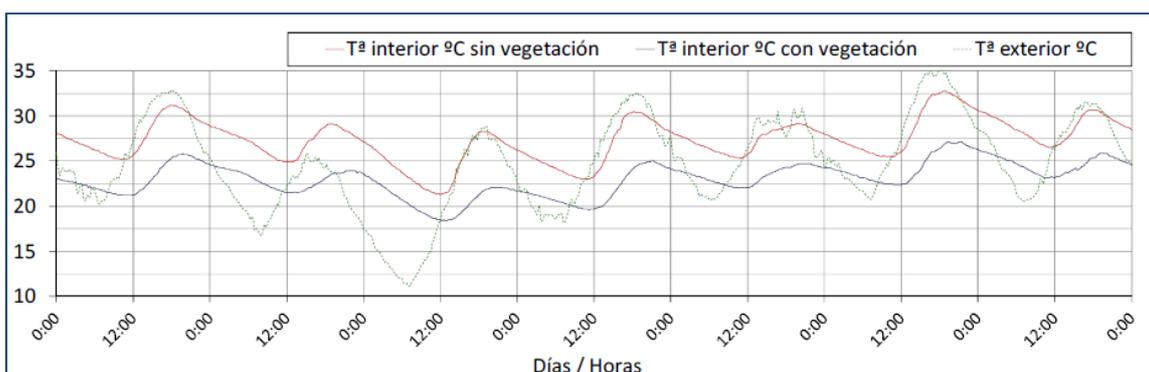


Imagen 41. Comparación térmica, mediante motorización con sensores en fachada, de la temperatura interior de un módulo con vegetación y sin vegetación. [21]

2.1.1.1. Aislamiento térmico

La vegetación en las fachadas resulta poco efectiva como aislante térmico, aunque la estructura conceptual de los muros vivos proporciona un eficaz aislamiento exterior, sobre todo en verano. Esta estructura es similar a la de las fachadas ventiladas. Se dispone un muro de alta inercia térmica al interior, el aislante térmico al exterior, seguido de una cámara de aire y finalmente la vegetación. [22]

El aislamiento térmico. depende de la densidad de follaje, la modificación del aire de espacio intermedio, del sustrato (espesor, densidad y contenido de humedad) y del tipo de aislante del edificio.

2.1.1.2. Interacción con la radiación solar

En las fachadas tradicionales, la radiación solar que incide en ellas es absorbida en su mayoría por los materiales que las forman, provocando que los cerramientos se calienten, este calor posteriormente vuelve a radiar las superficies de alrededor del edificio. En cambio, en los jardines verticales la vegetación intercepta la radiación solar y puede reducir el calentamiento. De toda la energía solar que cae sobre una hoja, el 5-30% se refleja, 5-20% se utiliza para la fotosíntesis, el 10-50% se transforma en calor, un 20-40% se utiliza para la evapotranspiración y el 5-30% pasa a través de la hoja [23]

La sombra directa es uno de los beneficios más evidentes de la vegetación. Las plantas en las fachadas actúan como elemento bloqueador de la radiación solar reduciendo significativamente la cantidad de calor radiada alrededor del edificio.

La sombra depende fundamentalmente de la densidad de follaje y del tipo de sistemas empleado en la realización de los muros.

2.1.1.3. El enfriamiento por evaporación

Como se ha dicho en el apartado anterior, parte de la energía absorbida por la vegetación se invierte en el proceso de evapotranspiración. Este genera un enfriamiento evaporativo, de unos 2450 Joules por cada gramo de agua evaporada, creando una sensación de frescor en el ambiente.

El uso de fachadas verdes contribuye al descenso de las temperaturas de los cerramientos del edificio y la mejora del ambiente exterior e interior de este. La evaporación pasiva y activa de agua es un medio barato y eficaz para climatizar un edificio. La evapotranspiración de un metro cúbico de agua consume 680 kWh de calor.

Un estudio realizado por Schmidt, en Berlín sobre la fachada sur de un edificio durante los meses de julio, agosto y septiembre del 2005, muestra una evapotranspiración media entre 5,4 y 11,3 milímetros por día. Provocando un enfriamiento medio de 157 kWh por día. [24]

El enfriamiento por evaporación, está relacionado con el tipo de planta y su exposición, el clima (seco o húmedo), la velocidad del viento y el sustrato (espesor, densidad y contenido de humedad)

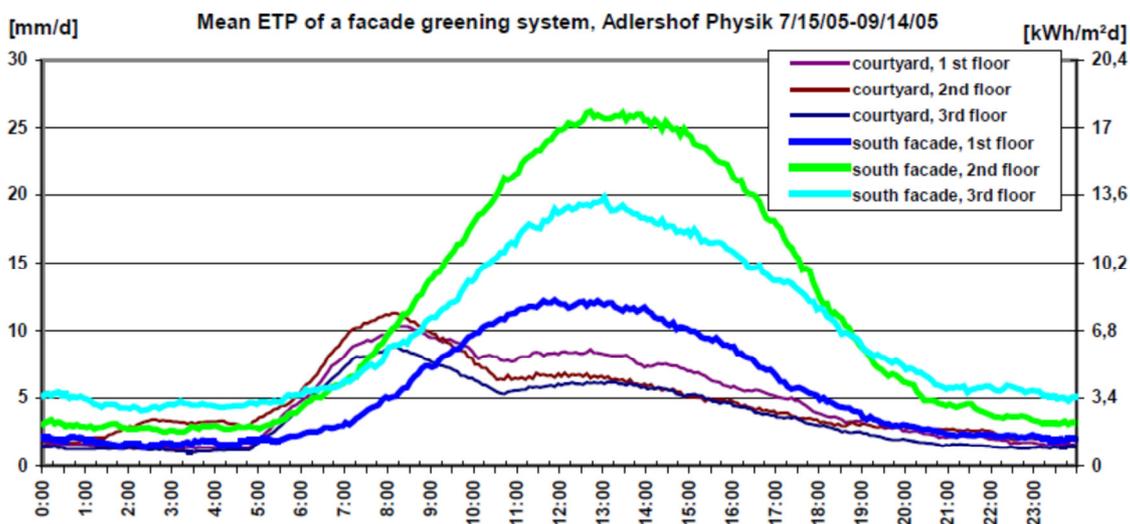


Imagen 42. Evapotranspiración media, de una fachada vegetal durante los meses de verano del 2005 [24]

2.1.1.4. Variación del efecto del viento

Una de las maneras de aumentar la eficiencia energética de los edificios es reduciendo el efecto que produce el viento sobre las superficies de este.

La vegetación en las fachadas actúa como una barrera modificadora de los efectos del aire, al igual que contribuye a la variación del clima de la cámara de aire situada entre la fachada y la pantalla vegetal, lo que contrarresta el efecto negativo que produce la sombra en invierno por la utilización de este tipo de fachadas.

La variación del efecto del viento sobre la edificación, depende de la densidad de follaje, la orientación de la fachada y de la dirección y velocidad del propio viento.

Un estudio llevado a cabo por Perini en 2011, muestra la capacidad de la vegetación de reducir la velocidad del viento que incide en los cerramientos del edificio. Gracias a la cámara de aire situada detrás de la vegetación, la resistencia térmica de la construcción se beneficia de un incremento de 0,09 m²·K/W. [25]

	Highest T [°C]		Average T [°C]		Lowest T [°C]	
Greened wall 1 m air temperature	20.68	100%	15.15	100%	12.28	100%
Greened wall 0.1 m air temperature	21.67	105%	15.42	102%	12.47	102%
Greened wall outer leaf surface temperature	17.18	83%	10.95	72%	7.55	62%
Greened wall material surface temperature	14.89	72%	9.18	61%	6.86	56%
Greened wall inner leaf air temperature	22.05	107%	16.27	107%	12.91	105%
Greened wall air cavity air temperature	20.91	101%	16.33	108%	13.23	108%
Greened wall surface temperature	10.83	52%	7.10	47%	6.58	54%
	Highest W [m/s]		Average W [m/s]		Lowest W [m/s]	
Greened wall 1 m wind speed	2.33	100%	0.47	100%	0.12	100%
Greened wall 0.1 m wind speed	0.63	27%	0.56	119%	0.39	319%
Greened wall inner leaf wind speed	0.36	15%	0.41	87%	0.23	184%
Greened wall air cavity wind speed	0.13	6%	0.10	21%	0.06	45%

Tabla 10. Muro vivo. Resumen de la temperatura de la acción del viento sobre la superficie del cerramiento. [25]

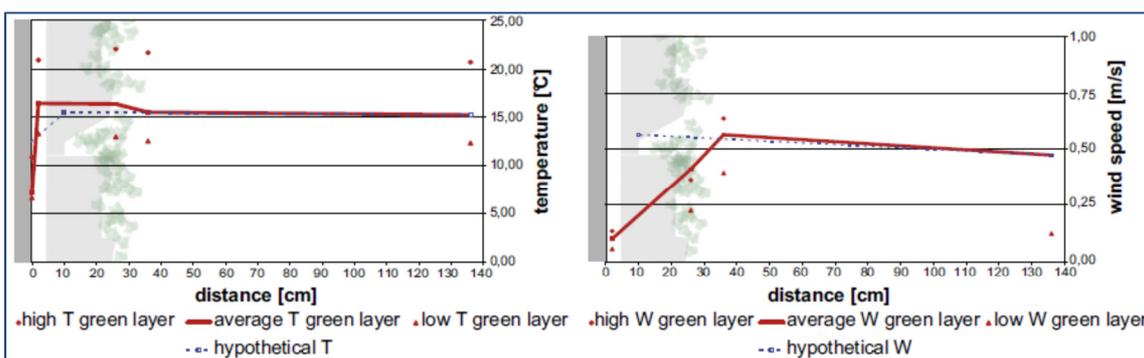


Imagen 43. Muro vivo. Gráfica de la derecha representación de la temperatura y gráfica de la izquierda representación de la acción del viento sobre la superficie del cerramiento. [25]

A modo de resumen, se ha elaborado una tabla donde se clasifican los diferentes factores y aspectos funcionales de la vegetación que afectan directamente a su capacidad de regulación térmica.

<p>AISLAMIENTO TÉRMICO</p>	<p>Densidad del follaje. Modificación del aire de espacio intermedio. Sustrato (espesor, densidad, contenido de humedad)</p> <p>Tipo de aislante del edificio.</p>
<p>INTERACCIÓN CON LA RADIACIÓN SOLAR -SOMBRA-</p>	<p>Densidad del follaje. Tipo de sistema empleado.</p>
<p>ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO</p>	<p>Tipo de planta.</p> <p>Clima (seco / húmedo) Velocidad del viento. Sustrato (espesor, densidad, contenido de humedad)</p>
<p>EFFECTO DEL VIENTO SOBRE LA EDIFICACIÓN</p>	<p>Densidad del follaje. Orientación de la fachada. Dirección y velocidad del viento.</p>

Tabla 11. Clasificación de los diferentes factores de la vegetación que afectan a la regulación térmica. Elaboración propia

2.1.2. Acondicionamiento acústico

Son pocos los estudios realizados sobre el comportamiento de las fachadas verdes frente al ruido.

Un estudio realizado por Wong Nyuk Hien, donde se analizan ocho tipos diferentes de jardines verticales, muestra una fuerte atenuación a bajas y medias frecuencias debido a la absorción del sustrato. Mientras que en las a altas frecuencias esta atenuación es más pequeña, y esto es debido a la dispersión de la vegetación. En el estudio observamos que con la vegetación se consigue una reducción de 5 dB a 10 dB para la gama de frecuencia baja a media (125 a 1250 Hz) dependiendo del sistema empleado. Respecto a las altas frecuencias (4 a 10 kHz), se observa, en general, una reducción de 2 dB a 4 dB. [19]

Vertical greenery system	Insertion loss (dB)			
	Zone B: 125–1250 Hz		Zone D: 4–10 kHz	
	Lowest	Highest	Lowest	Highest
2	-1.1	9.9	2.2	3.8
1	-2.5	5.6	-0.6	3.1
3	-4.5	2.2	-4.0	3.2
4	-1.5	4.0	-2.5	2.0
5	-3.3	7.0	0.3	2.8
6	-2.4	5.4	-1.6	3.2
7	0.3	8.4	0.0	3.9
8	-0.6	3.1	2.6	8.8

Tabla 12. Resumen de la reducción de sonido, en bajas, medias y altas frecuencias, en 8 tipos diferentes de fachadas verdes.

Se comprobó mediante una cámara de reverberación que el coeficiente de absorción acústica del sistema de vegetación vertical era mayor que el resto de materiales de edificios. Con una mayor densidad de follaje, hay un aumento del coeficiente de absorción del sonido. [19]

Frequency (Hz)	Sound absorption coefficient (greenery coverage)		
	43%	71%	100%
100	0.06	0.04	0.04
125	0.12	0.10	0.09
160	0.10	0.11	0.14
200	0.17	0.18	0.18
250	0.25	0.28	0.23
315	0.31	0.30	0.29
400	0.32	0.30	0.32
500	0.51	0.47	0.49
630	0.57	0.55	0.47
800	0.50	0.44	0.41
1000	0.61	0.54	0.48
1250	0.54	0.57	0.49
1600	0.65	0.57	0.51
2000	0.66	0.56	0.49
2500	0.64	0.57	0.50
3150	0.62	0.56	0.49
4000	0.57	0.51	0.47
5000	0.58	0.54	0.48

Tabla 13. Resumen de los coeficientes de absorción del sonido dependiendo de la densidad de follaje de la fachada verde.

Como hemos visto la vegetación y el sustrato contribuyen a la mejora de la reducción del sonido. El coeficiente de reducción del ruido NRC, es un indicador que representa la absorción del sonido, siendo 1 una absorción perfecta y 0 un reflejo perfecto. En frecuencias de 1000Hz, el sustrato tiene un elevado NRC de 0,64 y una vegetación densa de 0,23. Estos valores comparados con 0,07 que es el coeficiente de reducción del sonido de un muro de hormigón pintado, el 0,01 del contrachapado o el 0,03 del vidrio ordinario, demuestran que los sistemas de vegetación vertical pueden mejorar el comportamiento del cerramiento frente al ruido. [26]

El aislamiento acústico dependerá de la especie de la planta, las dimensiones y forma de la pantalla vegetal y la ubicación con respecto al sonido.

2.2. Evaluación de las prestaciones

En el apartado anterior hemos comprobado que son numerosos los estudios y ensayos que muestran los beneficios térmicos y acústicos de los muros vivos frente a los muros convencionales.

En este apartado se va a realizar una evaluación de las prestaciones de las fachadas vegetales estudiadas. Esta evaluación consistirá en una comparativa tanto térmica como acústica de éstas.

Debido a la escasez de medios a la hora de poder realizar algún ensayo, se ha procedido a cuantificar las diferentes prestaciones, siguiendo las especificaciones que se indican en el Código Técnico de la Edificación

Antes de empezar con la evaluación se han definido los diferentes tipos de revestimientos vegetales estudiados, y cada una de las capas que forman las fachadas resultantes descritas en el apartado 1.4.

Revestimiento vegetal mediante fieltros geotextiles

	λ (W/ mK)	e (m)	m (Kg/m ²)
Panel de PVC espumado de 20mm.	0,085 [27]	0,020	30 [4]
Dos capas de fieltro geotextil de 1,5mm + 1,5mm.	0,060 [28]	0,003	
Capa de vegetación de 70mm.	0,120 [29]	0,070	

Tabla 14. Descripción del sistema de revestimiento vegetal mediante fieltros geotextiles. Elaboración propia.
Revestimiento vegetal mediante paneles*

	λ (W/ mK)	e (m)	m (Kg/m ²)
Panel modular de polipropileno 15mm	0,220 [28]	0,0150	60 *
Relleno de sustrato (tierra vegetal) 135mm	0,520 [28]	0,135	
Capa de fieltro 1,5mm	0,060 [28]	0,0015	
Capa de vegetación de 70mm.	0,120 [29]	0,070	

* Como se ha visto al principio del estudio hay dos tipos de paneles, plásticos y metálicos, los metálicos....Así que se realizarán los cálculos considerando sólo los paneles plásticos.

* La masa por unidad de superficie del sistema será similar a la de los gaviones.

Tabla 15. Descripción del sistema de revestimiento vegetal mediante paneles. Elaboración propia.
Revestimiento vegetal mediante gaviones *

	λ (W/ mK)	e (m)	m(Kg/m ²)
Gavión resuelto mediante caja de malla de acero.	-	-	60 [4]
Saco base de tela de fieltro 1,5mm	0,060 [28]	0,003	
Relleno de sustrato (tierra vegetal) de 150mm	0,520 [28]	0,150	
Capa de vegetación de 70mm.	0,120 [29]	0,070	

*Para los siguientes cálculos no se ha considerado la malla de acero.

Tabla 16. Descripción del sistema de revestimiento vegetal mediante gaviones. Elaboración propia.
Revestimiento vegetal mediante celdas cerámicas*

	λ (W/ mK)	e (m)	m(Kg/m ²)
Membrana impermeable de poliuretano.	0,25 [28]	0,05	350 [4]
Mortero mixto 1:2:10.	0,80 [28]	0,02	
Celdas cerámicas hexagonales hidrofugadas de 2huecos	1,3 [28]	0,24	
Sustrato retenedor aireador.	0,10 [4]	0,08	
Sustrato (tierra vegetal)	0,52 [28]	0,08	
Capa de Vegetación	0,12 [29]	0,08	

* Para los cálculos no se considera la inclinación de las celdas

Tabla 17. Descripción del sistema de revestimiento vegetal mediante celdas cerámicas. Elaboración propia.

DEFINICION	λ (W/ mK)	ρ (kg/m ³)	e (m)	m (kg/m ²)
CA			0,050	
AT-L	0,031	40	0,050	2,000
AT-EPS	0,029	30	0,050	1,500
ENF-C + ENL	0,700	1.350	0,030	40,500
ENL	0,570	1.150	0,015	17,250
LP 11'5	0,567	1.150	0,115	132,250
LM 11'5	0,567	1.020	0,115	117,300
1 pie LP	0,567	1.150	0,240	276,000
1 pie LM	0,567	1.020	0,240	244,800
BH15	0,789	1.040	0,150	156,000
BH20	0,923	860	0,200	172,000
BT14	0,443	1.170	0,140	163,800
BT19	0,433	1.080	0,190	205,200
PYL-D	0,250	825	0,013	10,725
PYL-A	0,250	825	0,013	10,725
LH7	0,432	930	0,070	65,100
LH9	0,212	630	0,090	56,700

Tabla 18. Definición de los elementos de los cerramientos. Elaboración propia.

2.2.1. Acústica

Se ha visto en el punto 2.1.2. de este estudio, como los sistemas de revestimiento vegetal contribuyen a la reducción del sonido. En el estudio de Wong NYuk Hien, por ejemplo, se puede observar la reducción de los decibelios según sea la frecuencia, al igual que un aumento del coeficiente de absorción del sonido dependiendo de la densidad de follaje [19]

En este apartado se ha decidido evaluar las prestaciones acústicas teniendo en cuenta sólo el índice global de reducción acústica, R_A .

Para ello hemos seguido las especificación descritas en el Documento Básico de Protección frente al ruido del Código Técnico de la Edificación (CTE DB HR). En él se detallan los pasos a seguir para la obtención de este.

El índice global de reducción acústica, R_A se define en como la valoración global, de dBA, del índice de reducción acústica, R , para un ruido incidente rosa normalizado, ponderado A. [30]

Los índices de reducción acústica se determinarán mediante ensayo en laboratorio. No obstante, y en ausencia de ensayo, puede decirse que el índice de reducción acústica proporcionado por un elemento constructivo de una hoja de materiales homogéneos, es función casi exclusiva de su masa y son aplicables las siguientes expresiones (ley de masa) que determinan el aislamiento R_A , en función de la masa por unidad de superficie, m , expresada en kg/m^2 [30]:

$$m \leq 150 \text{ kg}/\text{m}^2 \rightarrow R_A = 16,6 \cdot \log m + 5 \text{ [dBA]} \quad \text{Expresión 1}$$

$$m \geq 150 \text{ kg}/\text{m}^2 \rightarrow R_A = 36,5 \cdot \log m - 38,5 \text{ [dBA]} \quad \text{Expresión 2}$$

En estas fórmulas queda reflejado de forma clara que al aumentar la masa de la fachada, aumenta el índice global de reducción acústica, y por consiguiente mejoran las prestaciones.

La masa de la fachada está compuesta por la masa del cerramiento, más la masa del revestimiento. A la hora de comparar los distintos sistemas de revestimiento vegetal, el cerramiento debe ser el mismo en cada una de las soluciones, por lo que su resultado solo depende de la masa del revestimiento. Pudiendo afirmar que el revestimiento vegetal de mayor masa por metro cuadrado será el que mejor comportamiento acústico tenga.

Como se ha podido observar, al principio de este capítulo, el sistema de revestimiento vegetal resuelto mediante celdas cerámicas es el de mayor masa por metro cuadrado, por lo que es el de mejor comportamiento acústico, siendo el peor, el sistema resuelto mediante fieltros geotextiles.

$$m_{\text{(CERÁMICA)}} > m_{\text{(GAVIONES)}} , m_{\text{(PANELES)}} > m_{\text{(FIELTROS GEOTEXTILES)}}$$

$$R_{A \text{(CERÁMICA)}} > R_{A \text{(GAVIONES)}} , R_{A \text{(PANELES)}} > R_{A \text{(FIELTROS GEOTEXTILES)}}$$

En las tablas que aparece al final de este apartado (desde la tabla 24 a la 34), se cuantifican tanto la masa como el índice global de reducción acústica de cada una de las fachadas resultantes descritas en el punto 1.4 de este estudio.

2.2.2. Térmica

La evaluación de las prestaciones térmicas se ha basado en la cuantificación de la transmitancia térmica de cada una de las fachadas resultantes. El cálculo de dicha transmitancia térmica se elabora mediante lo dispuesto en los Apéndice E y F del CTE-HE.1.

En el apéndice E, se especifica que para cerramientos en contacto con el aire exterior, tales como fachadas, cubiertas y suelos, el cálculo de su transmitancia térmica (U) viene dada por la siguiente expresión [31] :

$$\text{Transmitancia térmica total} \rightarrow U = \frac{1}{R_T} \quad (W/m^2K) \quad \text{Expresión 3}$$

$$\text{Resistencia térmica total} \rightarrow R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (m^2K/W) \quad \text{Expresión 4}$$

$$\text{Resistencia térmica de cada capa} \rightarrow R = \frac{e}{\lambda} \quad (m^2K/W) \quad \text{Expresión 5}$$

Siendo

U la transmitancia térmica total del componente constructivo

R_T la resistencia térmica total del componente constructivo, constituido por capas térmicamente homogéneas. En caso de un componente constituido por capas homogéneas y heterogéneas, como ocurre con el revestimiento vegetal cerámico la resistencia térmica total R_T debe calcularse mediante el procedimiento descrito en el apéndice F.

R_1, R_2, \dots, R_n las resistencias térmicas de cada capa definidas según la expresión 5

R_{si} y R_{se} las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la tabla 19 de acuerdo a la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio [$m^2 K/W$]. En nuestro caso, al tratarse de cerramientos verticales

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	Rse	Rsi
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal	0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente	0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente	0,04	0,17

Tabla 19. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en [$m^2 K/W$]. TablaE.1 del CTE HE1 [31]

R la resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea

o el espesor de la capa [m]. En caso de una capa de espesor variable se considerará el espesor medio.

λ la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa, calculada a partir de valores térmicos declarados según la norma UNE EN ISO 10 456:2001 o tomada de Documentos Reconocidos, [W/m K].

Las cámaras de aire pueden ser consideradas por su resistencia térmica. Para la obtención de la resistencia térmica de nuestras fachadas se consideran cámaras de aires sin ventilar de 5cm.

e (cm)	Sin ventilar	
	horizontal	vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

Tabla 20. Resistencias térmicas de cámaras de aire en [m² K/W]. TablaE.1 del CTE HE1 [31]

Como se ha comentado, el cálculo de la resistencia térmica del revestimiento vegetal resuelto mediante celdas cerámicas, se resolverá aplicando las especificaciones descritas en el apéndice F del CTE HE1.

Para simplificar los cálculos se ha considerado que las celdas cerámicas no están inclinadas.

En el apéndice F se explica que la resistencia térmica total R_T , de un elemento constituido por capas térmicamente homogéneas y heterogéneas paralelas a la superficie, es la media aritmética de los valores límite superior e inferior de la resistencia [31]:

$$\text{Resistencia térmica total} \rightarrow R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad \left(\text{W/m}^2\text{K} \right) \quad \text{Expresión 6}$$

Siendo R'_T y R''_T los límites superior e inferior de la resistencia térmica total, respectivamente.

Si la relación entre ambos es mayor a 1,5 $\left(\frac{R'_T}{R''_T} > 1,5 \right)$, se deberán utilizar los métodos descritos en la norma UNE EN ISO 10 211-1: 1995 o UNE EN ISO 10 211-2: 2002.

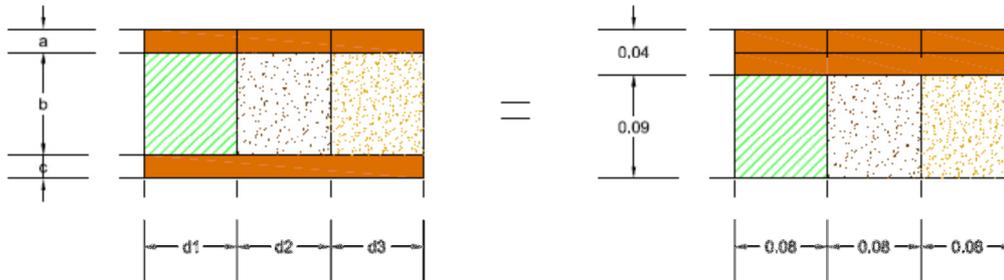
En nuestro cerramiento comprobamos, con los datos obtenidos en la tabla 22, que la relación del límite superior e inferior de la resistencia total, es inferior a 1,5. Por tanto, no tendremos que cambiar a los métodos descritos en las normas UNE del párrafo anterior.

$$\frac{R'_T}{R''_T} = \frac{0,80}{0,61} = 1,31 < 1,5$$

Para realizar el cálculo de los valores límite superior e inferior, el elemento se divide en rebanadas horizontales y verticales, de manera que las capas que se generan sean térmicamente homogéneas.

La rebanada horizontal m ($m=a, b$) tiene un área fraccional f_m y la rebanada vertical j ($j=1, 2, 3$) tiene un espesor d_j . Por tanto la capa mj tiene una conductividad térmica λ_{mj} , un espesor d_j , un área fraccional f_m y una resistencia térmica R_{mj} .

El área fraccional de una sección es su proporción del área total. Entonces $f_a + f_b = 1$.



Para el **cálculo del límite superior de la resistencia térmica total R'_T** se determina que el flujo de calor es unidimensional y perpendicular a las superficies del componente. Este viene dado por la siguiente expresión [31]:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R'_{Ta}} + \frac{f_b}{R'_{Tb}} \left(W/m^2K \right) \text{ Expresión 7}$$

Siendo:

R_{Ta}, R_{Tb} las resistencias térmicas totales de cada rebanada horizontal, calculada mediante la expresión 4.

f_a, f_b las áreas fraccionales de cada rebanada horizontal.

Para el **cálculo del límite inferior de la resistencia térmica total R''_T** se determina que todos los planos paralelos a la superficie del componente son superficies isotermas [31].

$$\text{Límite inferior de } R_T \rightarrow R''_T = R_{si} + R_{j1} + R_{j2} + R_{j3} + R_{se} \left(m^2K/W \right) \text{ Expresión 8}$$

Siendo:

R_j la resistencia térmica equivalente para cada rebanada vertical térmicamente heterogénea y se calcula con la siguiente expresión [31]:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \frac{f_c}{R_{cj}} \left(W/m^2K \right) \text{ Expresión 9}$$

R_{aj}, R_{bj}, R_{cj} las resistencias térmicas de cada capa de cada rebanada vertical, calculadas mediante la expresión 5

f_a, f_b, f_c s las áreas fraccionales de cada rebanada vertical.

R_{si} y R_{se} las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la tabla 19 de acuerdo a la posición del elemento, dirección del flujo de calor [$m^2 K/W$].

Una vez explicados los pasos a seguir a la hora de calcular las transmitancia de los elementos constructivos, se procede a la determinación de dichos valores.

En un primer lugar se elaboran una serie de tablas donde se definen las resistencias de los elementos que formarán parte de cada una de las fachadas descritas en el capítulo 1.4.

Para el cálculo de la resistencia térmica total de los sistemas de revestimiento vegetal con fieltros geotextiles, paneles y gaviones, al estar constituidos por capas térmicamente homogéneas se calculan siguiendo las especificaciones del apéndice E del CTE HE1. Los resultados de las R_T de dichos revestimientos los encontramos en la tabla 21.

Por el contrario, el sistema resuelto mediante celdas cerámicas, al tratarse de un componente constituido por capas homogéneas y heterogéneas, R_T se calcula siguiendo lo dispuesto en el apéndice F del CTE HE1. Su R_T es de 0,75 (m^2K/W), como podemos observar en la tabla 22.

El resto de elementos constructivos, al tratarse de capas homogéneas se calcularán con las directrices especificadas en el apéndice E del CTE HE1. Los valores de sus resistencias térmicas están reflejados en la tabla 23.

DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE REVESTIMIENTO VEGETAL.	λ (W/ mK)	e (m)	R (m^2K/W) Expresión 5	R_T (m^2K/W) Expresión 4
FIELTROS GEOTEXTILES (FI)				
Panel de PVC espumado de 20mm.	0,0850	0,0200	0,2353	0,87
Dos capas de geotextil de 1,5mm + 1,5mm	0,0600	0,0030	0,0500	
Capa de vegetación.	0,1200	0,0700	0,5833	
MODULARES CON PANELES (PA)				
Panel modular de polipropileno 15mm	0,2200	0,0150	0,0682	0,94
Relleno de sustrato 135mm	0,5200	0,1350	0,2596	
Capa de fieltro 1,5mm	0,0600	0,0015	0,0250	
Capa de vegetación.	0,1200	0,0700	0,5833	
GAVIONES (GA)				
Saco base de tela de fieltro 1,5mm	0,0600	0,0030	0,0500	0,92
Relleno de sustrato 150mm	0,5200	0,1500	0,2885	
Capa de vegetación.	0,1200	0,0700	0,5833	

Expresiones utilizadas en la tabla

$$\text{Expresión 4 : } R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} ;$$

$$\text{Expresión 5: } R = \frac{e}{\lambda}$$

Tabla 21. Cálculo de R_T de los sistemas de revestimiento vegetal mediante fieltros geotextiles, paneles y gaviones. Elaboración propia

CELIDAS CERÁMICAS (CE)													
		h (m)	e (m)	A (m ²)	A _T (m ²)	f	λ (W/ mK)	R _T (m ² K/W) Expresión4	f/ R _T (W/ m ² K)		R' _T (m ² K/W) Expresión7	R (m ² K/W) Expresión6	Rce (m ² K/W)
Límite superior	celda cerámica	0,04	0,240	0,010	0,03	0,31	1,30	0,35	0,87		0,80		
	vegetación		0,080					0,12	0,67				
	sustrato 1		0,080					0,52	0,15				
	sustrato 2		0,080					0,10	0,84				
	vegetación+sustratos	0,09	0,240	0,022		0,69		1,83	0,38				
límite inferior	rebanada 1	celda cerámica	0,04	0,080	0,003	0,01	0,31	1,30	0,06	5,00	0,17	0,71	0,75
		vegetación	0,09	0,080	0,007		0,69	0,12	0,67	1,04			
	rebanada 2	celda cerámica	0,04	0,080	0,003	0,01	0,31	1,30	0,06	5,00	0,11		
		sustrato 1	0,09	0,080	0,007		0,69	0,52	0,15	4,50			
	rebanada 3	celda cerámica	0,04	0,080	0,003	0,01	0,31	1,30	0,06	5,00	0,17		
		sustrato 2	0,09	0,080	0,007		0,69	0,10	0,84	0,82			
Otras capas	Mortero mixto		0,020				0,80					0,03	
	Poliuretano		0,005				0,25					0,02	
Expresiones utilizadas en la tabla	<p>Expresión 4 : $R_T = R_{Si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$; Expresión 5 : $R = \frac{e}{\lambda}$; Expresión 6 : $R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2}$;</p> <p>Expresión 7 : $\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R'_{Ta}} + \frac{f_b}{R'_{Tb}}$; Expresión 8 : $R''_T = R_{Si} + R_{j1} + R_{j2} + R_{j3} + R_{se}$; Expresión 9 : $\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \frac{f_c}{R_{cj}}$</p>												

Tabla 22. Cálculo de RT del sistema de revestimiento vegetal mediante celdas cerámicas. Elaboración propia

	DEFINICION	λ (W/ mK)	ρ (kg/m3)	e (m)	m (kg/m ²)	R_T (m ² K/W) Expresión5
FI	Sistema de revestimiento vegetal con fieltro geotextil			0,090	30,000	0,8686
PA	Sistema de revestimiento vegetal con paneles			0,150	60,000	0,9361
GA	Sistema de revestimiento vegetal con gaviones			0,150	60,000	0,9218
CE	Sistema de revestimiento vegetal con celdas cerámicas			0,270	350,000	0,7528
CA	Cámara de aire sin ventilar vertical 5cm (LIDER)			0,050		0,1800
AT-L	Lana mineral (0,031W/mK) (LIDER)	0,031	40	0,050	2,000	1,6129
AT-EPS	EPS Poliestireno Expandido (0.029 W/mK) (LIDER)	0,029	30	0,050	1,500	1,7241
ENF-C + ENL	Enfoscado de mortero de cemento y enlucido 1250<d<1450 (LIDER)	0,700	1.350	0,030	40,500	0,0429
ENL	Enlucido de yeso 1000<d<1300 (LIDER)	0,570	1.150	0,015	17,250	0,0263
LP 11'5	LP 1/2 pie Ladrillo métrico o catalán 60 mm<G <80 mm (LIDER)	0,567	1.150	0,115	132,250	0,2028
LM 11'5	LM 1/2 pie Ladrillo métrico o catalán 60 mm<G <80 mm (LIDER)	0,567	1.020	0,115	117,300	0,2028
1 pie LP	LP 1 pie Ladrillo métrico o catalán 60 mm<G <80 mm (LIDER)	0,567	1.150	0,240	276,000	0,4233
1 pie LM	LM 1 pie Ladrillo métrico o catalán 60 mm<G <80 mm (LIDER)	0,567	1.020	0,240	244,800	0,4233
BH15	BH Bloque de Hormigón convencional espesor 150 mm (LIDER)	0,789	1.040	0,150	156,000	0,1901
BH20	BH Bloque de Hormigón convencional espesor 200 mm (LIDER)	0,923	860	0,200	172,000	0,2167
BT14	BC Bloque cerámico aligerado con mortero convencional espesor 140 mm (LIDER)	0,443	1.170	0,140	163,800	0,3160
BT19	BC Bloque cerámico aligerado con mortero convencional espesor 190 mm (LIDER)	0,433	1.080	0,190	205,200	0,4388
PYL-D	Placa de yeso laminado PYL trasdosado directo (750<d<900) (LIDER)	0,250	825	0,013	10,725	0,0520
PYL-A	Placa de yeso laminado PYL trasdosado autoportante (750<d<900) (LIDER)	0,250	825	0,013	10,725	0,0520
LH7	LH Tabicón Ladrillo hueco doble (60 mm< E< 90 mm) (LIDER)	0,432	930	0,070	65,100	0,1620
LH9	LH Tabicón Ladrillo hueco doble Gran formato (60 mm< E< 90 mm) (LIDER)	0,212	630	0,090	56,700	0,4245
Rsi	Resistencia térmica superficial interior					0,1300
Rse	Resistencia térmica superficial exterior					0,0400

Tabla 23.Cálculo de R_T de los elementos constructivos de los cerramientos. Elaboración propia

2.2.3. Resultados del estudio de prestaciones

A continuación se elaboran una serie de tablas donde quedan reflejados los resultados de los cálculos del índice global de reducción acústica (R_A), en dB y la transmitancia térmica (U) en $W/m^2 K$, de las fachadas descritas en el apartado 1.4 de este estudio.

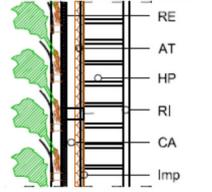
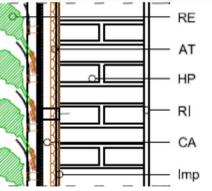
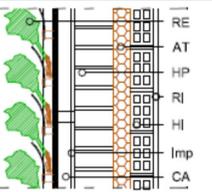
SECCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	m (kg/m^2)	R_A (dB) Expresión2	R_T (m^2K/W) Expresión4	U ($W/m^2 K$) Expresión3
	FV01 b 01	FI + CA + AT-EPS + LP 11'5	163,75	42,32	3,1456	0,3179
	FV01 b 02	FI + CA + AT-EPS + LP 11'5 + ENL	181,00	43,91	3,1719	0,3153
	FV01 b 03	FI + CA + AT-EPS + LM 11'5	148,80	40,80	3,1456	0,3179
	FV01 b 04	FI + CA + AT-EPS + LM 11'5 + ENL	166,05	42,54	3,1719	0,3153
	FV01 c 01	FI + CA + AT-EPS + 1 pie LP	307,50	52,31	3,3660	0,2971
	FV01 c 02	FI + CA + AT-EPS + 1 pie LP + ENL	324,75	53,17	3,3924	0,2948
	FV01 c 03	FI + CA + AT-EPS + 1 pie LM	276,30	50,61	3,3660	0,2971
	FV01 c 04	FI + CA + AT-EPS + 1 pie LM + ENL	293,55	51,57	3,3924	0,2948
	FV02 a 01	FI + CA + LP 11'5 + AT-EPS + LH7 + ENL	246,10	48,78	3,3339	0,2999
	FV02 a 02	FI + CA + LP 11'5 + AT-EPS + LH9 + ENL	237,70	48,23	3,5964	0,2781
	FV02 a 03	FI + CA + LM 11'5 + AT-EPS + LH7 + ENL	231,15	47,78	3,3339	0,2999
	FV02 a 04	FI + CA + LM 11'5 + AT-EPS + LH9 + ENL	222,75	47,20	3,5964	0,2781
Expresiones utilizadas en la tabla	Expresión 2: $R_A = 36,5 \cdot \log m - 38,5$		Expresión 3: $U = \frac{1}{R'_T}$;	Expresión 4: $R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$		

Tabla 24. Cálculo de R_A y U de las fachadas FV01b, FV01c, FV02a, Elaboración propia.

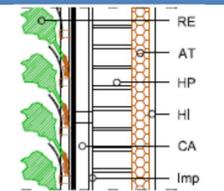
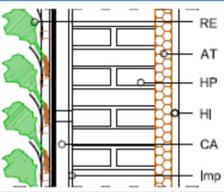
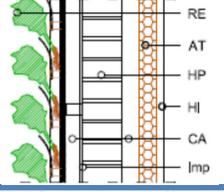
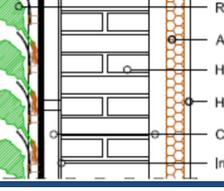
SECCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	m (kg/m ²)	R _A (dB) Expresión ²	R _T (m ² K/W) Expresión ⁴	U (W/m ² K) Expresión ³
	FV02 b 01	FI + CA + LP 11'5 + AT-L + PYL-D	174,98	43,37	3,0864	0,3240
	FV02 b 02	FI + CA + LM 11'5 + AT-L + PYL-D	160,03	41,95	3,0864	0,3240
	FV02 c 01	FI + CA + 1 pie LP + AT-L + PYL-D	318,73	52,87	3,3068	0,3024
	FV02 c 02	FI + CA + 1 pie LM + AT-L + PYL-D	287,53	51,24	3,3068	0,3024
	FV03 a 01	FI + CA + LP 11'5 + CA + AT-EPS + LH7 + ENL	246,10	48,78	3,5139	0,2846
	FV03 a 02	FI + CA + LP 11'5 + CA + AT-EPS + LH9 + ENL	237,70	48,23	3,7764	0,2648
	FV03 a 03	FI + CA + LM 11'5 + CA + AT-EPS + LH7 + ENL	231,15	47,78	3,5139	0,2846
	FV03 a 04	FI + CA + LM 11'5 + CA + AT-EPS + LH9 + ENL	222,75	47,20	3,7764	0,2648
	FV03 b 01	FI + CA + LP 11'5 + CA + AT-L + PYL-D	174,98	43,37	3,2664	0,3062
	FV03 b 02	FI + CA + LM 11'5 + CA + AT-L + PYL-D	160,03	41,95	3,2664	0,3062
	FV03 c 01	FI + CA + 1 pie LP + CA + AT-L + PYL-D	318,73	52,87	3,4868	0,2868
	FV03 c 02	FI + CA + 1 pie LM + CA + AT-L + PYL-D	287,53	51,24	3,4868	0,2868

 Tabla 25. Cálculo de R_A y U de las fachadas FV02b, FV02c, FV03a, FV03b, FV03c. Elaboración propia.

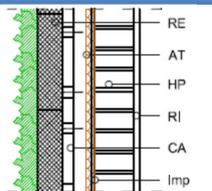
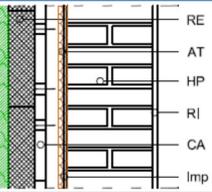
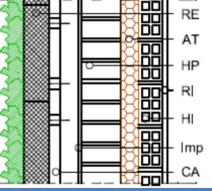
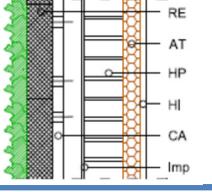
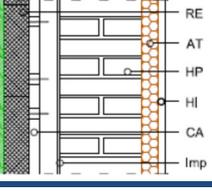
SECCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	m (kg/m ²)	R _A (dB) Expresión ²	R _T (m ² K/W) Expresión ⁴	U (W/m ² K) Expresión ³
	FV04 b 01	PA + CA + AT-EPS + LP 11'5	193,7500	44,98	3,2131	0,3112
	FV04 b 02	PA + CA + AT-EPS + LP 11'5 + ENL	211,0000	46,34	3,2394	0,3087
	FV04 b 03	PA + CA + AT-EPS + LM 11'5	178,8000	43,71	3,2131	0,3112
	FV04 b 04	PA + CA + AT-EPS + LM 11'5 + ENL	196,0500	45,17	3,2394	0,3087
	FV04 c 01	PA + CA + AT-EPS + 1 pie LP	337,5000	53,78	3,4335	0,2912
	FV04 c 02	PA + CA + AT-EPS + 1 pie LP + ENL	354,7500	54,57	3,4599	0,2890
	FV04 c 03	PA + CA + AT-EPS + 1 pie LM	306,3000	52,24	3,4335	0,2912
	FV04 c 04	PA + CA + AT-EPS + 1 pie LM + ENL	323,5500	53,11	3,4599	0,2890
	FV05 a 01	PA + CA + LP 11'5 + AT-EPS + LH7 + ENL	276,1000	50,60	3,4014	0,2940
	FV05 a 02	PA + CA + LP 11'5 + AT-EPS + LH9 + ENL	267,7000	50,11	3,6639	0,2729
	FV05 a 03	PA + CA + LM 11'5 + AT-EPS + LH7 + ENL	261,1500	49,72	3,4014	0,2940
	FV05 a 04	PA + CA + LM 11'5 + AT-EPS + LH9 + ENL	252,7500	49,20	3,6639	0,2729
	FV05 b 01	PA + CA + LP 11'5 + AT-L + PYL-D	204,9750	45,88	3,1539	0,3171
	FV05 b 02	PA + CA + LM 11'5 + AT-L + PYL-D	190,0250	44,68	3,1539	0,3171
	FV05 c 01	PA + CA + 1 pie LP + AT-L + PYL-D	348,7250	54,30	3,3743	0,2964
	FV05 c 02	PA + CA + 1 pie LM + AT-L + PYL-D	317,5250	52,81	3,3743	0,2964

Tabla 26. Cálculo de RA y U de las fachadas FV04b, FV04c, FV05a, FV05b, FV05c. Elaboración propia

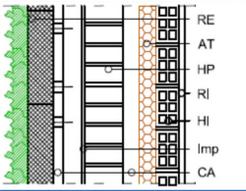
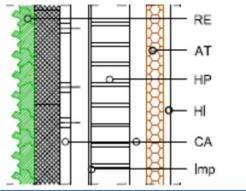
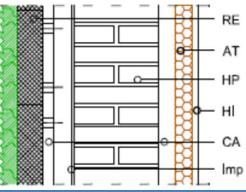
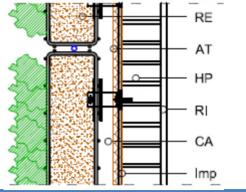
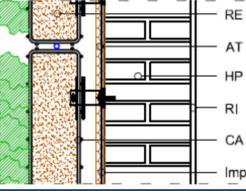
SECCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	m (kg/m ²)	R _A (dB) Expresión ²	R _T (m ² K/W) Expresión ⁴	U (W/m ² K) Expresión ³
	FV06 a 01	PA + CA + LP 11'5 + CA + AT-EPS + LH7 + ENL	276,1000	50,60	3,5814	0,2792
	FV06 a 02	PA + CA + LP 11'5 + CA + AT-EPS + LH9 + ENL	267,7000	50,11	3,8439	0,2602
	FV06 a 03	PA + CA + LM 11'5 + CA + AT-EPS + LH7 + ENL	261,1500	49,72	3,5814	0,2792
	FV06 a 04	PA + CA + LM 11'5 + CA + AT-EPS + LH9 + ENL	252,7500	49,20	3,8439	0,2602
	FV06 b 01	PA + CA + LP 11'5 + CA + AT-L + PYL-D	204,9750	45,88	3,3339	0,3000
	FV06 b 02	PA + CA + LM 11'5 + CA + AT-L + PYL-D	190,0250	44,68	3,3339	0,3000
	FV06 c 01	PA + CA + 1 pie LP + CA + AT-L + PYL-D	348,7250	54,30	3,5543	0,2813
	FV06 c 02	PA + CA + 1 pie LM + CA + AT-L + PYL-D	317,5250	52,81	3,5543	0,2813
	FV07 b 01	GA + CA + AT-EPS + LP 11'5	193,7500	44,98	3,1988	0,3126
	FV07 b 02	GA + CA + AT-EPS + LP 11'5 + ENL	211,0000	46,34	3,2251	0,3101
	FV07 b 03	GA + CA + AT-EPS + LM 11'5	178,8000	43,71	3,1988	0,3126
	FV07 b 04	GA + CA + AT-EPS + LM 11'5 + ENL	196,0500	45,17	3,2251	0,3101
	FV07 c 01	GA + CA + AT-EPS + 1 pie LP	337,5000	53,78	3,4192	0,2925
	FV07 c 02	GA + CA + AT-EPS + 1 pie LP + ENL	354,7500	54,57	3,4455	0,2902
	FV07 c 03	GA + CA + AT-EPS + 1 pie LM	306,3000	52,24	3,4192	0,2925
	FV07 c 04	GA + CA + AT-EPS + 1 pie LM + ENL	323,5500	53,11	3,4455	0,2902

Tabla 27. Cálculo de RA y U de las fachadas FV06a, FV06b, FV06c, FV07b, FV07c. Elaboración propia

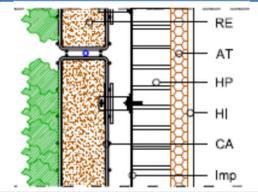
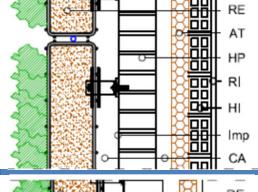
SECCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	m (kg/m ²)	R _A (dB) Expresión ²	R _T (m ² K/W) Expresión ⁴	U (W/m ² K) Expresión ³
	FV08 a 01	GA + CA + LP 11'5 + AT-EPS + LH7 + ENL	276,1000	50,60	3,3871	0,2952
	FV08 a 02	GA + CA + LP 11'5 + AT-EPS + LH9 + ENL	267,7000	50,11	3,6496	0,2740
	FV08 a 03	GA + CA + LM 11'5 + AT-EPS + LH7 + ENL	261,1500	49,72	3,3871	0,2952
	FV08 a 04	GA + CA + LM 11'5 + AT-EPS + LH9 + ENL	252,7500	49,20	3,6496	0,2740
	FV08 b 01	GA + CA + LP 11'5 + AT-L + PYL-D	204,9750	45,88	3,1395	0,3185
	FV08 b 02	GA + CA + LM 11'5 + AT-L + PYL-D	190,0250	44,68	3,1395	0,3185
	FV08 c 01	GA + CA + 1 pie LP + AT-L + PYL-D	348,7250	54,30	3,3600	0,2976
	FV08 c 02	GA + CA + 1 pie LM + AT-L + PYL-D	317,5250	52,81	3,3600	0,2976
	FV09 a 01	GA + CA + LP 11'5 + CA + AT-EPS + LH7 + ENL	276,1000	50,60	3,5671	0,2803
	FV09 a 02	GA + CA + LP 11'5 + CA + AT-EPS + LH9 + ENL	267,7000	50,11	3,8296	0,2611
	FV09 a 03	GA + CA + LM 11'5 + CA + AT-EPS + LH7 + ENL	261,1500	49,72	3,5671	0,2803
	FV09 a 04	GA + CA + LM 11'5 + CA + AT-EPS + LH9 + ENL	252,7500	49,20	3,8296	0,2611
	FV09 b 01	GA + CA + LP 11'5 + CA + AT-L + PYL-D	204,9750	45,88	3,3195	0,3012
	FV09 b 02	GA + CA + LM 11'5 + CA + AT-L + PYL-D	190,0250	44,68	3,3195	0,3012

Tabla 28. Cálculo de RA y U de las fachadas FV08a, FV08b, FV08c, FV09a, FV09b. Elaboración propia.

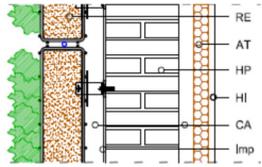
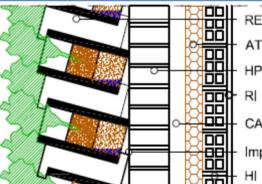
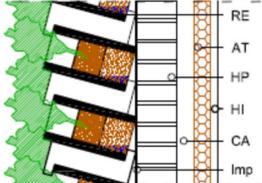
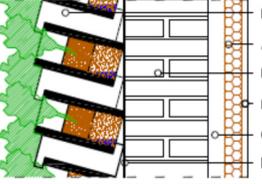
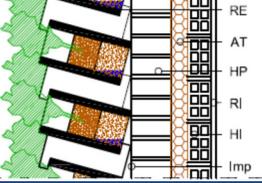
SECCIÓ	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	m (kg/m ²)	R _A (dB) Expresión2	R _T (m ² K/W) Expresión4	U (W/m ² K) Expresión3
	FV09 c 01	GA + CA + 1 pie LP + CA + AT-L + PYL-D	348,7250	54,30	3,5400	0,2825
	FV09 c 02	GA + CA + 1 pie LM + CA + AT-L + PYL-D	317,5250	52,81	3,5400	0,2825
	FV10 a 01	CE + LP 11'5 + CA + AT-EPS + LH7 + ENL	566,1000	61,98	3,2181	0,3107
	FV10 a 02	CE + LP 11'5 + CA + AT-EPS + LH9 + ENL	557,7000	61,74	3,4806	0,2873
	FV10 a 03	CE + LM 11'5 + CA + AT-EPS + LH7 + ENL	551,1500	61,56	3,2181	0,3107
	FV10 a 04	CE + LM 11'5 + CA + AT-EPS + LH9 + ENL	542,7500	61,31	3,4806	0,2873
	FV10 b 01	CE + LP 11'5 + CA + AT-L + PYL-D	494,9750	59,85	2,9705	0,3366
	FV10 b 02	CE + LM 11'5 + CA + AT-L + PYL-D	480,0250	59,37	2,9705	0,3366
	FV10 c 01	CE + 1 pie LP + CA + AT-L + PYL-D	638,7250	63,89	3,1910	0,3134
	FV10 c 02	CE + 1 pie LM + CA + AT-L + PYL-D	607,5250	63,10	3,1910	0,3134
	FV11 a 01	CE + LP 11'5 + AT-EPS + LH7 + ENL	566,1000	61,98	3,0381	0,3292
	FV11 a 02	CE + LP 11'5 + AT-EPS + LH9 + ENL	557,7000	61,74	3,3006	0,3030
	FV11 a 03	CE + LM 11'5 + AT-EPS + LH7 + ENL	551,1500	61,56	3,0381	0,3292
	FV11 a 04	CE + LM 11'5 + AT-EPS + LH9 + ENL	542,7500	61,31	3,3006	0,3030

Tabla 29. Cálculo de RA y U de las fachadas FV09c, FV10a, FV10b, FV10c, FV11a,. Elaboración propia.

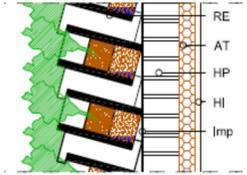
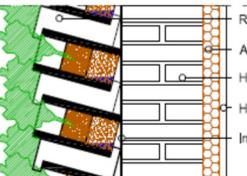
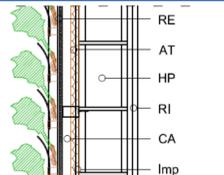
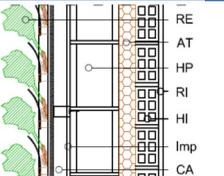
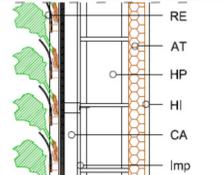
SECCIÓ	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	m (kg/m ²)	R _A (dB) Expresión2	R _T (m ² K/W) Expresión4	U (W/m ² K) Expresión3
	FV11 b 01	CE + LP 11'5 + AT-L + PYL-D	494,9750	59,85	2,7905	0,3584
	FV11 b 02	CE + LM 11'5 + AT-L + PYL-D	480,0250	59,37	2,7905	0,3584
	FV11 c 01	CE + 1 pie LP + AT-L + PYL-D	638,7250	63,89	3,0110	0,3321
	FV11 c 02	CE + 1 pie LM + AT-L + PYL-D	607,5250	63,10	3,0110	0,3321
	FV12 b 01	FI + CA + AT-EPS + BH15 + ENF-C + ENL	228,00	47,56	3,1757	0,3149
	FV12 b 02	FI + CA + AT-EPS + BH20 + ENF-C + ENL	244,00	48,64	3,2023	0,3123
	FV12 b 03	FI + CA + AT-EPS + BT14 + ENF-C + ENL	235,80	48,10	3,3016	0,3029
	FV12 b 04	FI + CA + AT-EPS + BT19 + ENF-C + ENL	277,20	50,66	3,4244	0,2920
	FV13 a 01	FI + CA + BH15 + AT-EPS + LH7 + ENL	269,85	50,24	3,3212	0,3011
	FV13 a 02	FI + CA + BH15 + AT-EPS + LH9 + ENL	261,45	49,73	3,5837	0,2790
	FV13 a 03	FI + CA + BT14 + AT-EPS + LH7 + ENL	277,65	50,69	3,4471	0,2901
	FV13 a 04	FI + CA + BT14 + AT-EPS + LH9 + ENL	269,25	50,20	3,7096	0,2696
	FV13 b 01	FI + CA + BH15 + AT-L + PYL-D	198,73	45,39	3,0736	0,3253
	FV13 b 02	FI + CA + BH20 + AT-L + PYL-D	214,73	46,61	3,1002	0,3226
	FV13 b 03	FI + CA + BT14 + AT-L + PYL-D	206,53	46,00	3,1996	0,3125
	FV13 b 04	FI + CA + BT19 + AT-L + PYL-D	247,93	48,89	3,3223	0,3010

Tabla 30. Cálculo de RA y U de las fachadas FV11b, FV11c, FV12a, FV13a, FV13b. Elaboración propia.

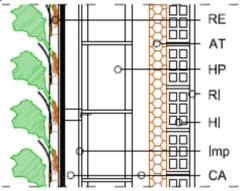
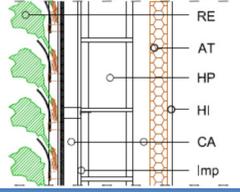
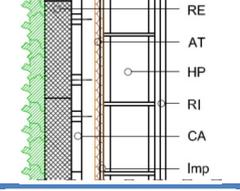
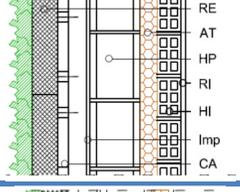
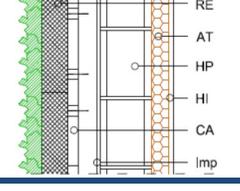
SECCIÓ	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	m (kg/m ²)	R _A (dB) Expresión2	R _T (m ² K/W) Expresión4	U (W/m ² K) Expresión3
	FV14 a 01	FI + CA + BH15 + CA + AT-EPS + LH7 + ENL	269,85	50,24	3,5012	0,2856
	FV14 a 02	FI + CA + BH15 + CA + AT-EPS + LH9 + ENL	261,45	49,73	3,7637	0,2657
	FV14 b 01	FI + CA + BH15 + AT-L + CA + PYL-A	198,73	45,39	3,2536	0,3073
	FV14 b 02	FI + CA + BH20 + AT-L + CA + PYL-A	214,73	46,61	3,2802	0,3049
	FV15 b 01	PA + CA + AT-EPS + BH15 + ENF-C + ENL	258,0000	49,52	3,2432	0,3083
	FV15 b 02	PA + CA + AT-EPS + BH20 + ENF-C + ENL	274,0000	50,48	3,2698	0,3058
	FV15 b 03	PA + CA + AT-EPS + BT14 + ENF-C + ENL	265,8000	50,00	3,3692	0,2968
	FV15 b 04	PA + CA + AT-EPS + BT19 + ENF-C + ENL	307,2000	52,29	3,4919	0,2864
	FV16 a 01	PA + CA + BH15 + AT-EPS + LH7 + ENL	299,8500	51,91	3,3887	0,2951
	FV16 a 02	PA + CA + BH15 + AT-EPS + LH9 + ENL	291,4500	51,46	3,6512	0,2739
	FV16 a 03	PA + CA + BT14 + AT-EPS + LH7 + ENL	307,6500	52,31	3,5146	0,2845
	FV16 a 04	PA + CA + BT14 + AT-EPS + LH9 + ENL	299,2500	51,88	3,7771	0,2648
	FV16 b 01	PA + CA + BH15 + AT-L + PYL-D	228,7250	47,61	3,1411	0,3184
	FV16 b 02	PA + CA + BH20 + AT-L + PYL-D	244,7250	48,69	3,1677	0,3157
	FV16 b 03	PA + CA + BT14 + AT-L + PYL-D	236,5250	48,15	3,2671	0,3061
	FV16 b 04	PA + CA + BT19 + AT-L + PYL-D	277,9250	50,70	3,3898	0,2950

Tabla 31. Cálculo de RA y U de las fachadas FV14a, FV14b, FV15b, FV16a, FV16b. Elaboración propia.

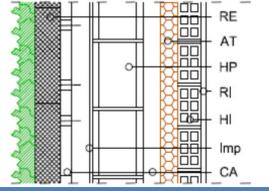
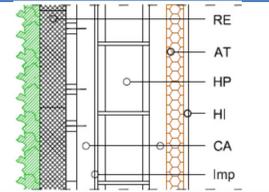
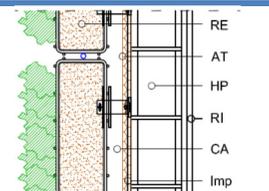
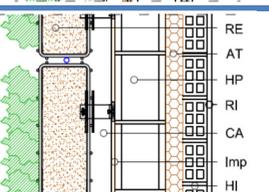
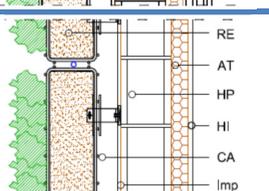
SECCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	m (kg/m ²)	R _A (dB) Expresión2	R _T (m ² K/W) Expresión4	U (W/m ² K) Expresión3
	FV17 a 01	PA + CA + BH15 + CA + AT-EPS + LH7 + ENL	299,8500	51,91	3,5687	0,2802
	FV17 a 02	PA + CA + BH15 + CA + AT-EPS + LH9 + ENL	291,4500	51,46	3,8312	0,2610
	FV17 b 01	PA + CA + BH15 + AT-L + CA + PYL-A	228,7250	47,61	3,3211	0,3011
	FV17 b 02	PA + CA + BH20 + AT-L + CA + PYL-A	244,7250	48,69	3,3477	0,2987
	FV18 b 01	GA + CA + AT-EPS + BH15 + ENF-C + ENL	258,0000	49,52	3,2289	0,3097
	FV18 b 02	GA + CA + AT-EPS + BH20 + ENF-C + ENL	274,0000	50,48	3,2555	0,3072
	FV18 b 03	GA + CA + AT-EPS + BT14 + ENF-C + ENL	265,8000	50,00	3,3548	0,2981
	FV18 b 04	GA + CA + AT-EPS + BT19 + ENF-C + ENL	307,2000	52,29	3,4776	0,2876
	FV19 a 01	GA + CA + BH15 + AT-EPS + LH7 + ENL	299,8500	51,91	3,3744	0,2963
	FV19 a 02	GA + CA + BH15 + AT-EPS + LH9 + ENL	291,4500	51,46	3,6369	0,2750
	FV19 a 03	GA + CA + BT14 + AT-EPS + LH7 + ENL	307,6500	52,31	3,5003	0,2857
	FV19 a 04	GA + CA + BT14 + AT-EPS + LH9 + ENL	299,2500	51,88	3,7628	0,2658
	FV19 b 01	GA + CA + BH15 + AT-L + PYL-D	228,7250	47,61	3,1268	0,3198
	FV19 b 02	GA + CA + BH20 + AT-L + PYL-D	244,7250	48,69	3,1534	0,3171
	FV19 b 03	GA + CA + BT14 + AT-L + PYL-D	236,5250	48,15	3,2527	0,3074
	FV19 b 04	GA + CA + BT19 + AT-L + PYL-D	277,9250	50,70	3,3755	0,2963

Tabla 32. Cálculo de RA y U de las fachadas FV17a, FV17b, FV18b, FV19a, FV19b. Elaboración propia.

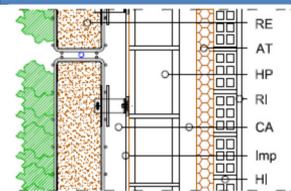
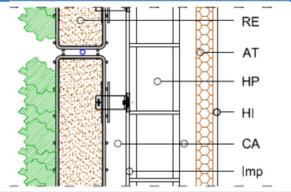
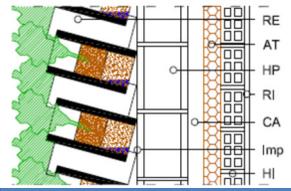
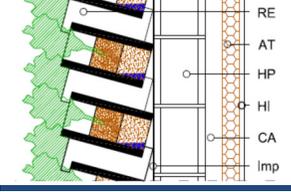
SECCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	m (kg/m ²)	R _A (dB) Expresión2	R _T (m ² K/W) Expresión4	U (W/m ² K) Expresión3
	FV20 a 01	GA + CA + BH15 + CA + AT-EPS + LH7 + ENL	299,8500	51,91	3,5544	0,2813
	FV20 a 02	GA + CA + BH15 + CA + AT-EPS + LH9 + ENL	291,4500	51,46	3,8169	0,2620
	FV20 b 01	GA + CA + BH15 + AT-L + CA + PYL-A	228,7250	47,61	3,3068	0,3024
	FV20 b 02	GA + CA + BH20 + AT-L + CA + PYL-A	244,7250	48,69	3,3334	0,3000
	FV21 a 01	CE + BH15 + CA + AT-EPS + LH7 + ENL	589,8500	62,63	3,2054	0,3120
	FV21 a 02	CE + BH15 + CA + AT-EPS + LH9 + ENL	581,4500	62,40	3,4679	0,2884
	FV21 b 01	CE + BH15 + CA + AT-L + PYL-A	518,7250	60,60	2,9578	0,3381
	FV21 b 02	CE + BH20 + CA + AT-L + PYL-A	534,7250	61,08	2,9844	0,3351

Tabla 33. Cálculo de RA y U de las fachadas FV20a, FV20b, FV21a, FV21b. Elaboración propia.

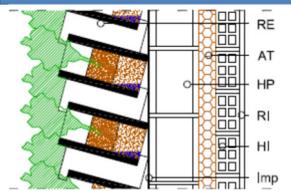
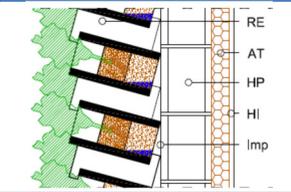
SECCIÓ	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	m (kg/m ²)	R _A (dB) Expresión2	R _T (m ² K/W) Expresión4	U (W/m ² K) Expresión3
	FV22 a 01	CE + BH15 + AT-EPS + LH7 + ENL	589,8500	62,63	3,0254	0,3305
	FV22 a 02	CE + BH15 + AT-EPS + LH9 + ENL	581,4500	62,40	3,2879	0,3041
	FV22 a 03	CE + BT14 + AT-EPS + LH7 + ENL	597,6500	62,84	3,1513	0,3173
	FV22 a 04	CE + BT14 + AT-EPS + LH9 + ENL	589,2500	62,62	3,4138	0,2929
	FV22 b 01	CE + BH15 + AT-L + PYL-D	518,7250	60,60	2,7778	0,3600
	FV22 b 02	CE + BH20 + AT-L + PYL-D	534,7250	61,08	2,8044	0,3566
	FV22 b 03	CE + BT14 + AT-L + PYL-D	526,5250	60,83	2,9037	0,3444
	FV22 b 04	CE + BT19 + AT-L + PYL-D	567,9250	62,03	3,0265	0,3304

Tabla 34. Cálculo de RA y U de las fachadas FV22a. FV22b. Elaboración propia.

2.2.4. Análisis de los resultados

Antes de empezar con el análisis, se debe aclarar que para un mismo tipo de sistema de revestimiento vegetal existen numerosos formatos, cada casa comercial tiene un formato diferente, con sustratos y materiales diferentes. La vegetación también puede variar dependiendo de la orientación de la fachada y del clima de la zona.

Por consiguiente, se debe tener en cuenta que los datos aportados en este estudio son orientativos, ya que no todos los sistemas de revestimiento vegetal de un mismo tipo, por ejemplo los resueltos mediante gaviones, tendrán el mismo comportamiento.

2.2.4.1. Análisis de los resultados acústicos

El índice global de reducción acústica, R_A permite obtener una valoración del aislamiento acústico al ruido aéreo de una solución constructiva, considerando un ruido incidente rosa normalizado, con ponderación en frecuencia A. Cuanto mayor sea el índice, mejor será el comportamiento frente al ruido.

En el apartado 2.2.1 se ha visto que el sistema de revestimiento vegetal resuelto mediante celdas cerámicas es el de mayor índice de reducción acústica, debido a su mayor masa, y el de menor índice es el resuelto mediante fieltros geotextiles.

$$R_{A(\text{CERÁMICA})} > R_{A(\text{GAVIONES})} , R_{A(\text{PANELES})} > R_{A(\text{FIELTROS GEOTEXTILES})}$$

Según el tipo de sistema de revestimiento vegetal empleado en cada fachada se han obtenido los siguientes resultados, mínimos y máximos, de R_A

	R_A mínimo		R_A máximo	
	Fachada	R_A (dB)	Fachada	R_A (dB)
Fachadas con Filtros geotextiles	FV01c02	41	FV01b03	53
Fachadas con Paneles	FV04c02	43	FV04b03	55
Fachadas con Gaviones	FV07c02	43	FV07b03	55
Fachadas con Celdas cerámicas	FV10c01	59	FV10b02	64

Tabla 35. Índices globales de reducción acústica mínimo y máximo, obtenidos en las tablas. Elaboración propia

El Documento Básico de Protección frente al ruido del Código Técnico de la Edificación (CTE DB HR) no indica ningún valor mínimo de R_A para la parte ciega de la fachada, sólo indica el valor global (ciego más acristalamiento).

En las tablas anteriores se puede comprobar que existen diferentes fachadas con valores de bajos de R_A (menores de 45Db). Este valor dificulta el cumplimiento de las exigencias descritas en el DB HR cuando se le añade el acristalamiento, ya que este la parte más débil.

2.2.4.2. Análisis de los resultados térmicos

La transmitancia térmica es la propiedad de los materiales que mide la cantidad de energía que atraviesa un elemento en una unidad de tiempo, es decir, mide el calor que se pierde o gana a través de un elemento. Esta se usa para el cálculo de las pérdidas o ganancias de calor a través de la envolvente térmica. Cuanto menor es su valor, mejor es su comportamiento. [32]

En el HE1 del Código Técnico de la Edificación, indica que para evitar descompensaciones entre la calidad térmica de diferentes espacios, cada uno de los cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica tendrán una transmitancia no superior a los valores que se indican en la tabla 36 en función de la zona climática en que se ubique el edificio.

El estudio se basa en fachadas vegetales situadas en la ciudad de Valencia, es decir, una zona climática B3 según lo indicado en la tabla D.1 del CTE-HE1. Por tanto la transmitancia máxima de nuestras fachadas será de 1,07 W/m²K.

Cerramientos y particiones interiores	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Muros de fachada, <i>particiones interiores</i> en contacto con espacios no habitables, primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno ⁽¹⁾ y primer metro de muros en contacto con el terreno	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Suelos ⁽²⁾	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Cubiertas ⁽³⁾	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
Medianerías	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

Tabla 36. Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica U en W/m²K. Tabla 2.1 del CTE HE 1

En las tablas anteriores, se observa que las transmitancias más elevadas según el tipo de revestimiento son muy pequeñas. Lo que indica claramente, que el aporte de la vegetación en las fachadas favorece el comportamiento térmico de estas.

- $U_{\text{FILTROS GEOTEXTILES}} = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$ (FV13 b 01)
- $U_{\text{PANELES}} = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ (FV16 b 01)
- $U_{\text{GAVIONES}} = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ (FV19 b 01)
- $U_{\text{CELDAS CRÁMICAS}} = 0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$ (FV22 b 01)

Se comprueba que los resultados de las transmitancias en las fachadas cumplen con las exigencias del CTE, siendo estas de aproximadamente un tercio de la transmitancia máxima permitida en la norma (1,07 W/m²K)

3. CONCLUSIONES

En el presente proyecto se ha analizado cómo la vegetación condiciona el comportamiento acústico y termodinámico de la envolvente arquitectónica. Para ello hemos procedido, en primer lugar, a realizar una clasificación de los diferentes tipos de sistemas de revestimiento vegetal según la existentes en el mercado. En este sentido, existe una gran cantidad de empresas dedicadas al revestimiento vegetal, lo que conlleva un elevado número de soluciones constructivas, formatos, materiales, vegetación, etc...

Como se ha establecido en el punto primero del presente proyecto, existen dos tipos de jardines verticales diferentes, las fachadas vegetales y los muros vivos, siendo este último en el que se ha centrado el estudio.

Los muros vivos son un sistema en el que la fachada incorpora un medio de crecimiento para las plantas, dependiendo de cuál sea el soporte de la vegetación, se diferencia entre: sistemas de revestimiento vegetal con fieltros geotextiles, con paneles plásticos o metálico, con gaviones, con soporte cerámico y sistemas de hormigón vegetal.

A continuación se establecerán las conclusiones extraídas del presente proyecto. Respecto al comportamiento termodinámico de los muros vivos, se ha comprobado cómo los muros vivos contribuyen a la regulación térmica de los edificios. En primer lugar, hay numerosos estudios y ensayos que afirman que la vegetación en las fachadas supone una disminución de la temperatura a través de la reducción de la radiación solar en la envolvente, del enfriamiento por evapotranspiración y de la variación del efecto del viento.

En segundo lugar, y respecto a los resultados obtenidos en este estudio, se ha verificado a través de la transmitancia térmica (U), como la vegetación disminuye de forma contundente la cantidad de energía que atraviesa la fachada con este tipo de revestimiento.

Sentado los resultados obtenidos sobre el comportamiento termodinámico, se analiza el comportamiento acústico de los muros vivos. En este sentido, son pocos los estudios realizados, además sus resultados y conclusiones son a veces contradictorias. En este proyecto se han podido ver varios estudios donde se observa una atenuación del sonido en fachadas resueltas con revestimiento vegetal, también como la densidad de follaje afecta al coeficiente de absorción acústica de esta, por lo que una baja densidad afectaría de forma considerable las prestaciones los jardines verticales.

En este estudio, el análisis acústico se ha basado en el índice global de reducción acústica (R_A). En los resultados, se observa como el sistema de revestimiento vegetal mediante celdas cerámicas es, con diferencia, el de mejor comportamiento acústico, mientras que existen ciertas fachadas con los otros sistemas de revestimiento vegetal, que poseen un índice global de reducción acústica bajo, que dificultaría el cumplimiento de las exigencias de la normativa una vez instaladas en los edificios.



Debido a las conclusiones obtenidas en este estudio, se desprende que, las prestaciones térmicas que aporta el uso de los sistemas de revestimiento vegetal al edificio son significativas, disminuyendo de forma contundente la cantidad de energía que atraviesa la fachada. Por otro lado, se observa como el uso de fachadas verdes apenas contribuye a las prestaciones acústicas de la envolvente del edificio.

4. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Durante este estudio se ha contribuido a despejar y aclarar diversas incógnitas sobre los sistemas de vegetación en las fachadas, pero de forma simultánea, han surgido nuevas preguntas, ideas y vías de trabajo.

En este último apartado se destacan posibles temas para futuras líneas de investigación que pueden ser objeto de interés.

- Estudio comparativo de los jardines verticales y las fachadas ventiladas. Profundizando en aspectos como sus prestaciones, las dificultades técnicas, el mantenimiento, entre otros.
- Profundizar en el estudio del hormigón vegetal, analizando su complejidad en la hora de su integración en la fachada, el coste económico que supone este sistema, el mantenimiento y las ventajas e inconvenientes que este puede aportar al edificio.
- La integración de una base de datos de los distintos revestimientos vegetales. Donde queden reflejado el coste de mantenimiento, el consumo de agua, el rendimiento energético, etc..., a lo largo del tiempo para cada uno de los tipos.
- Estudio de los aspectos prácticos de la integración de la vegetación en las fachadas, profundizando en los aspectos negativos, al igual que en la dificultad técnica. Para una correcta elección del sistema vegetal.
- Estudio acústico de los sistemas de revestimiento vegetal, aplicados en edificios, para conocer la auténtica respuesta de las prestaciones acústicas de los diferentes tipos de fachadas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. p. a. EEUU, Conceptos básicos sobre meteorología de la contaminación del aire. Manual de autoinstrucción, Lima: Cepis, 1999.
- [2] Marc Ottele, The green building envelope vertical greening, 2011.
- [3] <http://www.verticalgardenpatrickblanc.com/>.
- [4] <http://www.urbanarbolismo.es/>.
- [5] <http://gsky.com/green-walls/pro/>.
- [6] <http://agreenroof.com/green-walls/green-wall-gallery/#>.
- [7] <http://www.intemper.com/>.
- [8] <http://www.elmich.com/elmich/products/7/pvgmsupregsupp/>.
- [9] <http://www.eltlivingwalls.com/LinkClick.aspx?fileticket=oC2woJrwYf4%3d&tabid=80>.
- [10] <http://www.treehugger.com/sustainable-product-design/parabienta-green-wall-from-shimizu.html>.
- [11] http://www.deborahsaunt.com/index.php?mode=project&sub=selected_buildings&page_offset=&page_id=25&part_offset=&part_id=517.
- [12] <http://dstudio.es/proyectos/jardin-vertical-en-aldaia>.
- [13] «Jardín vertical. San Vicent del Raspeig, Valencia.» *Pasajes de arquitectura y crítica* , nº 117, p. 56, 2011.
- [14] Triptyque Architecture : Harmonia 57, Sao Paulo, Brasil., Pencil, 2009.
- [15] L. d. Garrido, «El muro cortina vegetal,» *Envolvente arquitectonica*, nº 5, pp. 4-9, 2012.
- [16] <http://es.scribd.com/doc/57907904/Publicidad-en-Jardines-Verticales>.
- [17] <http://www.seventhgarden.es/designarea/jardin-vertical/>.
- [18] Catálogo de Elementos Constructivos del Perfil de Calidad, Instituto valenciano de la edificación (IVE), 2005.



- [19] W. Nyuk Hien, «Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls,» *Building and Environment*, vol. 45, p. 663–672, 2010.
- [20] Eumorfopoulou y Kontoleon, «Experimental approach to the contribution of plant-covered walls to the thermal behaviour of building envelopes,» *Building and Environment*, vol. 44, p. 1024–1038, 2009.
- [21] «Tecnologías verdes como instrumentos de rehabilitación arquitectónica,» *SB10mad. Sustainable building conference*, 2010.
- [22] L. d. Garrido, *Sustainable architecture. Green in Green*, Instituto Monsa de Ediciones, 2011.
- [23] P. Krusche, M. Krusche, D. Alhtaus y I. Gabriel, «Ökologisches bauen. Herausgegeben vom umweltbundesamt. Bauverlag,» 1982.
- [24] M. SCHMIDT, «Energy and water, a decentralized approach to an integrated sustainable urban development. RIO6 World Climate and Energy Event.,» p. <http://www.gebaeudekuehlung.de/Rio2006.pdf>, 2006.
- [25] K. Perini, «Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope,» *Building and Environment*, nº 46, 2011.
- [26] K. Shia y J. W. Kim, «An Investigation into the Application of Vertical Garden at the New SUB Atrium,» November 2011.
- [27] <http://www.artoplastica.es>.
- [28] Programa Lider.
- [29] María Machado, Celina Brito, Javier Neila. , «La cubierta ecológica como medio de construcción,» 2000.
- [30] Documento Básico. Protección frente al ruido. Código Técnico de la Edificación, 2009.
- [31] Documento Básico. Ahorro de energía. Código Técnico de la Edificación, 2009.
- [32] Instituto Valenciano de la Edificación, Cuadernos de rehabilitación. Productos y materiales..