



---

# Universidad de Valladolid

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA  
Curso académico 2016-2017

Trabajo Fin de Grado

ACONDICIONAMIENTO BIOCLIMÁTICO. JARDINES VERTICALES.  
APLICACIONES Y CASO PRÁCTICO EN LA ESCUELA DE ARQUITECTURA DE  
VALLADOLID

**AUTOR: Andrea Poza Casado**  
**TUTOR: Jesús Feijó Muñoz**

Julio 2017

## Resumen

Este estudio se centra en el campo de la arquitectura bioclimática, concretamente en la introducción de jardines verticales en la edificación. Como punto de partida se pretende dar una visión general de los sistemas vegetales verticales. Partiendo de sus orígenes se presentan los beneficios que su uso conlleva, tanto a nivel del propio edificio, como a nivel urbanístico y a escala social.

Se plantea una clasificación que permita conocer y ordenar los diversos sistemas existentes, a partir de la cual se propone la aplicación de cada uno de ellos en un caso concreto en la propia Escuela de Arquitectura, para posteriormente realizar un análisis de las mejoras aportadas.

### **Palabras clave**

Sistemas vegetales verticales / Comportamiento térmico / Muros vivos / Temperatura / Evapotranspiración

## Abstract

This research focuses on the field of bioclimatic architecture, specifically on the introduction of vertical gardens on buildings. To begin with, an overview of the vertical greenery systems is given. From their origin, benefits of its use -both at the own building and at an urban and social scale- are presented.

A classification is proposed in order to know and arrange the various existing systems. The application of each one of them in a specific context at the School of Architecture is proposed. To conclude, an analysis of the contributed improvements is performed.

### **Keywords**

Vertical greenery systems / Thermal environment  
Living wall systems / Temperature / Evapotranspiration

ACONDICIONAMIENTO BIOCLIMÁTICO. JARDINES VERTICALES.  
APLICACIONES Y CASO PRÁCTICO EN LA ESCUELA DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
1.1. OBJETIVOS	5
1.2. MARCO HISTÓRICO	6
1.2.1. El jardín de la Arquitectura a lo largo de la historia	6
1.2.2. Arquitectura tradicional con vegetación	7
1.3. BENEFICIOS DE LAS FACHADAS VERDES	8
1.3.1. Efectos a nivel de la edificación	8
1.3.2. Efectos a nivel urbanístico	11
1.3.3. Efectos a nivel social	14
<b>2. CLASIFICACIÓN. PROPUESTA DE ORGANIZACIÓN DE LOS DISTINTOS SISTEMAS</b>	<b>16</b>
2.1. FACHADAS VERDES	17
2.1.1. Fachadas verdes tradicionales	17
2.1.2. Fachadas verdes con medios auxiliares	19
2.2. SISTEMAS INTERMEDIOS	20
2.2.1. Tradicional	20
2.2.2. Modulares	22
2.3. MUROS VIVOS	26
2.3.1. Sistemas modulares	26
2.3.1.1. Bandejas cerámicas	26
2.3.1.2. En bandejas plásticas	28
2.3.1.3. En bandejas metálicas	29
2.3.2. Sistemas Hidropónicos	31
2.3.2.1. Filtros geotextiles	32
2.3.2.2. Espumas	33
2.3.2.3. Lanas y fibras	34
2.3.3. Sistema Aeropónico	36
2.3.4. Hormigón Vegetal	37

<b>3.</b>	<b>CASO PRÁCTICO. ESCUELA DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID</b>	<b>39</b>
3.1.	ESTUDIO PREVIO	39
3.1.1.	Implantación	39
3.1.2.	Climatología	40
3.2.	APLICACIÓN DE LOS DISTINTOS SISTEMAS	43
3.2.1.	FACHADA VERDE	43
3.2.1.1.	Condiciones previas	43
3.2.1.2.	Características de la intervención	45
3.2.2.	Sistema Intermedio	48
3.2.2.1.	Condiciones previas	48
3.2.2.2.	Características de la intervención:	51
3.2.3.	Muro vivo	55
3.2.3.1.	Condiciones previas	55
3.2.3.2.	Características de la intervención:	58
3.3.	ANÁLISIS DE LAS MEJORAS	67
3.3.1.	Estudio térmico	67
3.3.1.1.	Cálculo de la transmitancia de secciones del edificio	67
3.3.1.2.	Cálculo de la transmitancia de secciones de muro vivo	74
3.3.1.3.	Comparación de los resultados	78
3.3.2.	Análisis de la incidencia del viento	80
3.3.3.	Análisis de la variación de la temperatura	84
3.3.4.	Otras mejoras	86
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>89</b>
<b>5.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>91</b>
	Lista de figuras	92
	Lista de tablas	94

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. OBJETIVOS

La vegetación desempeña un papel importante en las ciudades y el microclima de los edificios. Estos pueden aprovechar los efectos climáticos beneficiosos de la vegetación, mediante su integración en el edificio, bien en paredes, cubiertas o espacios abiertos, ya sea en exteriores o interiores. Pese a que la introducción de vegetación en los edificios presenta muchas ventajas, esta práctica se enfrenta de la misma manera a diversos problemas para su aplicación.

Con esto en mente, el objetivo de este trabajo es realizar un estudio de los sistemas verticales vegetales y sus aplicaciones en casos reales, con el fin de mejorar el comportamiento térmico de los edificios donde se sitúan. En este caso, se toma la Escuela de Arquitectura como base para dichas aplicaciones.

La primera parte del trabajo se centra en el uso de la vegetación en la arquitectura a lo largo de la historia y se revisa la literatura existente sobre los beneficios que derivan de la integración de sistemas vegetales en la edificación, tanto desde el ámbito de sus efectos sobre el edificio y su entorno.

Se pretende entender y poner en práctica los conceptos de arquitectura bioclimática dentro de un componente arquitectónico, profundizando en aspectos climáticos relacionados con los efectos de las temperaturas en los edificios, de la incidencia del viento sobre la edificación, la contaminación ambiental y acústica, isla de calor urbano, innovación y diseño medioambiental e integración arquitectónica de la vegetación.

Se propone un sistema de clasificación de las tipologías existentes, con la intención de ordenar y entender las diferentes soluciones que se pueden aplicar en la edificación, caracterizando los sistemas vegetales verticales, fachadas verdes, muros vivos y sistemas intermedios.

Este punto da lugar a una propuesta de aplicación de los diversos sistemas, en casos reales.

El presente proyecto se ha desarrollado con el objetivo de dar a conocer una nueva estrategia sostenible vinculada al uso de vegetación en las envolventes de naturaleza vertical de los edificios. Se pretende adoptar estos sistemas, que en principio pueden parecer complejos, como una herramienta más de diseño arquitectónico sostenible.

## 1.2. MARCO HISTÓRICO

### 1.2.1. EL JARDÍN DE LA ARQUITECTURA A LO LARGO DE LA HISTORIA

A lo largo de la historia, la vegetación ha sido usada en la arquitectura tanto con fines tanto estéticos como funcionales.

Ya en el antiguo Egipto se han hallado las primeras evidencias de jardines ornamentales en pinturas de tumbas. Estos jardines constaban principalmente de un estanque central, cuadrado o rectangular, con peces, plantas acuáticas y flores de loto. El conjunto estaba decorado con estatuas y columnas. El estanque estaba rodeado por un muro perimetral o una sucesión de columnas por donde trepaba una vid.

Los míticos jardines colgantes de Babilonia fueron construidos en el siglo VI a.C., siendo un regalo del rey de los Caldeos a su esposa. Esta arquitectura presentaba árboles y palmeras en las terrazas. Fueron construidos a orillas del río Éufrates.



*Figura 1. Jardines de Babilonia*

Los jardines romanos son los primeros de los que se han hallado restos físicos. Estos heredaron la tradición paisajista griega, a la cual aplicaron sus nuevas técnicas en materia de jardinería. Existían jardines públicos para la clase baja, mientras que las personas de cierto rango contaban con un jardín en el interior de sus viviendas, en el cual se cultivaban además alimentos. Las villas romanas contaban con un especial cuidado en temas de paisajismo, en cuyas terrazas se encontraban fuentes, estanques, esculturas y árboles.

A lo largo del periodo gótico multitud de iglesias, palacios y patios se cubrían los muros con enredaderas, guirnaldas y tramos florales, con el fin de aligerar la contundente gravedad de la mampostería de su arquitectura. En lo referente a los jardines, estos dieron un paso atrás, dominando el aislamiento y recluyéndolos entre las murallas de castillos y monasterios, tratándose de jardines sencillos, similares al huerto.

Durante el renacimiento se redescubrieron los clásicos modelos romanos, tanto por arquitectos como por artistas en general, lo cual inspiró el uso de la vegetación en la arquitectura, a veces subordinando las construcciones a los principios y simbolismos de la jardinería. Se crea a partir de este periodo una corriente de influencia en posteriores periodos artísticos, en los cuales se habla de una representación de la naturaleza, que concibe el entorno natural como una continuación del edificio.

La vegetación siguió teniendo un papel importante a principios del siglo XX con la llamada arquitectura orgánica, la cual implica que la arquitectura no trata de imitar a la naturaleza, sino que, mediante el respeto por las propiedades de los materiales y la relación armoniosa entre la forma, el diseño y la función del edificio, la arquitectura fuese capaz de integrar el lugar y los alrededores naturales con el edificio.

A principios del siglo XX en Alemania, el movimiento del Jugendstil utilizaba plantas trepadoras en los edificios a fin de crear una transición entre la casa y el jardín. En Inglaterra el movimiento Garden City mostró también grandes ejemplos de fachadas verdes.

El uso de plantas trepadoras reclinó en los años 30, debido a las nuevas técnicas de construcción y a la preocupación acerca de las posibles consecuencias sobre la estabilidad de la pared.

Patrick Blanc, botánico francés, diseñó el concepto moderno de paredes verdes como un sistema hidropónico completo, un medio inerte y numerosas especies exóticas. Su primera pared verde está en el Museo de Ciencia e Industria de París.

### 1.2.2. ARQUITECTURA TRADICIONAL CON VEGETACIÓN

Se han encontrado vestigios de cubiertas vegetales en construcciones del Neolítico (3500 a.C.). En concreto, las llamadas tumbas de corredor, las cuales consisten en un estrecho pasillo con varias cámaras funerarias cubiertas de tierra. Al no tratarse de espacios habitables no se precisa de impermeabilización, por lo que solo cuenta con una base estructural de piedra y una capa de sustrato sobre esta.

En los países del norte de Europa se han utilizado cubiertas vegetales desde la edad media. Estas cubiertas utilizaban una capa de césped, la cual permitía un mejor aislamiento térmico en las viviendas. Además, para mejorar la estanqueidad del sistema, se colocaban dos capas de césped en posición inversa, una con las hojas hacia abajo y raíces hacia arriba, y otra en la posición habitual. Estas dos capas formaban una capa resistente a la erosión, ya que las raíces creaban un sustrato más compacto.



*Figura 2. Casa tradicional islandesa*

Las fachadas verdes se convirtieron en un componente importante del arte y la artesanía en los movimientos modernos en Europa. Las cubiertas evolucionaron respecto a las utilizadas en el norte de Europa, presentando un soporte de madera saturado con alquitrán e impregnado con cenizas, método para proteger la madera de la humedad y mejorar su impermeabilización. A mediados del siglo XX se empezaron a utilizar varias capas impermeabilizantes de alquitrán recubiertas de cemento volcánico, un compuesto formado por cemento Portland y toba volcánica triturada. Sobre esta capa se extendía arena arcillosa y, posteriormente, el sustrato.

A lo largo del siglo XX la construcción de cubiertas vegetales recibió varios cambios, los cuales venían motivador por el abaratamiento de costes y la reducción de mantenimiento.

Actualmente, el uso de cubiertas vegetales va directamente ligada con el desarrollo sostenible. Las cubiertas verdes suponen ahora una solución económica a largo plazo, ya que, aunque los costes de construcción o instalación son más elevados que los de las cubiertas tradicionales, los costes de mantenimiento y reparación de estas son superiores.

## 1.3. BENEFICIOS DE LAS FACHADAS VERDES

### 1.3.1. EFECTOS A NIVEL DE LA EDIFICACIÓN

#### *Variación de temperatura*

Este es, quizás, el aporte más inmediato de los sistemas de fachadas verdes. Por un lado, encontramos la reducción de temperatura debido al sombreado y, por otro, el fenómeno de la evapotranspiración. Se calcula que la presencia de vegetación puede llegar a reducir la temperatura ambiental entre 1 y 5°C, lo cual puede conllevar ahorros en refrigeración de hasta un 50%.<sup>1</sup>

El objetivo que cumple el sombreado es reducir el exceso de radiación solar directa en espacios exteriores e interiores. Se trata de cubrir aquellos espacios que tengan una sobreexposición a los rayos solares. De esta forma se reduce el flujo de radiación, pudiendo lograr una transmitancia prácticamente nula, pues el coeficiente de absorbencia de la vegetación es generalmente muy alto.

Uno de los mayores beneficios a la hora de elegir la vegetación como medio pasivo frente al soleamiento u otros dispositivos tradicionales (lamas, persianas etc), es la absorción de la radiación. Estos sistemas, normalmente utilizan materiales metálicos o plásticos, materiales que acaban calentándose. De este modo el calor se radia de nuevo a la superficie del edificio y sus alrededores. En cambio, la vegetación no se comporta de este modo pues, como se ha mencionado anteriormente, su índice de absorbencia es alto.

La energía absorbida por las plantas se divide entre los procesos de fotosíntesis y evapotranspiración. Mediante la evapotranspiración, las plantas liberan H<sub>2</sub>O hacia el ambiente, aumentando la humedad ambiental. En este proceso se utiliza el calor del entorno, de modo que también se reduce la temperatura del aire. Este se trata de un proceso de la propia vegetación para regular su temperatura, por lo que la capa vegetal instalada es capaz de bloquear la radiación sin necesidad de aumentar su propia temperatura.

Concluimos pues, que el uso de vegetación, diseñado del modo adecuado, es capaz de reducir de forma eficaz la necesidad de refrigeración, conllevando un ahorro en los costes de refrigeración.

#### *Inercia térmica y aislamiento*

El añadido de elementos vegetales puede constituir una protección frente a la ganancia de calor en exceso provocada por los rayos solares, ya que la vegetación filtra y obstruye dicha radiación, pudiendo llegar a evitar entre el 50 y 90% de la misma. Habiendo, por ejemplo,

---

<sup>1</sup> Junta Castilla y León. FICHA E-14: FACHADA VEGETAL, medioambiente.jcyl.es

enredaderas sobre las paredes, estas ofrecen sombra, por lo que se disminuye la ganancia de calor, tanto por radiación como por conducción, sobre las paredes.

Este efecto se da ya que la vegetación crea un escudo frente a la radiación directa, al mismo tiempo que se reduce la temperatura del ambiente adyacente al muro.

Dependiendo del tipo de hoja de la vegetación, puede presentar diferentes beneficios que se pueden aprovechar dependiendo del clima en el cual se instale.

Mediante el uso de follaje perenne este puede, durante el invierno, proteger la pared de las pérdidas de calor, creando un efecto aislante mediante la creación de una capa de aire entre la vegetación y la pared, lo cual reduce la convección en la superficie de la misma. La eficacia del aislamiento estará relacionada con el espesor de la vegetación.

Por otro lado, con el uso de follaje caduco, este puede, durante el verano, convertir sus hojas en una estructura opaca que provea de sombra al edificio y proporcione refrigeración mediante evapotranspiración. Durante el invierno, al perder las hojas, las plantas dejan pasar la luz, calentando las paredes del edificio. En este caso, la vegetación caduca presenta este beneficio frente a los aleros fijos.

#### *Incidencia del viento sobre el edificio*

En primer lugar, el viento es una entidad muy compleja, y su interacción con un edificio depende de las características de ambos, como pueden ser la velocidad, altura, humedad y otras propiedades del viento, así como la forma, localización y propiedades físicas de la estructura del edificio. La unión de estas propiedades diferencia la presión que empuja y tira de las superficies exteriores del edificio.

Las principales consecuencias de esta interacción son el levantamiento, la inclinación o deslizamiento y el vuelco o rotación fuera de la base de la estructura.

La masa vegetal, en función de su densidad, puede representar una buena barrera contra el viento, especialmente en orientaciones muy expuestas a fuertes vientos, la velocidad de los cuales se ve en gran medida reducida. Además, debido a la refrigeración ambiental causada por la evapotranspiración, se crean masas de aire a distinta temperatura, lo cual genera una circulación natural del aire en el ambiente urbano.

La reducción de la velocidad del viento es especialmente útil ya que una velocidad elevada puede reducir la eficacia del aislamiento térmico.

#### *Protección contra la contaminación acústica*

Además de como aislante térmico, una capa vegetal puede funcionar como aislante térmico, dependiendo su eficiencia del grosor y densidad de esta.

Mediante la instalación de paredes vegetales se ha conseguido reducir el ruido generado por el tráfico en hasta un 50%, mientras su capacidad de absorción del mismo llega a un 20%. La absorción es especialmente importante ya que esto supone la ventaja de evitar que el sonido reflejado perjudique a otros entornos. Este efecto puede reproducirse en fachadas verdes a modo de aislante termo-acústico.

Las paredes vegetales, además, presentan un aislamiento eficaz tanto en frecuencias altas como bajas, mientras que otros materiales usados como aislantes acústicos funcionan bien en frecuencias altas o bajas, pero no en ambas.

El inconveniente de este método es el coste de instalación y mantenimiento, por lo que esta solución no puede ser elegida solo por sus capacidades de aislamiento acústico, ya que podemos encontrar alternativas mucho más económicas.

Sin embargo, hemos de tener en cuenta que, además del beneficio acústico, contamos con el aislamiento térmico y el efecto psicológico beneficioso que puede proporcionar una capa vegetal, actuando como pantalla visual entre la fuente del ruido y las personas afectadas.

#### *Regulación de la humedad*

Mediante la evapotranspiración, las plantas liberan agua a la atmósfera a través de sus estomas, microscópicas aberturas en sus hojas, con el fin de regular su propia temperatura.

Dependiendo de la humedad presente en el ambiente, la propia vegetación ajusta la emisión de agua de modo que es capaz de reducirla en entornos más húmedos y de aumentarla en otros más secos.

En este último caso, la planta absorberá más agua del sustrato, cosa que hay que tener en cuenta en estos ambientes más secos.

#### *Mejora de la calidad del ambiente interior*

Una cubierta vegetal presenta muchos beneficios de cara al ambiente interior de la vivienda.

En primer lugar, la vegetación actúa como regulador de la temperatura, pudiendo reducir la temperatura ambiente hasta en 5°C en verano, mientras que mantiene la temperatura en invierno, con el consiguiente ahorro en concepto de calefacción y refrigeración.

En segundo, mediante la evapotranspiración, las plantas son capaces de humidificar el ambiente, lo cual generalmente contribuye a mejorar la situación de confort y la propia respiración.

Las plantas contribuyen, además, a reducir la cantidad de compuestos orgánicos volátiles en el interior. Este efecto se produce tanto por las propias plantas como por los microorganismos presentes en sus raíces, capaces de asimilar dichas sustancias.

La vegetación libera sustancias fitoquímicas, las cuales pueden eliminar tanto las esporas de moho como las bacterias que flotan en el ambiente, con sus respectivos beneficios para la salud.

Finalmente, la presencia de vegetación en una vivienda genera un punto de atención en la misma, aportando generalmente un entorno de belleza y una sensación de bienestar.

#### *Gestión de aguas grises*

Mediante el proceso llamado fitorremediación, es posible la depuración de aguas grises, o aguas residuales mediante el uso del jardín vertical. El agua reciclada resultante puede ser recogida y usada para otros usos, como la descarga de váter o la irrigación de otras zonas verdes.

#### *Protección de la arquitectura*

El uso de la fachada vegetal puede resultar en una buena disuasión frente al vandalismo o graffitis que pueden sufrir las fachadas en las ciudades, ya que no presenta una superficie lisa en la cual realizar el dicho graffiti.

Además, en caso de sufrir otros tipos de vandalismo, tanto graffitis como la destrucción de las plantas, la regeneración de éstas ayuda a su reparación y los costes son mucho más bajos que si se tratase de una fachada tradicional.

### 1.3.2. EFECTOS A NIVEL URBANÍSTICO

#### *Mejora de la calidad del ambiente exterior*

Como en otros casos, el principal beneficio de la vegetación en el ambiente exterior es la regulación de la temperatura y de la humedad en el ambiente, pudiendo llegar a reducir en varios grados la temperatura del ambiente local.

Además de esto, y como apartado señalable, las hojas, troncos, y ramas de las plantas ofrecen una superficie de interacción con las partículas presentes en el ambiente, quedando el polvo adherido a estas y siendo más tarde lavadas por la precipitación, mientras que las partículas más pesadas se depositan debido a su masa. El rocío condensado sobre la vegetación desempeña un papel importante, favoreciendo la captación de dichas partículas. Pese a la utilidad de esta tecnología como sumidero de polvo, raramente es utilizada.

Al igual que con las partículas, la vegetación actúa como un eficiente filtro del aire, pudiendo absorber contaminantes tales como el SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>. El contaminante menos

absorbido, sin embargo, es el CO<sub>2</sub>, el cual corresponde casi a la mitad del peso total de los contaminantes emitidos a la atmósfera.

A nivel psicológico, la vegetación tiene un efecto positivo en el aspecto anímico de las personas, provocando una sensación de serenidad y reposo. Considerando este aspecto, destacan entre los elementos característicos de un paisaje, la vegetación, el color y la luminosidad, siendo los dos primeros los más importantes.

Finalmente, la vegetación es un bien necesario para la supervivencia de distintos animales dentro de la ciudad. Mediante una selección óptima de las especies que constituyen la capa vegetal se puede garantizar fuentes de alimento, vivienda y descanso a varios animales.

### *Reducción del efecto isla de calor*

El efecto isla se produce debido a la acumulación de calor en el tejido urbano, especialmente en zonas densamente edificadas, cuyas superficies irradian durante la noche la energía calorífica que han absorbido durante el día. Este efecto se ve incrementado especialmente por el asfalto y otros materiales de colores oscuros, debido a su baja reflectividad. Otros factores que contribuyen al efecto isla son la producción de CO<sub>2</sub> debido a los combustibles fósiles, tanto por los automóviles como por la producción industrial presente en dichos escenarios. Por último, la falta de vegetación y de aguas superficiales causa una menor refrigeración por evaporación de la humedad ambiental.

El hecho de moderar este efecto puede suponer no solamente una mayor sostenibilidad para el propio entorno, sino también mejoras en la salud, pudiendo evitar riesgos es esta debidos al calor excesivo.

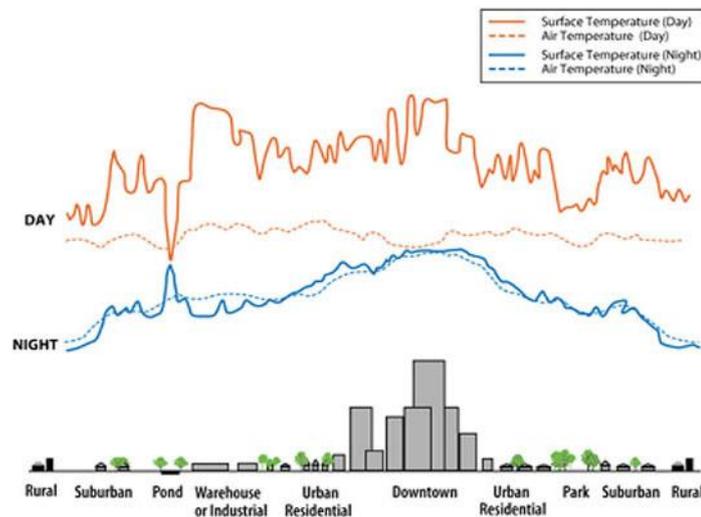


Figura 3. Esquema morfo-isotérico de la isla de calor urbana

La vegetación urbana desempeña un papel importante en el microclima de una ciudad, enfriando las áreas donde se encuentran y humidificando sus alrededores gracias a su capacidad de absorción de energía radiante mediante la transpiración. Gracias a esto es

posible observar cambios de hasta 5°C dentro de una misma ciudad dependiendo de la zona en que se mesure, y en si esta tiene vegetación o no.

Mediante la inclusión de fachadas verdes en la zona densamente urbana, estas pueden ayudar a reducir este efecto, ya que las plantas pueden funcionar como disipadores del calor en vez de reflejarlo o de radiarlo durante la noche.

Los beneficios no se reducen únicamente a los ya explicados, sino también a la reducción de las consecuencias del propio efecto isla, como por ejemplo los datos artificializados de aquellas estaciones meteorológicas que se han quedado dentro de las zonas de efecto.

#### *Retención de CO<sub>2</sub> y producción de oxígeno*

Mediante el proceso de la fotosíntesis, las plantas son capaces de absorber dióxido de carbono y agua del entorno y transformarlo en oxígeno y glucosa.

Si bien es cierto que una única fachada verde no es capaz de amortiguar por completo el impacto del tráfico en una ciudad, un uso más extendido de estas, junto con otras medidas de previsión y actuación pueden reducir considerablemente el impacto de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

#### *Escorrentía de aguas pluviales*

En momentos de abundantes precipitaciones las superficies impermeables, tales como calzadas, aceras, suelos compactados, etc, no drenan el agua recibida, sino que el agua circula sobre estas, acumulando partículas y elementos contaminantes que se han acumulado sobre la superficie. Esto conlleva que, en dichas situaciones, la llegada de estas aguas a las plantas depuradoras puede llegar a provocar el desbordamiento de estas.

Mediante el uso habitual de fachadas verdes y su debido sustrato, se puede aumentar la superficie de superficie porosa.

Aunque realmente no se pueda realizar una medición exacta de este hecho, es una oportunidad a tener en cuenta.

#### *Producción de energía y otros*

Las zonas vegetales pueden, además de los beneficios ya expuestos, componer una base de producción de distintos productos. Se puede, por ejemplo, trabajar en integrar el concepto de agricultura en estas fachadas verdes, de forma que no solo proporcionen comida a los residentes, sino que colaboren en reducir el espacio llano necesario para el cultivo y la consecuente deforestación que sufren ciertas zonas.

Por otra parte, la vegetación produce, dependiendo de la especie, una cantidad considerable de biomasa residual que puede utilizarse a fin de producir energía. En España gran parte de los biocombustibles usados provienen de residuos forestales y jardines.

Mediante el uso de biomasa como combustible se pueden conseguir reducir las emisiones de azufre y partículas, además de gases como CO.

#### *Recuperación de la biodiversidad*

Las zonas urbanas presentan generalmente una pobre biodiversidad, tanto en términos de fauna como de flora. El uso de vegetación en las fachadas de los edificios puede servir a modo de refugio para distintas especies animales, especialmente aves e insectos, tanto de forma permanente como de zona de paso.

Este uso, sin embargo, debe conllevar un especial cuidado enfocado al diseño de las fachadas, así como la prevención de plagas.

Algunos de estos animales, como insectos o roedores, suelen ser repudiados en gran parte de la sociedad, lo cual para ciertas personas constituye más una desventaja que un beneficio.

### 1.3.3. EFECTOS A NIVEL SOCIAL

#### *Aspecto psicológico*

Actualmente, al hablar de la mayoría de grandes urbes, estas suelen presentar una apariencia artificial, debido a la enorme cantidad de asfalto, hormigón, acero y cristal que conforma su paisaje, así como a los sonidos del tráfico, esta puede acabar llegando a parecernos sombría y hostil.

En las ciudades, especialmente cuando se trata de trayectos largos, los ciudadanos se exponen al tráfico, la presión económica, el ruido y a constantes estímulos lumínicos, los cuales repercuten negativamente en el funcionamiento emocional, cognoscitivo y en la salud física.

Las zonas verdes, al contrario, presentan efectos restauradores, tanto a nivel físico como psicológico. Funcionan como estímulos suaves, las cuales hacen que la atención requerida en otros estímulos de la ciudad, como la gente o el tráfico, descanse, mecanismo que ayuda a restaurar la atención, en aspecto cognoscitivo.

Existen, además, distintos estudios que confirman que se puede reducir el estrés laboral si el espacio de trabajo cuenta con ventanas con vistas a árboles o zonas verdes. Algunos estudios llevados a cabo en hospitales afirman también que aquellos pacientes cuyas habitaciones tenían vistas a zonas ajardinadas mostraban una recuperación mucho más rápida que aquellos que no tenían vistas.

Generalmente los espacios urbanos, especialmente en aquellos de alta densidad, los materiales duros como el hormigón, ladrillo o asfalto reflejan el sonido y aumentan el nivel generado. Las fachadas verdes contribuirían a reducir el ruido de la ciudad, reduciendo así los efectos secundarios de este sobre la salud, especialmente en los tramos nocturnos, en los que podría causar enfermedades relacionadas con los trastornos del sueño.

Se han llevado a cabo distintos estudios sobre este tema, a pesar de lo cual presenta una alta dificultad medir cuantitativamente el bienestar de la persona. Por una parte, podemos encontrar beneficios físicos, mayormente relacionados con la mejora de la calidad del aire y la regulación de temperatura y de humedad.

#### *Aspecto económico-energético*

Estos aspectos pueden variar dependiendo de la escala del proyecto y a la medida en que se apliquen las paredes verdes en este. Los beneficios se reparten tanto entre los propietarios del edificio como los promotores y el público circundante.

En primer lugar, el aislamiento térmico de la envolvente del edificio permite reducir los costes de energía en términos tanto de calefacción como de refrigeración, lo cual reduce además las emisiones de gases que implicaría esta actividad.

En caso de tratarse de la transformación de una fachada tradicional en una vegetal, los ahorros en regulación térmica pueden no ser inmediatos, sino que estos se den a medio y largo plazo. El nivel de ahorro dependerá en cada proyecto y sistema usado.

Por el contrario, si la fachada vegetal se incluye desde el diseño del edificio, esta puede suponer un incremento mínimo. Dicho gasto ha de ser valorado por los promotores, los cuales deben decidir si es conveniente, teniendo en cuenta las mejoras que puede aportar al edificio respecto al gasto que conlleva.

La capa vegetal protege, además, el revestimiento de la fachada, protegiéndolo de radiación UV, cambios críticos de temperatura, daños por uso y vandalismo, lo cual aumenta la vida del material, reduciendo los gastos de mantenimiento y reparaciones.

Se ha comprobado que la inclusión de jardines en los edificios puede llegar a aumentar hasta en un 20% el valor de los inmuebles, además de aumentar el número de personas interesadas en comprar o alquilarlos. En algunos municipios y ciudades, además, se reducen un 15% el total del impuesto predial a edificios portantes de elevadas masas vegetales.

Como se ha comentado anteriormente, las fachadas y cubiertas verdes ofrecen, generalmente, una mejora visual respecto a unas tradicionales, pudiendo llegar a tener un impacto en el embellecimiento urbano y el turismo derivado de este.

## 2. CLASIFICACIÓN. PROPUESTA DE ORGANIZACIÓN DE LOS DISTINTOS SISTEMAS

Este punto propone una clasificación de los sistemas de jardines verticales, ya que se ha constatado que no existe una clasificación completa y oficial que organice los diferentes tipos de sistemas vegetales verticales que existen hoy en el mercado.

La división más básica es la que diferencia las Fachadas Verdes (Green facades), aquellas en las que las plantas crecen en el sustrato directamente del suelo, y los Muros Vivos (Living Walls), en los que las plantas reciben el agua y los nutrientes necesarios a nivel del propio paramento, formando un sistema continuo por éste.

Se ha resuelto añadir una clasificación adicional entre ambos sistemas: Sistemas Intermedios, aquellos donde las especies vegetales no reciben los nutrientes directamente del suelo, ni forman un sistema continuo en el paramento.

Cabe destacar que todos los sistemas de esta clasificación se refieren a instalaciones exteriores, pudiendo en la mayoría de los casos, sobre todo en el caso de los muros vivos, instalarse tanto en espacios interiores como exteriores.

A continuación se muestra una tabla que recoge todas las tipologías, con el objetivo de mostrar con la mayor claridad posible la propuesta que se ha realizado.

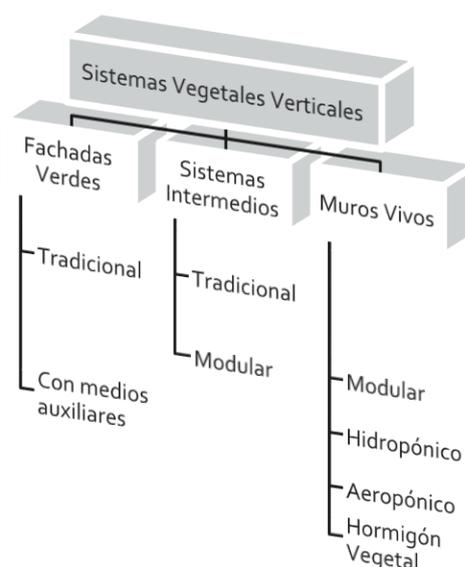


Tabla 1. Propuesta de Clasificación

Fuente: Elaboración propia

## 2.1. FACHADAS VERDES

La denominación viene del inglés "Green facades". La característica principal de esta tipología es que la planta obtiene todos los nutrientes necesarios directamente del suelo, ya que es donde se encuentran sus raíces.

Se trata, por tanto, de un sistema con un crecimiento lento, ya que tarda varios años en avanzar debido al propio desarrollo de la planta. No precisa un sistema de riego específico, pues al ser el suelo el sustrato natural, las plantas obtienen de él todos los nutrientes y agua necesarios.

### 2.1.1. FACHADAS VERDES TRADICIONALES

Este tipo engloba los sistemas donde la planta se encarga de cubrir, en mayor o menor medida, la fachada, sin necesidad de una estructura o sistema constructivo que favorezca este crecimiento.



Figura 4. Casas rural Dehesa de San Juan

Destacan las distintas especies de Hiedras (*Hedera helix*), siendo la cubrición más común en este tipo de sistemas. Se adhieren al paramento mediante unas raíces aéreas.

Otra especie a destacar es la vid silvestre (*Parthenocissus*), cuyo agarre al paramento se realiza mediante ventosas, menos dañino para la mampostería del edificio. También cabe mencionar la Glicina (*Wisteria sinensis*), una enredadera que se tuerce helicoidalmente, o la vid común (*Wisteria sinensis*) en la cual es el tallo de las hojas el que se tuerce alrededor de los soportes.



Figura 5. Vid silvestre de color

*Ventajas:*

Su instalación. Se trata del sistema más económico, además de que su implementación es sencilla y, aunque sí es necesario un mantenimiento básico para que las plantas no invadan ventanas u otros huecos, es un mantenimiento nada costoso en comparación con otros sistemas.

Visualmente ofrece un aspecto compacto y continuo, siendo variable su espesor dependiendo del tipo de planta.

Funciona muy bien como soleamiento pasivo. La hiedra tiene hoja caduca, por lo que produce sombra en verano, pero no durante el invierno, lo que reduce la necesidad de acondicionamiento en el edificio.

*Desventajas:*

No es un sistema que pueda ser diseñado o controlado, por lo que el aspecto final no está en nuestra mano.

En cuanto a aspectos de aislamiento, no genera un gran incremento de la inercia térmica.

Debido a que depende del crecimiento de la planta, se trata de un sistema de crecimiento lento. Se precisan varios años para cubrir una fachada, y en caso de que una planta muera, serían necesarios esos mismos años para volver a llenar su espacio.

Las raíces aéreas pueden penetrar en grietas o juntas de la mampostería generando así un deterioro de la misma. Las ventosas también pueden dejar restos de manchas o marcas, aunque no suponen un riesgo para la fachada.

### 2.1.2. FACHADAS VERDES CON MEDIOS AUXILIARES

Para aquellas especies que no disponen de propiedades adherentes, se pueden instalar distintos medios auxiliares que propicien el crecimiento de las plantas, para llegar a un sistema similar al anterior. Las soluciones son tantas como se puedan imaginar, combinando cables, mallas, tensores, abrazaderas...

#### *Ventajas:*

En general, se trata de un sistema muy similar al anterior, con la variante de que es más flexible en cuanto al diseño, por lo que se pueden estudiar mejoras, como incorporar riego, medición de temperaturas o control remoto para gestionar el mantenimiento de las plantas.

Estas estructuras auxiliares pueden soportar grandes luces y el peso de las plantas sin problema. Su coste tanto de transporte como de instalación es bajo, y su comportamiento ambiental también es notable. Requieren de poco mantenimiento y tienen un largo ciclo de uso.



Figura 7 El mismo edificio 5 años más tarde

Fuente: [arquitecturaplusingenio.blogspot.com.es](http://arquitecturaplusingenio.blogspot.com.es)



Figura 6 Subcentral eléctrica en barcelona Victor Rahola

Fuente: [victorrahola.cat](http://victorrahola.cat)

#### *Desventajas:*

Son similares a las del tipo tradicional, en cuanto al tiempo del proceso de crecimiento de las plantas y en cuanto al aislamiento térmico, y habría que añadir el coste derivado de la subestructura.

## 2.2. SISTEMAS INTERMEDIOS

Dentro de esta clasificación aparecen aquellos sistemas donde las plantas no reciben los nutrientes directamente del suelo, sino que responden al tipo jardinera. Estas pueden ser elegidas por el usuario, definidas en el proyecto arquitectónico inicial o fruto de una transformación posterior al edificio.

### 2.2.1. TRADICIONAL

El sistema tradicional, como no podría ser de otra manera, responde a la colocación de maceteros. Durante siglos se ha utilizado la vegetación en la arquitectura de esta manera, por ser uno de los sistemas más simples, ya que las macetas pueden ser transportadas y reemplazadas en caso de necesidad y no precisa de un sistema de riego sofisticado.

Las macetas pueden ser colocadas por el usuario, según su propio criterio, o como vemos



*Figura 8. Balcones y rejas vegetadas en Córdoba*

*Fuente: zominutos.es*

en los siguientes ejemplos, pueden formar parte del proyecto de fachada del edificio, en menor o mayor medida, llegando incluso a pretender albergar un bosque en la propia edificación.

*El edificio Bosque Vertical fue galardonado en 2014 con el premio Premio Internacional Highrise, como rascacielos más innovador del mundo y considerado el prototipo para las ciudades del futuro.*



Figura 9 bosque vertical

Fuente: [plataformaarquitectura.cl](http://plataformaarquitectura.cl)



Figura 10 bosque vertical Stefano boeri

Fuente: [stefanoboeriarchitetti.net](http://stefanoboeriarchitetti.net)

Estos sistemas necesitan un mantenimiento bajo pero constante, al no encontrarse las plantas en contacto directo con el suelo.

El crecimiento es lento pues depende del desarrollo de cada especie, que, por otro lado, estará limitado al espacio del que disponen las raíces en los maceteros.

El efecto aislante y el incremento de inercia térmica son muy bajos.

En cuanto a su comportamiento, la reducción de temperatura puede ser notable, así como la gestión de aguas pluviales, o la limpieza del ambiente debido a la captura de contaminantes atmosféricos por parte de la vegetación, aunque estos beneficios no son tan pronunciados en este tipo de fachadas.

Destaca el factor estético. Como ya señaló F. L. Wright, "un médico puede enterrar sus errores, un arquitecto solo puede aconsejar a sus clientes colocar macetas."

### 2.2.2. MODULARES

En este caso los contenedores que contienen las jardineras se sitúan en cada planta, siguiendo la línea de forjados. Generan una doble piel al situarse separados de la fachada, formando enrejados tridimensionales muy variables. La estructura se fija directamente a la fachada.

Al ser sistemas modulares, las enredaderas pueden haber adquirido un crecimiento óptimo en las instalaciones de la empresa distribuidora, previo a su instalación. Esto supone que no sea necesario un tiempo tan amplio de crecimiento como los sistemas vistos anteriormente.

Disponen de infinidad de soluciones ya que las medidas de los módulos pueden adaptarse a las necesidades de diseño o tamaño, pudiendo cubrir grandes alturas.



Figura 8. palacio de justicia de Logroño

Fuente: [pedropegnaute.es](http://pedropegnaute.es)



Figura 9. Vegetación en invierno

Fuente: [httparquitecturaplusingenio.blogspot.com.es](http://arquitecturaplusingenio.blogspot.com.es)

## TIPO INVERNADERO

Se trata de un sistema patentado por las empresas Intemper y Technal, que consiste en una especie de muro cortina vegetal, formado por tres capas. Por un lado, la carpintería interior es una ventana metálica corredera de dos hojas de doble acristalamiento con cámara de aire.

La capa intermedia es la que contiene la vegetación. Está compuesta por una jardinera también metálica con riego automatizado. Las especies vegetales crecen desde esta jardinera ayudadas por un sistema de cableado de acero que hace las veces de soporte. La capa exterior está formada por un entramado de lamas regulables.

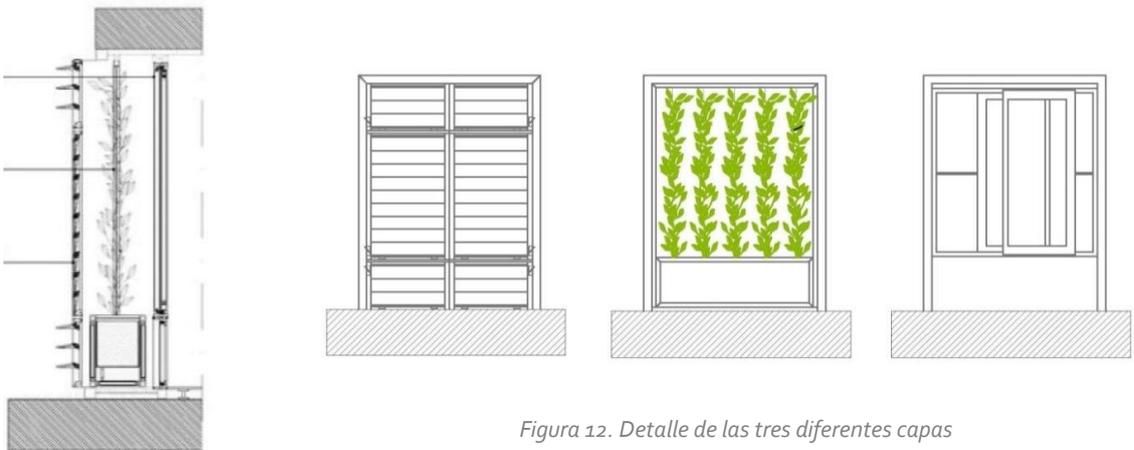


Figura 11. Detalle sección

Figura 12. Detalle de las tres diferentes capas  
Fuente: [signare.es/1-fachadas-vegetales-sistemas-constructivos-dobles-pieles/na/](http://signare.es/1-fachadas-vegetales-sistemas-constructivos-dobles-pieles/na/)

Este sistema supone una instalación sencilla en obra nueva, pues al ser modular permite su estandarización y se realiza en obra seca. Sin embargo, reduce sus posibilidades de uso en rehabilitación. Tiene un comportamiento energético interesante, pues puede proporcionar ventilación térmica, ventilación higiénica y protección solar.

En verano las plantas pueden reducir el soleamiento y aportar además un grado de humedad que posibilita la reducción de unos grados en el interior, lo que conlleva un ahorro en refrigeración. En invierno la caída de las hojas posibilita la máxima entrada de radiación solar. Además, el conjunto puede funcionar a modo de invernadero, calentando el aire de forma pasiva, lo cual produce también un ahorro energético.

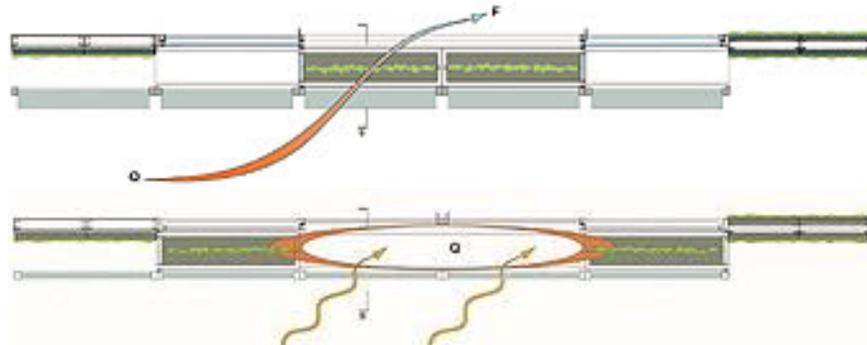


Figura 13 detalle en planta

Este sistema se encuentra aún en fase de estudio. Los investigadores del grupo ABIO de la Universidad Politécnica de Madrid están desarrollando un estudio sobre este sistema.

#### TIPO DESLIZANTE

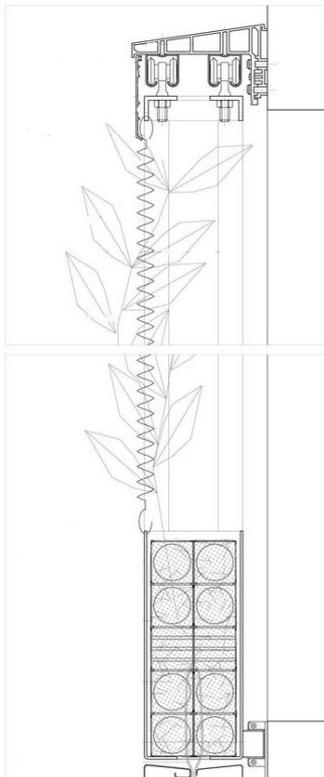


Figura 14 Detalle constructivo

Fuente: *habitat.aq.upm*

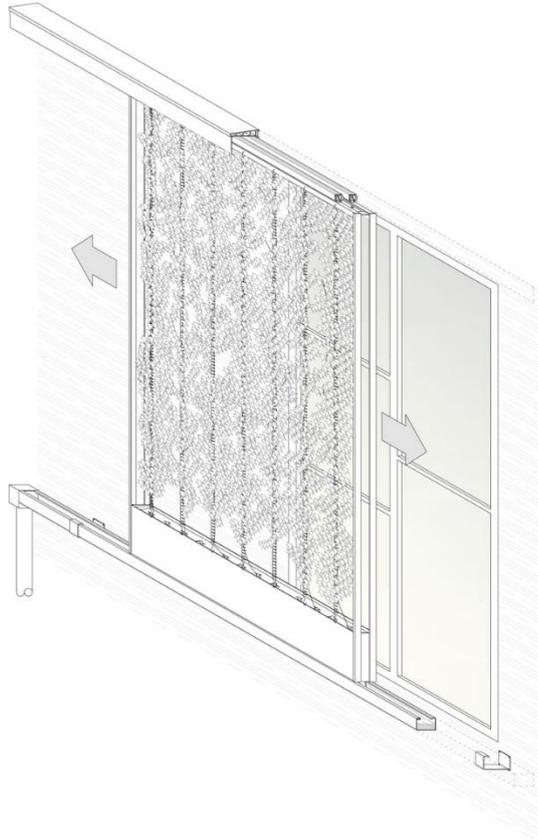
Del mismo modo que el anterior, es un sistema patentado por la empresa Intemper, en colaboración con Technal.

El sistema incorpora una jardinera de chapa de aluminio plegada en la parte inferior del panel, que contiene especies trepadoras, preferentemente de hoja caduca. Se constituye así una protección solar móvil para huecos de fachada.

Los maceteros deslizan solidariamente con el panel, por lo que se deben plantar especies que necesiten poco sustrato para no incrementar excesivamente el peso del sistema. Una serie de cables helicoidales atraviesa el marco deslizante, posibilitando el crecimiento de las trepadoras. Dispone también de un sistema de riego por capilaridad para mantener la humedad del sustrato. El soporte para el sustrato posibilita una sustitución y una colocación rápida y fácil de las especies vegetales traídas desde vivero. Para ello, se plantea un sistema de placas rígidas de polipropileno (reciclado y reciclable) celulares, rellenas con el sustrato y envueltas con un geotextil que lo retenga. El geotextil ha de ser lo suficientemente resistente como para sostener el sustrato, garantizando además una humedad óptima en condiciones de riego normales.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> ALONSO, Javier. *Sistemas vegetales que mejoran la calidad ambiental de las ciudades*

Este sistema supone una instalación sencilla en obra nueva, pues al ser modular permite altos niveles de estandarización, lo que facilita el montaje y puesta en obra. Al tratarse de un sistema deslizante, solo es posible su instalación en edificios con aberturas del mismo tipo o hacia el interior.



*Figura 15 Detalle del Funcionamiento*

*Fuente: habitat.aq.upm*

En cuanto a su comportamiento ambiental, constituye una protección solar para huecos de fachada. La principal ventaja es que el usuario puede elegir el modificar esta protección según cada momento, al ser deslizante. Las plantas actúan como protección frente a las ganancias de calor, encargándose de obstruir, filtrar y reflejar la radiación. Estas ganancias se reducen por radiación, así como por conducción, ya que se evita el impacto de la radiación directa, y la temperatura del aire adyacente al muro desciende.

## 2.3. MUROS VIVOS

Dejamos atrás los sistemas más tradicionales para dar paso a los llamados Muros Vivos, del inglés "Living Walls".

En este tipo de soluciones las plantas son parte del sistema envolvente del edificio, crecen a cierta distancia de la fachada, creando un aspecto continuo, a diferencia de los sistemas vistos hasta ahora.

Pueden ser contruidos prácticamente en cualquier localización, tanto exteriores como interiores, ya que, gracias a las características del sistema es posible incorporar especies que no precisen de capacidades de adherencia (trepadoras) ni ser colgantes, abriendo un gran abanico de posibilidades. De esta forma pueden plantearse en todo tipo de climas: desde soleados a nórdicos, pasando por climas tropicales templados. La adaptación de un mayor número de especies vegetales permite la creación de ecosistemas naturales, en los que hay que tener en cuenta la relación entre los diferentes tipos de plantas.

Debido a la diversidad y densidad de vida vegetal, los muros vivos requieren de cuidados y mantenimiento más intensivos: riego continuo, nutrientes, fertilizantes... Es común integrar los sistemas de riego en los sistemas modulares. Existen sistemas automáticos de control de la cantidad de agua y nutrientes necesarios, que facilitan en gran medida el mantenimiento. Pueden ser controlados por desde la empresa instaladora del sistema o desde el propio edificio.

### 2.3.1. SISTEMAS MODULARES

Estos sistemas están compuestos por una estructura ligera, que se ancla a la fachada del edificio donde se quiere instalar el jardín vertical, y sobre la que se colocan unos paneles.

Dichos paneles son carcasas con forma generalmente rectangular, ya sea a modo de malla, de caja acero, celdas plásticas... etc. Cada vez aparecen más modelos y fabricantes en el mercado. En el interior de estos paneles se depositan los sustratos necesarios para la planta y se procede a la plantación de las mismas, siendo esta plantación previa a la colocación del jardín, generalmente.

#### 2.3.1.1. BANDEJAS CERÁMICAS

Lo que caracteriza este sistema es el medio de plantación, formado por una fábrica de cajas cerámicas, colocadas con cierta inclinación, elemento que junto a la combinación de diferentes sustratos permite almacenar agua durante un largo periodo de tiempo.

Esto hace que el sistema sea especialmente indicado para climas áridos y semiáridos, donde existe un elevado soleamiento, aunque puede elegirse para todo tipo de climas.

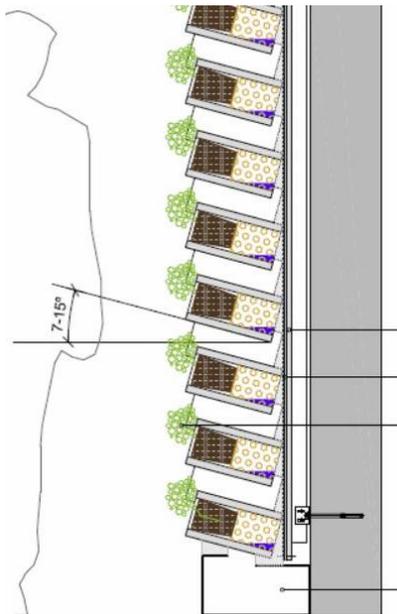


Figura 16 Detalle constructivo

Fuente: SingularGreen

Sobre el muro que se desea cubrir se coloca una membrana de poliuretano, y sobre esta se instalan las celdas cerámicas hidrofugadas, con una inclinación de 7 a 15° sobre el plano horizontal. Las cajas cerámicas se fijan al muro mediante mortero y conectores de acero inoxidable. Estas cajas o pequeñas jardineras pueden albergar hasta 80 plantas/metro cuadrado. El sistema de riego se basa en una distribución sectorizada de líneas de goteo autocompensante con goteos de 4 litros/hora y separación de 3 metros entre líneas. La inclinación de las jardineras hace posible la retención de agua, de modo que la pared se mantiene en condiciones de humedad óptimas para las plantas durante largos periodos de tiempo. Además, se le puede aplicar una película hidrófila sobre las cajas cerámicas que se encarga de mantener el agua de riego adherida al jardín, facilitando también la captación de agua atmosférica, como la niebla o el rocío.

Conviene destacar que, en este sistema, los huecos cerámicos funcionan como cámaras que actúan como barrera de absorción acústica.

La concepción de este sistema de jardín vertical no entraría dentro de los complejos sistemas automatizados de jardinería vertical, aunque sí que requiere un mantenimiento más personalizado. Esta tipología ofrece la posibilidad de considerar un jardín vertical a un nivel más doméstico ya que el tipo de vegetación seleccionada requiere poca cantidad de agua y mantenimiento mínimo, y el propio usuario puede encargarse de sustituir las plantas sin conocimientos especializados.



Figura 18. Terraza con sistema eco bin en Ibiza

Fuente: urbanarbolismo



Figura 17. Acabado

Fuente: Urbanarbolismo

### 2.3.1.2. EN BANDEJAS PLÁSTICAS

Este sistema utiliza paneles de polietileno o polipropileno reciclado, con una porosidad del 90%, dependiendo de la empresa. Los paneles o módulos se anclan a la fachada gracias a un sistema de estructura ligera de acero, normalmente en dirección vertical y horizontal. Cada bandeja dispone de compartimentos donde se alojan las plantas y el sustrato, y un sistema de riego por goteo también en cada uno de los paneles. El sustrato es retenido por un fieltro en el que se practican incisiones para introducir las plantas.

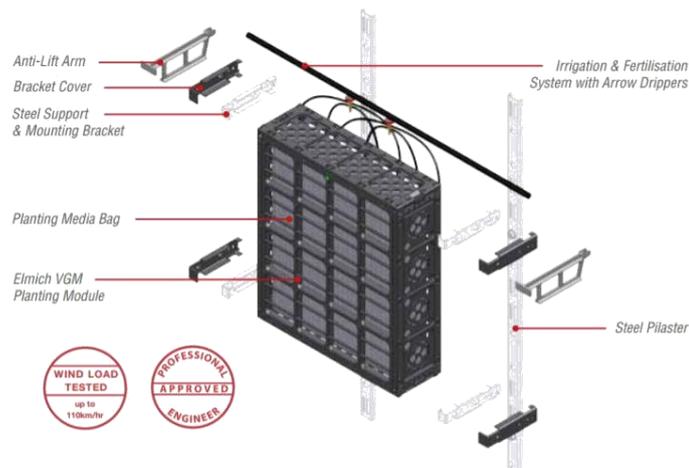


Figura 19. VGM Living Wall

Fuente: [elminch.com.eu](http://elminch.com.eu)

Con este sistema se puede conseguir una cobertura total desde prácticamente el primer momento, pues permite su instalación una vez se han desarrollado las plantas. Esto también supone una ventaja en el caso de que alguna planta enferme, sustituirla no requiere un gran coste, y no hay que esperar a que se desarrolle en fachada.



Figura 20 VGM Living Wall acabado

Fuente: [femox.ch](http://femox.ch)

El principal problema de esta tipología es el peso. Estos sistemas pueden llegar a pesar más de 120kg por metro cuadrado, dato a tener en cuenta a la hora de elegir esta opción, ya que llega a cuadruplicar el peso que ofrecen otros sistemas.

Debido a que el espesor disponible para el sustrato es de apenas unos centímetros cúbicos, el desarrollo de las raíces está limitado, por lo que no existe mucha libertad de especies que se pueden elegir. Esto limita la elección de especies vegetales a aquellas de poco tamaño y tipo arbustivo. Es por ello que con estos sistemas el aspecto tiende a ser muy geométrico, y en parte artificial, pudiéndose apreciar la cuadrícula fácilmente.

Esto implica también que no sea un sistema adecuado para climas duros, ya que en época de fuertes lluvias y tormentas el agua puede hacer desaparecer el sustrato, dejando visibles las raíces.

Al tratarse de un sistema modular comercializado, permite altos niveles de estandarización de los elementos constructivos, lo que desemboca en facilidad de puesta en obra y montaje, así como sustitución de paneles en caso de necesidad.

### 2.3.1.3. EN BANDEJAS METÁLICAS

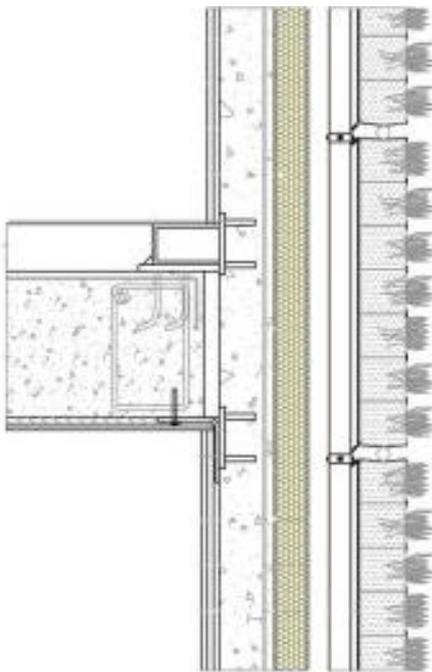


Figura 21 Sistema Constructivo

Fuente: [habitat.aq.upm.es/](http://habitat.aq.upm.es/)

Se trata de un sistema muy similar al anterior, formado por paneles de acero inoxidable o aluminio, disponible en varios tamaños, dependiendo de la empresa, en los que se deposita el sustrato.

Los paneles están formados por un cierre metálico de clapa galvanizada y lacada, pudiendo también ser de aluminio con perforaciones. Las posibilidades son infinitas.

En el interior se encuentra el fieltro sintético de fibras de poliéster, que retiene el sustrato evitando pérdidas al colocarse en vertical, y facilita la difusión del riego por capilaridad. El sistema de riego es automático y de fertirrigación, es decir, aporta nutrientes a las plantas además del agua.

Los paneles se instalan sobre una serie de perfiles dispuestos tanto vertical como horizontalmente. Esta estructura permite separar los módulos vegetados del cerramiento interior, creando así una cámara de aire que protege al edificio. Esta tipología admite módulos en esquina, lo cual es una ventaja sobre otras soluciones.

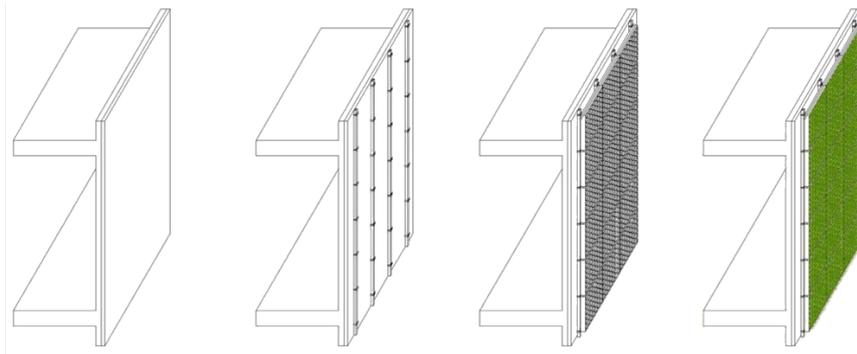


Figura 22 Despiece de los componentes

Fuente: [habitat.aq.upm.es](http://habitat.aq.upm.es)

Con este sistema se puede conseguir una cobertura vegetal continua desde un primer momento, pues permite utilizar plantas ya desarrolladas en su instalación, por lo que ofrece también la posibilidad de sustituir plantas enfermas sin tener que esperar a que se desarrollen de nuevo en la fachada.

El principal problema de esta tipología es el peso. Estos sistemas pueden llegar a pesar más de 120kg por metro cuadrado, dato a tener en cuenta a la hora de elegir esta opción, ya que llega a cuadruplicar el peso que ofrecen otros sistemas.

Como se ha visto en el sistema anterior, el resultado revela los módulos por los que está formado por lo que puede tener un resultado un tanto artificial.

Hay que tener en cuenta que, debido al material, estos sistemas de cajas precisan un tratamiento para evitar la corrosión, al estar continuamente expuestos a la humedad generada por el propio sistema de riego y la evaporación de agua de las propias plantas.

La inversión inicial en este tipo de sistemas es superior al tipo anterior debido al material y al coste añadido de diseño y tecnología.



Figura 23. Museo San Telmo, Nieto Sobejano Arquitectos

### 2.3.2.SISTEMAS HIDROPÓNICOS

La hidroponía o agricultura hidropónica es un método utilizado para cultivar plantas usando disoluciones minerales en vez de suelo agrícola. Las raíces reciben una solución nutritiva y equilibrada disuelta en agua con todos los elementos químicos esenciales para el desarrollo de las plantas, que pueden crecer en una solución mineral únicamente, o bien en un medio inerte, como arena lavada, grava o perlita, entre muchas otras.

Esta técnica de cultivo sin suelo evita los impedimentos o limitaciones que representa el suelo en la agricultura convencional mediante el uso de sustratos, todo material sólido distinto a la tierra que se usa para la siembra en hidroponía como soporte para la planta y no para su alimentación. El uso de sustratos permite un control total sobre factores que afectan el desarrollo de la planta, como humedad, oxigenación y nutrición. Son cultivos sin suelo, en lo que respecta a no contener suelo natural. Perlita agrícola, piedra pómez, fibras de coco, turba o lana de roca, son sustratos de gran uso en lo que se denominan cultivos hidropónicos.<sup>3</sup>



Figura 24. cultivo con raíces flotantes

Fuente: [hydroenv.com/catalogo](http://hydroenv.com/catalogo)

La idea parece novedosa, pero sin embargo no lo es tanto. En 1951, Sholto Douglas, ya publicaba en la India un libro sobre el Sistema Bengalí de cultivo hidropónico, en el que explicaba cómo cultivar en cubiertas y patios de edificios.

El cultivo hidropónico había tenido su auge durante la Segunda Guerra Mundial. Su finalidad era la de alimentar a las tropas desplazadas durante el conflicto bélico. Este sistema de cultivo tuvo su origen en los Estados Unidos, desde donde se extendió a la América central y a Europa y llegó a la India en 1946. Douglas habla en su libro del principal problema de la India, el Hambre. Cultivar con los sistemas hidropónicos aprovechando los espacios libres en las ciudades, cubiertas, patios o balcones, podía abastecer a una población necesitada. Ciertamente ese enfoque fue pionero, y no nació de la abundancia, como muchas ideas de nuestras ciudades inteligentes, sino de la necesidad, desde donde realmente se fraguan las ideas que cambian el mundo.<sup>4</sup>

Patrick Blanc, botánico francés, es considerado el inventor del primer sistema hidropónico para la introducción de jardines verticales en la edificación.

Esta tipología está formada por tres capas principales: Un marco estructural, una capa impermeabilizante y la capa donde se sitúan las plantas. En el sistema original de Patrick Blanc, esta capa está formada por dos capas de fieltro geotextil, aunque en la actualidad se han desarrollado otras patentes con distintos materiales.

<sup>3</sup> <https://es.wikipedia.org/wiki/Hidroponia>

<sup>4</sup> BURÉS, Silvia. *Huertos Hidropónicos Verticales*. La Vanguardia.

### 2.3.2.1. FIELTROS GEOTEXTILES

Denominado Le Mur Vegetal, nace a partir de los numerosos estudios realizados por el botánico francés. Blanc se percató de que no todas las plantas crecen sobre la tierra, algunas lo hacen sobre soportes desprovistos de sustrato, como rocas, los propios troncos de árboles o los lechos de los ríos. Estas plantas suelen encontrarse en medios bastantes húmedos, regularmente bañados por las lluvias. Esto le llevó a concebir un sistema en el que las plantas pudieran crecer sobre soportes verticales, sin necesidad de sustrato.

El sistema se instala sobre un marco formado por vigas colocadas en vertical. Este marco se fija al paramento donde se desee colocar el jardín vertical. A continuación, se sujetan unas láminas de PVC impermeable sobre el marco.

Entre la lámina impermeable y la pared, fachada, o estructura existente, existe una cámara de aire. Este espacio tiene unas dimensiones variables, que rondan los 5 cm, y que recorre toda la altura y la longitud del jardín vertical. Esto permite que el aire circule libremente por detrás de la estructura, aportando una mayor capacidad aislante.

El material sobre el que se soportan las especies vegetales está formado por dos capas de material reciclado de fibras sintéticas, o láminas geotextiles, que se grapan a los paneles. Estas capas disponen de una especie de bolsas para colocar las plantas. El medio de cultivo se compone de sustratos inertes, como perlita y vermiculita que hace posible el crecimiento de las raíces no solo en volumen, sino también en superficie. Estos tipos de sustratos son capaces de retener el agua durante más tiempo que un sustrato tradicional de tipo biológico, por lo que se reduce así la cantidad de riego necesaria.

La consecuencia de este nuevo sistema de cultivo deriva en una ligereza característica. Se trata del sistema de jardín vertical más ligero del mercado, donde su peso, incluyendo las plantas y la estructura, es de unos 30 kg el m<sup>2</sup>.

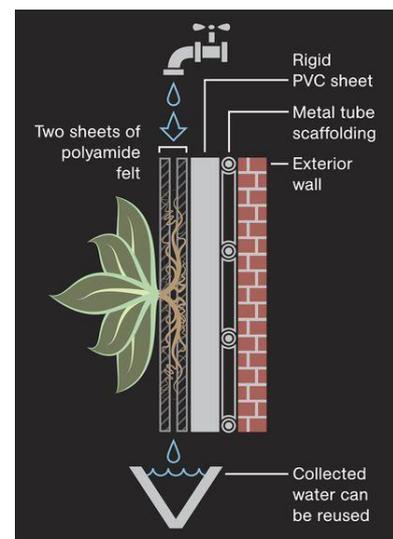


Figura 25. Esquema sistema geotextil

En cuanto al aislamiento térmico, también supone grandes mejoras frente a los sistemas vistos anteriormente. Al funcionar como una fachada ventilada, se incrementa el aislamiento de las edificaciones. En invierno aporta un gran efecto de aislamiento térmico, y en verano también se reduce la temperatura ambiente, a través de los procesos de sombra y evapotranspiración que ya se han nombrado.

Las especies vegetales, al estar plantadas individualmente, permiten una sustitución también individual, lo que supone una mejora frente a las tipologías anteriores, donde la sustitución debía ser por módulos completos. Se colocan de 20 a 40 plantas por metro cuadrado.



*Figura 26. Fase proyecto, instalación y resultado en el Caixaforum, Madrid*

*Fuente: jardinesverticalesycubiertasvegetales.blogspot.com, verticalgardenpatrickblanc.com*

Este tipo de plantas requieren cantidades menores de agua que aquellas que son regadas con métodos tradicionales, pues el riego se dirige directamente hacia las raíces, en lugar de regar todo el entorno de las plantas. El riego se realiza por goteo a través de tubos de polipropileno perforado, que se colocan de forma horizontal, y en la parte inferior del sistema se recoge el agua sobrante, que puede aprovecharse nuevamente en el sistema.

El mantenimiento de esos sistemas es el más complejo de los vistos hasta ahora, pues requiere una instalación más especializada. Se precisa de controles en cuanto al riego, Ph, conductividad... etc, por lo que, si hubiera un fallo mecánico de éstos o una pérdida de energía durante un largo periodo de tiempo, es posible que las consecuencias fueran graves: las plantas podrían morir y se precisaría de una gran inversión para volver a poner en funcionamiento el jardín.

Se trata de un sistema que requiere una mayor inversión inicial, aunque en los últimos años han aparecido otras patentes que ayudan a abaratar los costes de un sistema inicialmente tan novedoso.

#### 2.3.2.2. ESPUMAS

En este caso el sistema se desarrolla sobre una espuma a base de poliéster-algodón como sustrato. Existen diferentes espumas: de polietileno, poliestireno, poliuretano o espumas

fenólicas. En general tienen como objetivo oxigenar y aligerar la estructura, y suelen ser mezclados con otros sustratos para mejorar sus capacidades.

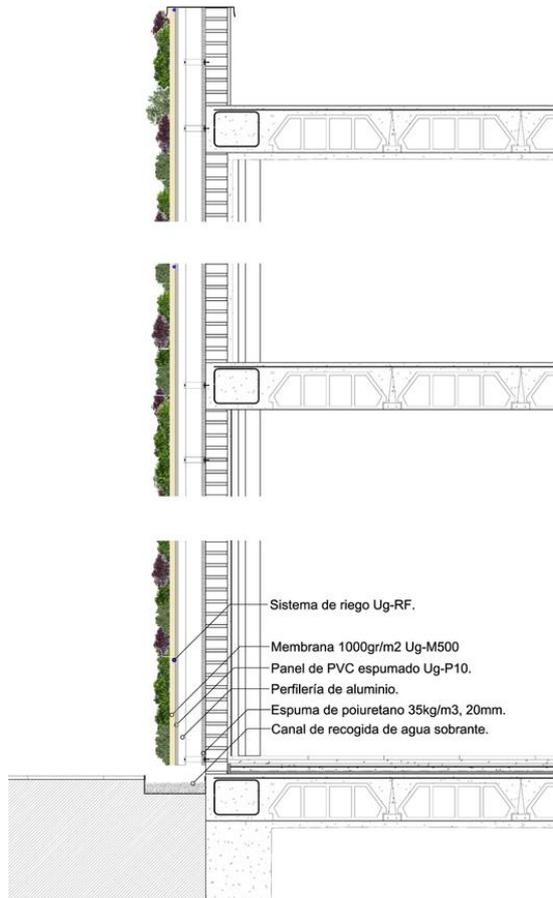


Figura 27. Detalle constructivo

Fuente: archdaily.com

En este material la raíz se encuentra protegida, no solo en el jardín vertical, también durante el periodo de transporte y siembra, ya que el sistema permite colocar los paneles preplantados directamente insitu. Esto reduce al máximo el estrés de la planta en el proceso de traslado y plantación.

Es un sistema de bajo peso (25-30kg/m<sup>2</sup> saturado), con una velocidad de montaje muy de 100m<sup>2</sup> en 10 días aprox. Las especies se plantan y sustituyen con facilidad ya que se pueden plantar y extraer de forma independiente. El sistema de riego se sitúa entre la capa de material no tejido, lo que permite un fácil acceso. El espesor total del sistema ronda los 20cm, con 40 plantas/m<sup>2</sup>.

Esta tipología crea un ecosistema que potencia el arraigo y crecimiento de las plantas, lo que fomenta la colonización espontánea de nuevas especies, mejorando así la interacción ecológica con el entorno. El sistema de riego debe también ser automático y con posibilidad de gestionarse de forma remota.

### 2.3.2.3. LANAS Y FIBRAS

En este caso el sistema se desarrolla sobre lana de roca. Gracias a que es un material con hebras y que retiene el aire es ideal para cultivar de forma hidropónica diferentes tipos de plantas y vegetales.<sup>5</sup>

Constructivamente funciona de forma similar a los sistemas anteriores, se compone de una fachada ventilada formada por una estructura portante, una capa impermeable y el sustrato donde se colocan las especies vegetales.

<sup>5</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Lana\\_de\\_roca](https://es.wikipedia.org/wiki/Lana_de_roca)

La principal ventaja del este sistema es el uso de un material inerte como sustrato, donde el intercambio catiónico del sustrato es muy reducido, por lo que impide una precipitación de sales, y en caso de que se produjera, podría ser fácilmente disuelta de nuevo. El sustrato de lana de roca garantiza la resistencia a temperaturas bajo cero, hasta  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pues la raíz de la planta se encuentra protegida.

Con la lana de roca se consigue reducir los periodos de riego, pudiendo incluso permitir la supervivencia del sistema en caso de fallo del riego, gracias a su capacidad de retención del sustrato, de hasta  $6\text{ l/m}^2$  frente a los sistemas puramente hidropónicos que precisan de un flujo del agua continuo. La lana de roca que se usa en los jardines suele tener una densidad de aproximadamente  $100\text{ kg/m}^2$ .

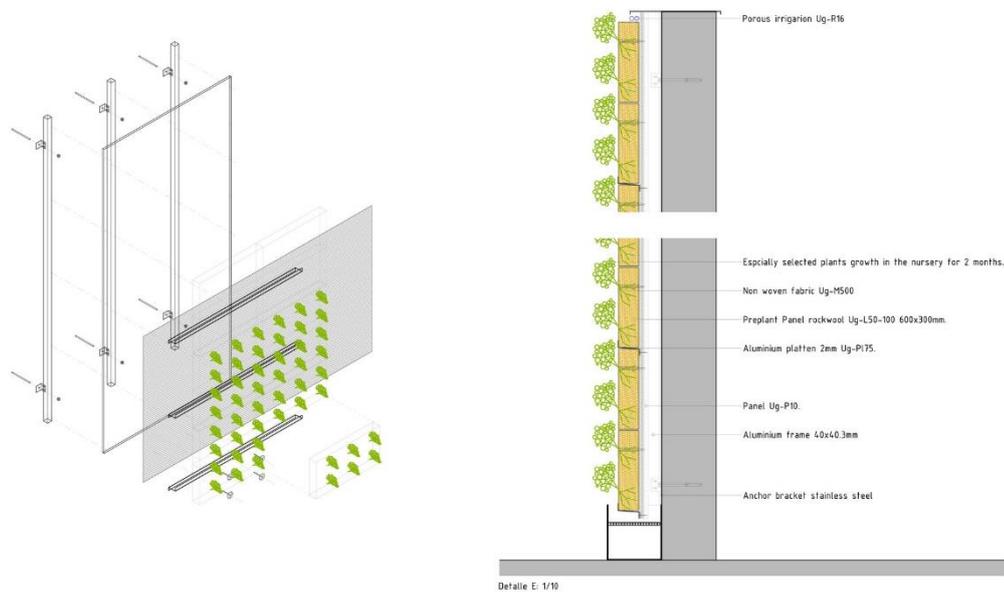


Figura 28. Jardín Vertical del Palacio de congresos de Vitoria-Gasteiz por Urbanarbolismo y Unusualgreen

Fuente: Plataformaarquitectura.cl

Otras fibras, a parte de la explicada anteriormente, que se utilizan en estos sistemas, es la fibra natural de coco. La principal diferencia frente a la fibra anterior radica en que este es biodegradable ya que se trata de un sustrato orgánico. La fibra de coco es empleada en hidroponía por la alta relación de carbono/nitrógeno que tiene. Además, tiene una capacidad de retención de humedad alta, con un 57%.

### 2.3.3. SISTEMA AEROPÓNICO

Este sistema de muro vivo está formado por una agrupación de plantas aéreas llamadas tillandsias. Esta familia de plantas obtiene el agua y los nutrientes que necesita del aire, por lo que las necesidades de riego son mínimas y no es necesaria aportación de nutrientes.

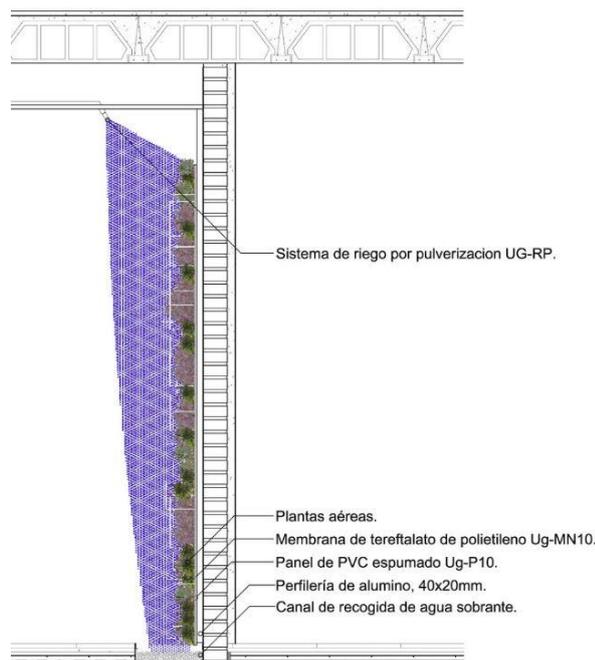


Figura 29. Sistema nébula

Fuente: tectura.es

La principal ventaja de este sistema es el mínimo mantenimiento que requiere, ya que el sistema de riego se puede realizar mediante pulverizadores manuales o con nebulizadores, esta última opción crea alrededor del jardín vertical una pequeña nube de niebla. Se trata de un sistema especialmente recomendado para situaciones donde no se pueda tener acceso a las instalaciones de agua.<sup>6</sup>

Constructivamente funciona de manera similar a los sistemas hidropónicos vistos anteriormente.

---

<sup>6</sup> LÓPEZ, Tara. *Jardines verticales*

#### 2.3.4. HORMIGÓN VEGETAL

Este sistema se basa en la utilización de un hormigón permeable, que cuenta con una serie de cavidades donde crecen las plantas.

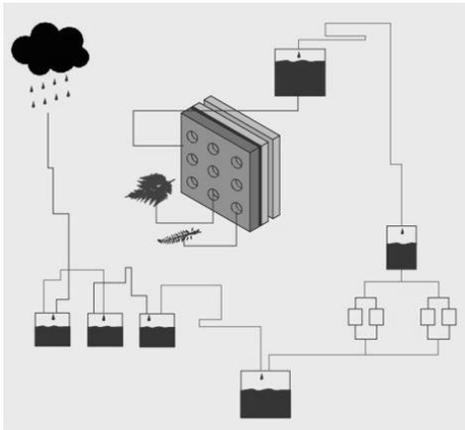


Figura 30. Sistema de gestión del agua

Fuente: [renataturfano.com.br](http://renataturfano.com.br)

La hoja interior está formada de un hormigón convencional, tipo Portland, que tiene un PH alrededor de 8. La hoja exterior sin embargo está formada por un cemento 'biológico' de fosfato de magnesio, ligeramente ácido. Esto va a propiciar el crecimiento natural y el desarrollo de los organismos. Además del pH, se han modificado otros factores para mejorar el comportamiento frente a la vegetación, como, por ejemplo, la rugosidad superficial y la porosidad. Por lo tanto, esta capa se comporta como un soporte capaz de retener el agua y mantener la humedad. Las especies aptas para este tipo de sistema son sobre todo ciertas familias de microalgas, hongos, líquenes y musgos.

Entre las dos hojas se sitúa una lámina impermeable que protege a la hoja interior manteniendo sus capacidades constructivas y estructurales.



Figura 31. Edificio Harmonía, triptyque, Sao Paulo

Fuente: [triptyque.com](http://triptyque.com)

La principal ventaja de este sistema es su ligereza, siendo su peso de unos 30kg/m<sup>2</sup>, teniendo en cuenta las plantas y el sistema de soportes. Su instalación también es moderadamente sencilla, pues es un sistema estandarizado. Además, las placas del

hormigón polímero son individuales, lo que permite su inspección o su sustitución en caso de que fuera necesario.

Al tratarse de un sistema tipo fachada ventilada, sus propiedades de aislamiento térmico son positivas, pues se eliminan los puentes térmicos y problemas de condensaciones. La capa vegetal junto a las propiedades del hormigón polímero proporciona una protección adicional frente al soleamiento.

Este sistema se encuentra en fase de estudio por lo que cabe la posibilidad de que tenga problemas de degradación prematura. Habría que estudiar el desarrollo de las raíces, que quizá ocasionen fisuras y degradación del hormigón.

### 3. CASO PRÁCTICO. ESCUELA DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID

#### 3.1. ESTUDIO PREVIO

##### 3.1.1. IMPLANTACIÓN

El lugar que se ha escogido como objeto de estudio es, como no podía ser de otra manera, la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid, perteneciente a la Universidad de Valladolid, (UVa).

El edificio se encuentra fuera del Campus, en el número 18 de la Avenida Salamanca. Coordenadas  $41^{\circ}39'01''\text{N}$   $4^{\circ}44'26''\text{O}$ .



*Figura 32. Plano de Situación*

*Fuente: Elaboración propia con base GoogleMaps*

La Escuela, tal y como la conocemos, es el resultado de la unión de dos edificaciones diferentes, proyectadas por el mismo arquitecto, Antonio Fernández Alba. La primera fase, que se materializó entre 1974 y 1979, constituye un bloque lineal orientado al NE-SO, cuya fachada principal vuelca sobre la Avenida Salamanca. Se trata del ala de despachos y oficinas. En un principio iba a ser la delegación del Ministerio de Educación, en la Plaza de Poniente, junto al Instituto Nuñez de Arce. Por lo que no se mantuvo ni el uso ni el emplazamiento original.

La ampliación fue proyectada sobre 1980 y se comenzó a construir en 1989. A diferencia de la primera construcción, esta sí fue ideada para su función, por lo que cuenta con una mayor libertad de organización. Tiene una forma más central, de geometría cuadrada, con dos núcleos de escaleras y dos de baños al NE y SO, además del pasillo y escaleras de conexión con el antiguo edificio.

En lo que respecta al entorno inmediato del mismo es importante destacar que se trata de una zona de edificios aislados en altura. Sin embargo, algunos de ellos, los situados en la cara contraria a la avenida Salamanca, tienen la altura suficiente para arrojar sombra sobre el edificio.

La escuela cuenta con numerosos árboles dentro de su perímetro, así como césped de buena calidad en los patios traseros, y la vegetación además cubre la valla que delimita el recinto. Esta investigación propone ir un paso más allá e implicar esta vegetación no solo en las inmediaciones, si no *sobre* el propio edificio.

### 3.1.2. CLIMATOLOGÍA

Son de especial interés los datos de soleamiento, lluvias y temperaturas, no sólo para la elección del tipo de cultivo y las diferentes especies vegetales, sino también para el diseño de una propuesta de red hidráulica de riego apropiada, que garantice la funcionalidad de la nueva fachada vegetal.

La siguiente tabla refleja las zonas climáticas (Z.C.) de las capitales de provincia en función de su altitud respecto al nivel del mar (h). Valladolid pertenece a la Zona Climática D2.

La Península Ibérica puede dividirse en tres zonas climáticas: la interior, la mediterránea y la galaico-cantábrica. La comunidad de Castilla y León pertenece a la primera. En concreto, el clima de Valladolid es un Clima mediterráneo continentalizado.

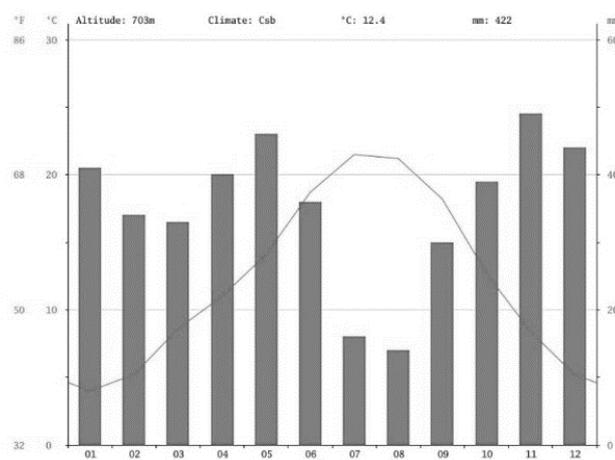


Figura 33. Climograma de Valladolid

Tabla B.1.- Zonas climáticas de la Península Ibérica

Zonas climáticas Península Ibérica																		
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700			h ≥ 700			
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h ≥ 800			
Ávila	E1	1054													h < 550	h < 850		h ≥ 850
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450			h ≥ 450			
Barcelona	C2	1										h < 250			h < 450	h < 750		h ≥ 750
Bilbao/Bilbo	C1	214											h < 250			h ≥ 250		
Burgos	E1	861														h < 600		h ≥ 600
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 1050			
Cádiz	A3	0	h < 150				h < 450					h < 600	h < 850			h ≥ 850		
Castellón/Castelló	B3	18					h < 50					h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Ceuta	B3	0					h < 50											
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h ≥ 500			
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550				h ≥ 550			
Coruña, La/ A Coruña	C1	0											h < 200				h ≥ 200	
Cuenca	D2	975													h < 800	h < 1050		h ≥ 1050
Gerona/Girona	D2	143										h < 100			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800			h < 1300			h ≥ 1300
Guadalajara	D3	708													h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350				h < 800			h < 800			
Huesca	D2	432										h < 200			h < 400	h < 700		h ≥ 700
Jaén	C4	436					h < 350				h < 750				h < 1250			h ≥ 1250
León	E1	346																h < 1250
Lérida/Leida	D3	131										h < 100			h < 600			h ≥ 600
Logroño	D2	379											h < 200			h < 700		h ≥ 700
Lugo	D1	412														h < 500		h ≥ 500
Madrid	D3	589										h < 500			h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Málaga	A3	0					h < 300					h < 700			h ≥ 700			
Melilla	A3	130																
Murcia	B3	25					h < 100					h < 550			h ≥ 550			
Orense/Ourense	D2	327										h < 150	h < 300		h < 800			h ≥ 800
Oviedo	D1	214												h < 50			h < 550	h ≥ 550
Palencia	D1	722															h < 800	h ≥ 800
Palma de Mallorca	B3	1					h < 250				h ≥ 250							
Pamplona/Iruña	D1	456										h < 100			h < 300	h < 600		h ≥ 600
Pontevedra	C1	77											h < 350			h ≥ 350		
Salamanca	D2	770													h < 800			h ≥ 800
San Sebastián/Donostia	D1	5													h < 400			h ≥ 400
Santander	C1	1											h < 150			h < 650		h ≥ 650
Segovia	D2	1013													h < 1000			h ≥ 1000
Sevilla	B4	9					h < 200				h ≥ 200					h < 750	h < 800	h ≥ 800
Soria	E1	984																
Tarragona	B3	1					h < 50					h < 500			h ≥ 500			
Teruel	D2	995										h < 450	h < 500		h < 1000			h ≥ 1000
Toledo	C4	445									h < 500				h ≥ 500			
Valencia/València	B3	8					h < 50				h < 500				h < 950			h ≥ 950
Valladolid	D2	704													h < 800			h ≥ 800
Vitoria/Gasteiz	D1	512														h < 500		h ≥ 500
Zamora	D2	617													h < 800			h ≥ 800
Zaragoza	D3	207										h < 200			h < 650			h ≥ 650

Tabla 2. Zonas climáticas según CTE

Se puede decir que su principal característica climática es la gran diferencia térmica entre el día y la noche, así como situaciones extremas que se dan a lo largo del año, con temperaturas bajas en invierno y altas en verano. Las temperaturas son más altas en promedio en julio, alrededor de 21.5 ° C. enero tiene la temperatura promedio más baja del año. Es 4.0 ° C.

Destaca también la escasez de lluvias, que suelen presentarse en primavera y otoño. La menor cantidad de lluvia ocurre en agosto. El promedio de este mes es 14 mm. Con un promedio de 49 mm, la mayor precipitación cae en noviembre.

El sol juega un papel clave como factor extremo. Por un lado, es necesario para iluminar y calentar el edificio, pero estas temperaturas pueden volverse extremas en verano debido a las altas emisiones solares.

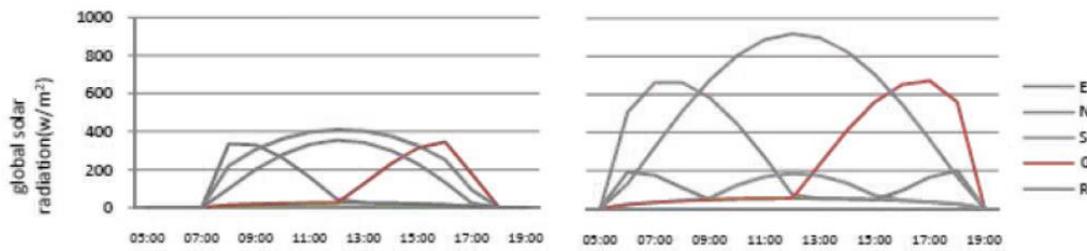


Figura 34. Radiación solar invierno

Figura 35. Radiación solar verano

Debido a esto, se ha de tener en cuenta la intensidad y duración de la radiación respecto a la orientación de las fachadas. Las figuras describen las diferentes radiaciones solares en las fachas con orientación Norte, Este, Sur, Oeste y una cubierta, en las fechas de enero y julio. Se ha destacado la radiación correspondiente a una fachada Oeste por ser el caso que nos ocupa en cuanto a la disposición del muro vivo. Como se puede apreciar, la radiación solar sobre las fachadas tanto este como oeste es muy variable entre verano e invierno, siendo mucho mayor en verano.

### 3.2. APLICACIÓN DE LOS DISTINTOS SISTEMAS

A continuación, se valoran una serie de espacios exteriores de la Escuela, y sus distintas problemáticas. Se pretende dar una respuesta a estas cuestiones a través del uso de vegetación vertical, basándonos en la clasificación propuesta anteriormente. Se ha decidido adoptar tres soluciones específicas que corresponden a las tres grandes tipologías expuestas.

#### 3.2.1. FACHADA VERDE

*Caso1:*

Cubrición del peto de hormigón visto mediante fachada verde tradicional.

##### 3.2.1.1. CONDICIONES PREVIAS

*Localización:*

Módulo en planta baja en el exterior del salón de actos situado en sótano. Zona del patio exterior Oeste, patio lateral, detrás de la casa Urcomante. El muro tiene unas dimensiones de 18 metros de largo y una altura de 2.3m. Supone un área de 42m<sup>2</sup>.

*Situación actual:*

Estado deteriorado de la fachada. Se aprecian grandes manchas, seguramente debidas de la humedad.

Se aprecia también una discordancia del material (hormigón visto) frente al resto de la zona y perímetro de la Escuela, si bien es cierto que existe una continuidad en los zócalos, este

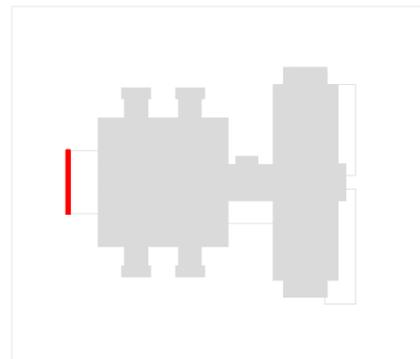


Figura 36. Esquema de situación

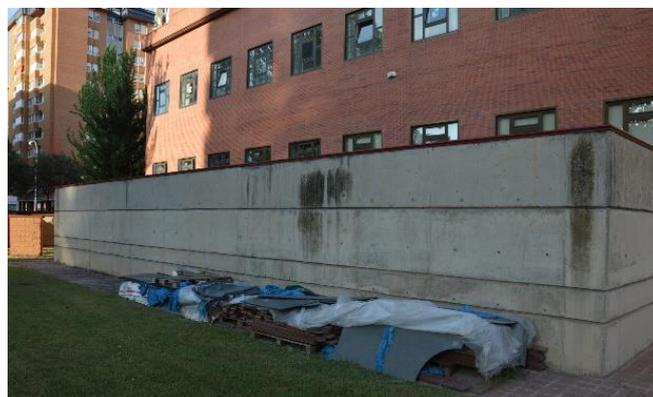


Figura 37. Localización. Elaboración propia

es el único punto donde aparece con tanta rotundidad. En general el material está deteriorado en muchos de los puntos de este perímetro. Esta zona carece de interés: en la actualidad está siendo utilizado para el almacenaje de material.

*Justificación:*

Esta propuesta nace a partir del análisis de la situación actual. Las baldosas que configuran la acera están comenzando a ser tomadas por la propia vegetación. No en vano, muy cerca al muro propuesto la vegetación ya comienza a abrirse paso, por lo que esta intervención solo acelera lo que parece ser el proceso natural a seguir. Con esta intervención se propone dotar al muro de cierto interés, aportando así valor a todo el conjunto, de modo que invite al acercamiento y uso del patio de la Escuela.



*Figura 38. Presencia de vegetación.*

*Elaboración propia*

*Tipo de envolvente:*

Fachada opaca. Estos cerramientos basan su funcionamiento en dos estrategias principales: aislamiento térmico y masa térmica, con distintos comportamientos ante los factores climatológicos.

Las fachadas que utilizan el aislamiento térmico suelen ser en general fachadas ligeras, de poco espesor, pero formadas por varias capas con una serie de materiales de conductividad baja. Estos cerramientos basan su eficiencia en evitar las infiltraciones y puentes térmicos a través del mismo, y en el buen funcionamiento del material encargado del aislamiento.

Los sistemas fundamentados en la masa térmica se basan en el aprovechamiento de la inercia térmica del cerramiento para lograr un mayor aislamiento térmico. Es por ello que se trata de envolventes pesadas, de un alto espesor y altas conductividades, que buscan repeler o absorber la mayor cantidad de calor posible para desprenderlo a posteriori paulatinamente.

En este caso, nos encontramos frente a un paramento desnudo que apuesta por el propio espesor del muro para aislarse térmicamente del exterior. En este caso hay que tener en cuenta que el paramento corresponde al de un espacio en planta sótano, por lo que parte de su cerramiento disfruta de las condiciones de un espacio semienterrado: constancia térmica. En las construcciones enterradas, el clima se sitúa muy cerca del confort térmico:

cálido en invierno y fresco en verano. La temperatura interior se mantiene constante entre los 18 y los 23°C. La humedad relativa del aire interior se encuentra en torno al 50%, mucho más beneficioso para la salud que los espacios que consiguen estas temperaturas con calefacción o aire acondicionado.

### 3.2.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA INTERVENCIÓN

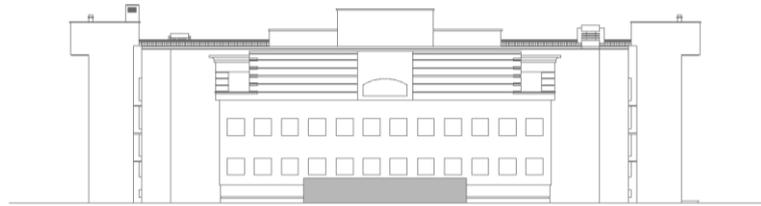


Figura 39. Fachada Oeste. Elaboración propia basada en planimetría aportada.

#### *Ejecución:*

Ejecución sencilla. Se procedería a eliminar la solera y baldosas que funcionan como perímetro de acera, según el detalle constructivo, de modo que pudieran plantarse especies vegetales inmediatamente antes del inicio del muro. Este paso sería el que presentase el mayor coste. Convendría colocar una lámina impermeable para proteger el muro de hormigón del sótano, pues al eliminar la soleta éste quedaría desprotegido.

#### *Especies vegetales:*

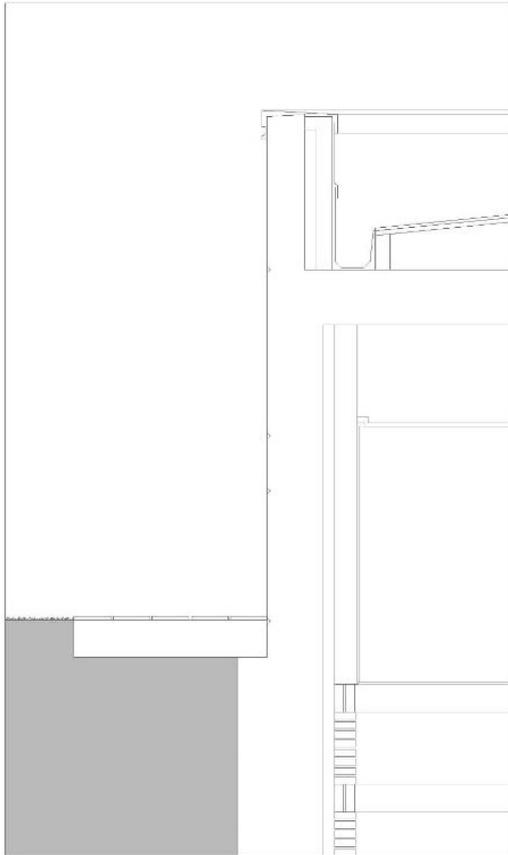
Como hemos visto durante el desarrollo de los diferentes sistemas, esta tipología no ofrece una gran posibilidad de especies para su implantación, por lo que la decisión se reduce al grupo de las especies trepadoras. Para este caso se ha escogido una hiedra por ser la especie con mejores condiciones de adaptación y crecimiento.

	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	ALTURA	ANCHURA	OBSERVACIONES
	Hedera helix	Hiedra común	Hasta los 20m	Variable	Hoja perenne. Puede ser venenosa
	USO EN FACHADA	FORMA	RESISTENCIA	PORTE	INTERÉS
	Trepadora	Hojas grandes: 5-10 cm	Tolera heladas, no tanto el sol.	Trepadora	Gran capacidad de adaptación.

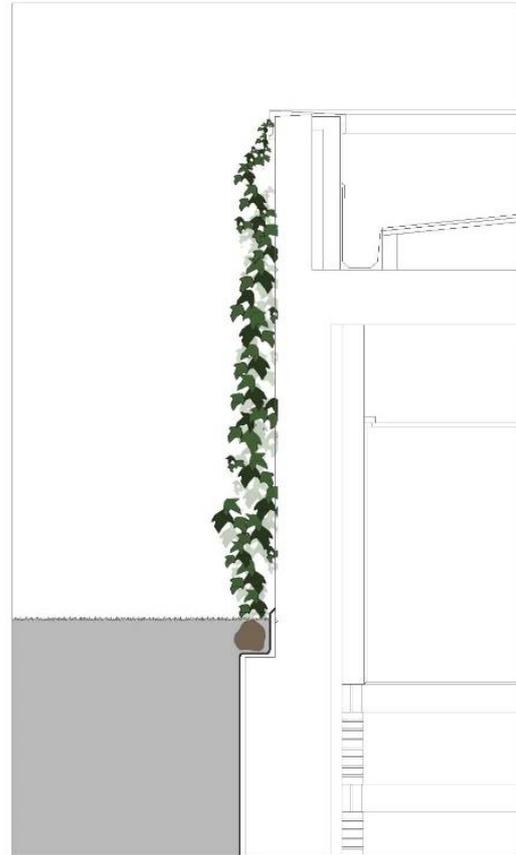
Tabla 3. Especies vegetales Fachada Verde

Fuente: Elaboración propia

Como se indica en la tabla, esta especie funciona muy bien frente a bajas temperaturas e incluso bajo heladas, por lo que se desarrolla mejor a la sombra, aunque también necesita unas horas de radiación directa. Por ello el lugar elegido es viable, aunque esté situado al oeste, ya que el edificio situado enfrente proyecta sombra sobre esta zona por la tarde.



*Figura 41. Sección situación actual*  
*Elaboración propia*



*Figura 41. Sección intervención*  
*Elaboración propia*

Durante los meses de más calor se ha de mantener el ambiente húmedo, para evitar que la vegetación llegue a secarse.

***Mantenimiento:***

Bajo mantenimiento. Ya que, como hemos explicado anteriormente, en este tipo de sistemas la planta toma los nutrientes directamente del suelo. En principio no sería necesario plantear un sistema de riego automático más allá de los existentes. El único mantenimiento destacable sería el de la poda regular de las hojas que crecen frente a las

ventanas, pero en este caso se trata de un muro continuo por lo que no habría que tener en cuenta estas podas.

*Plazos:*

Como ya se ha explicado durante la clasificación de los sistemas, esta tipología requiere de un amplio periodo de tiempo para desarrollarse completamente. Habría que esperar varios años para ver el resultado completo. A partir de los dos años ya se apreciarían resultados destacables.

*Desarrollo:*

De tener un resultado satisfactorio, esta misma solución podría aplicarse a todos los zócalos del edificio, pues se trata de una intervención sencilla y de bajo coste. Sería interesante combinar este sistema junto con el sistema denominado Fachadas Verdes con medios auxiliares. De este modo podrían apreciarse y valorarse las diferencias de crecimiento de las plantas con estos sistemas.

### 3.2.2. SISTEMA INTERMEDIO

*Caso:* Matización del soleamiento a través de un Sistema Intermedio de macetas y enrejados modulares.

#### 3.2.2.1. CONDICIONES PREVIAS

*Localización:*

Fachada principal Este. Ventanas de despachos, departamentos y salas de reuniones en planta baja, primera, segunda y tercera.

*Situación actual:*

Los grandes ventanales con los que cuenta esta fachada sufren de un exceso de soleamiento. La fachada está modulada horizontalmente siguiendo la línea de forjados: va aumentando su sección a medida que aumenta la altura. Este detalle impide una solución continua. Este tipo de fachada y acristalamiento también se encuentra en la fachada posterior oeste, aunque por el tipo de orientación, así como por la disposición de la ampliación del edificio, no precisa de este sistema.

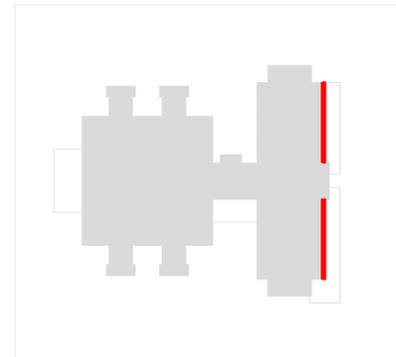


Figura 42. Esquema de situación



Figura 43. Fachada Este. Elaboración propia

*Justificación:*

Las carpinterías actuales son las originales del proyecto. Es decir, cuentan con más de 30 años de uso. Su sustitución supondría una enorme inversión, ya que suman nada menos que 88 elementos solo en esta fachada. Y aunque, si bien es cierto que no pueden competir en prestaciones con las que existen actualmente en el mercado, no se encuentran

especialmente deterioradas. Por ello se plantea una alternativa que solucione los problemas de soleamiento, sin necesidad del cambio o modificación de las carpinterías existentes.

*Tipo de envolvente:*

Fachada acristalada. Los cerramientos con zonas acristaladas se han caracterizado a lo largo de la historia por ser los puntos más débiles en cuanto a aislamiento térmico del edificio. Las pérdidas de calor ya sean por transmisiones o filtraciones, suponen una cuantía a considerar. Es por ello que deben tenerse en cuenta todos aquellos componentes del acristalamiento para entender su comportamiento ante las diferentes estaciones, las pérdidas y ganancias de calor etc.

A la hora de analizar el funcionamiento eficiente de una fachada de tipo acristalada hay que tener en cuenta dos puntos fundamentales:

a) *Limitación de la demanda energética*<sup>7</sup>. Se persigue aprovechar las ganancias térmicas y reducir la demanda de calefacción y refrigeración.

b) *Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación*<sup>8</sup>. El hecho de disponer de grandes ventanales puede ser contraproducente en ciertos casos, ya que estos espacios precisan de una protección frente al soleamiento que reduce notablemente la iluminación natural, con lo que puede ser necesario disponer de la alternativa de iluminación artificial durante largos periodos de tiempo.

A parte de estos dos puntos del CTE, se debe estudiar la tipología de los huecos, vidrios y carpinterías y protecciones para entender su comportamiento y con ello la magnitud de la problemática:

*Huecos:* Solo en esta fachada el número de aberturas asciende a 88 huecos, sin tener en cuenta el módulo central de pasillo y ascensores que cuenta con un acristalamiento continuo. Estos ocupan cerca de 285m<sup>2</sup>, suponiendo el 44% del area total del paramento, lo que muestra el peso que tiene en el comportamiento de la fachada. Esto es debido a las grandes dimensiones de cada hueco. Sus dimensiones son de 2.50 m de alto y 1.80 m de ancho, medidas que parecen

---

<sup>7</sup> DB HE1. *Limitación de la demanda energética*

<sup>8</sup> DB HE3. *Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación*

desmesuradas. Las aperturas, en el interior, arrancan cerca del suelo y mueren en el techo.

Por otra parte, cabe analizar su orientación. A menudo se destacan las orientaciones para huecos en fachadas este-oeste como las más beneficiosas debido a que con ellas se consigue una mayor captación solar. Sin embargo, debido al clima y a la latitud en la que nos encontramos, parece necesario mencionar los problemas que pueden derivar de esta orientación: problemas de deslumbramiento, discomfort visual y sobrecalentamiento.<sup>9</sup> Este es el caso del objeto de estudio, debido a la sobredimensión de los acristalamientos, lejos de buscar la mayor captación de luz, se trata de evitar el sobrecalentamiento de los interiores, producidos por la excesiva radiación.

*Vidrios y carpinterías:* Según la documentación encontrada, los vidrios corresponden a una clasificación Climalit 6/6/6 con una luna exterior de parsol bronce templada de 6mm y la interior de planilux 6mm. La característica principal de estas carpinterías, además de su tamaño, es su forma de apertura. La carpintería cuenta con dos hojas: un módulo fijo situado en la parte inferior, y una hoja pivotante, que gira alrededor de un eje horizontal.

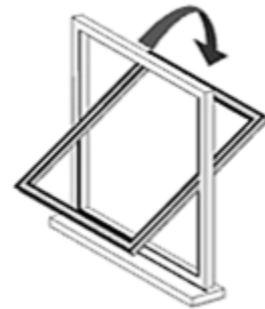


Figura 44. Detalle apertura de las carpinterías

*Protecciones de los huecos:* Como complemento a lo citado anteriormente, en ciertos casos es necesario incorporar elementos de protección para atenuar la radiación sobre la fachada. En este caso, es del todo necesario, y solo es preciso echar un vistazo a la fachada para comprobar que en prácticamente la totalidad de los espacios se hace uso de elementos como cortinas, con este fin, aunque su uso sea del todo incómodo debido a la forma de la carpintería.

---

<sup>9</sup> GRANADOS MENÉNDEZ, Helena. *Principios y estrategias del diseño bioclimático en la arquitectura y el urbanismo*. Consejo Superior de Arquitectos de España. 2006.

### 3.2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA INTERVENCIÓN:

Debido al detalle de la sección de la fachada, y al sistema de apertura de los grandes ventanales que la forman, se ha optado por diseñar un sistema concreto que se adapte a estas condiciones.

El resultado es un sistema modular de jardinera basado en el modelo "Omni Facade" desarrollado por la empresa Omni Ecosystems.

La diferencia radica en la dirección en la que crecen las plantas. La jardinera se coloca bajo cada carpintería móvil, y que cuenta, por un lado, con especies vegetales colgantes, así como un sistema de enrejado que permite el crecimiento de la enredadera hacia el paramento inferior. Es decir, cada módulo da servicio al piso inferior.

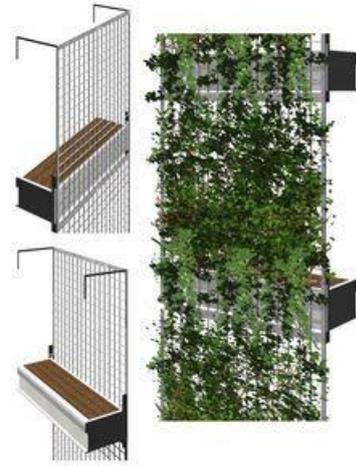


Figura 45. Sistema de jardinera

Fuente: Omni EcoSystems

#### *Ejecución:*

En este caso no se trata de una ejecución sencilla, puesto que se precisa perforar la fachada para llegar al forjado y anclar la nueva estructura. Se plantea una subestructura sobre la que se apoya la jardinera a modo de ménsula, y sobre la que irá colgada la malla que permite y guía el crecimiento de las especies.

#### *Mantenimiento:*

De cara a proporcionar la solución más económica posible, se propone realizar el mantenimiento de las jardineras de cada módulo desde el interior del edificio, a través de las carpinterías, ya que la apertura inferior de la hoja vuelca precisamente sobre las jardineras. Esto implica que en principio no sería necesario planificar ningún sistema de riego por goteo, aunque sería posible añadirlo a posteriori.

#### *Especies vegetales:*

La elección de la especie de planta trepadora varía en función del clima donde se ubique el edificio y de la orientación del paramento a cubrir. En este caso concreto las especies van a

tener que lidiar con fuertes soleamientos, así como con las bajas temperaturas que existen en Valladolid durante los inviernos.

	<b>NOMBRE CIENTÍFICO</b>	<b>N. COMÚN</b>	<b>CRECIMIENTO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
	Bougainvillea spp	Buganvilla	Rápido	Color impactante
	<b>USO EN FACHADA</b>	<b>TIPO DE HOJA</b>	<b>RESISTENCIA</b>	<b>INTERÉS</b>
	Trepadora, floral	Caducifolia	Sensible a las heladas, soporta muy bien el sol	Se adapta a la estructura de crecimiento.
	<b>NOMBRE CIENTÍFICO</b>	<b>N. COMÚN</b>	<b>CRECIMIENTO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
	Trachelospermum jasminoides	Jazmín chino	Moderado	Deja de crecer cuando no tiene por dónde trepar
	<b>USO EN FACHADA</b>	<b>TIPO DE HOJA</b>	<b>RESISTENCIA</b>	<b>INTERÉS</b>
	Trepadora, floral	Perenne	Resiste heladas	Flores blancas con agradable olor
	<b>NOMBRE CIENTÍFICO</b>	<b>N. COMÚN</b>	<b>CRECIMIENTO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
	Wisteria sinensis	Glicinia	Vigoroso y rápido	Exige una estructura y una maceta resistente
	<b>USO EN FACHADA</b>	<b>TIPO DE HOJA</b>	<b>RESISTENCIA</b>	<b>INTERÉS</b>
	Trepadora, floral	Caducifolia	Resiste heladas	Gran belleza

Figura 46. Especies Vegetales Sistema Intermedio. Elaboración propia

Por otro lado, se debe tener en consideración el espacio que van a ocupar, ya que al plantarse en macetas y no en el propio suelo, tienen una capacidad de crecimiento limitada. También se ha tenido en cuenta el número de podas que requiere cada especie, pues se busca limitar el mantenimiento lo máximo posible.

El resultado es un conjunto colorido de plantas que protegen protegen los huecos del sol de verano, y permiten la entrada de luz en invierno. Se sujetan sobre una estructura de cables de acero inoxidable y que desde luego darán una nueva imagen a la fachada.



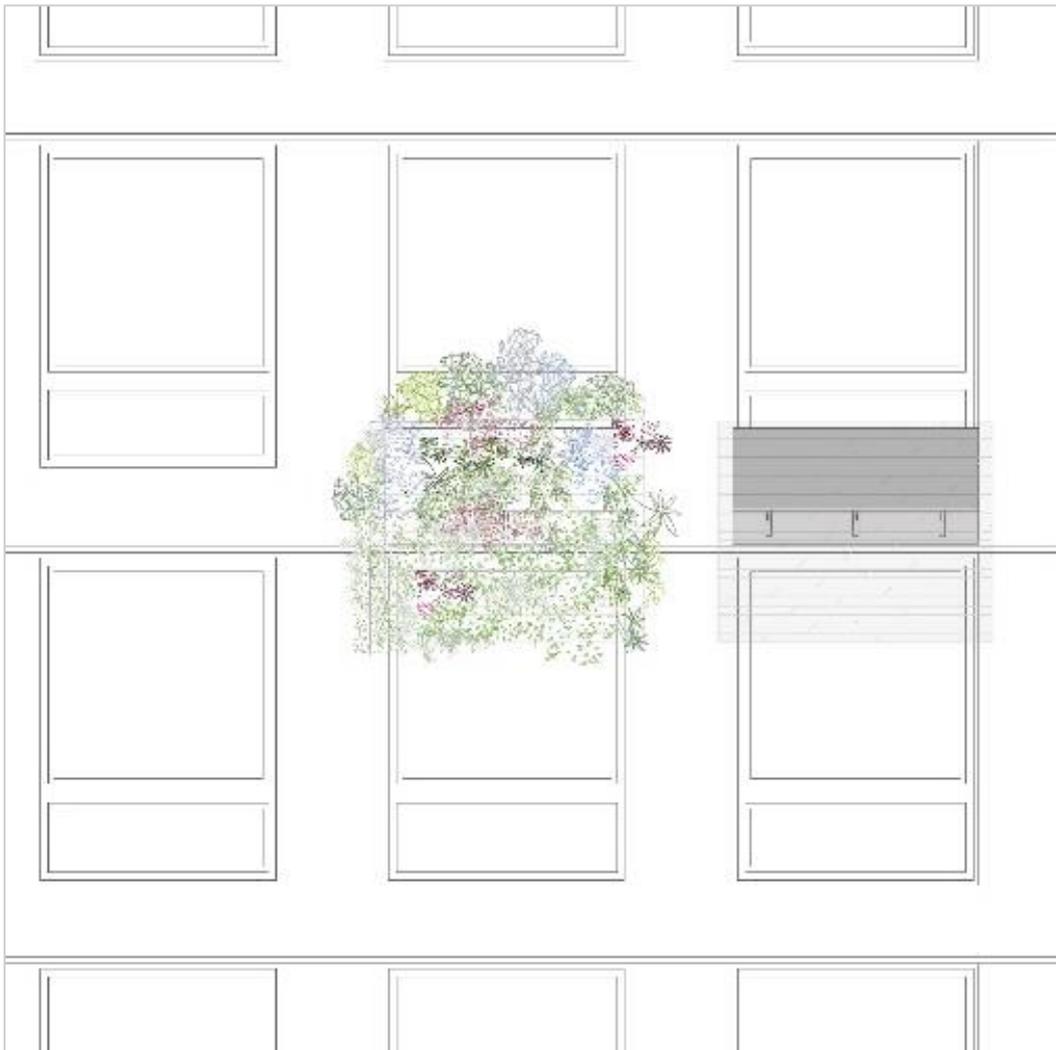
Figura 47. Posibles puntos de intervención. Elaboración propia

#### Desarrollo:

Debido a la envergadura de la fachada completa (dos zonas de suman casi 500m<sup>2</sup>), y ya que

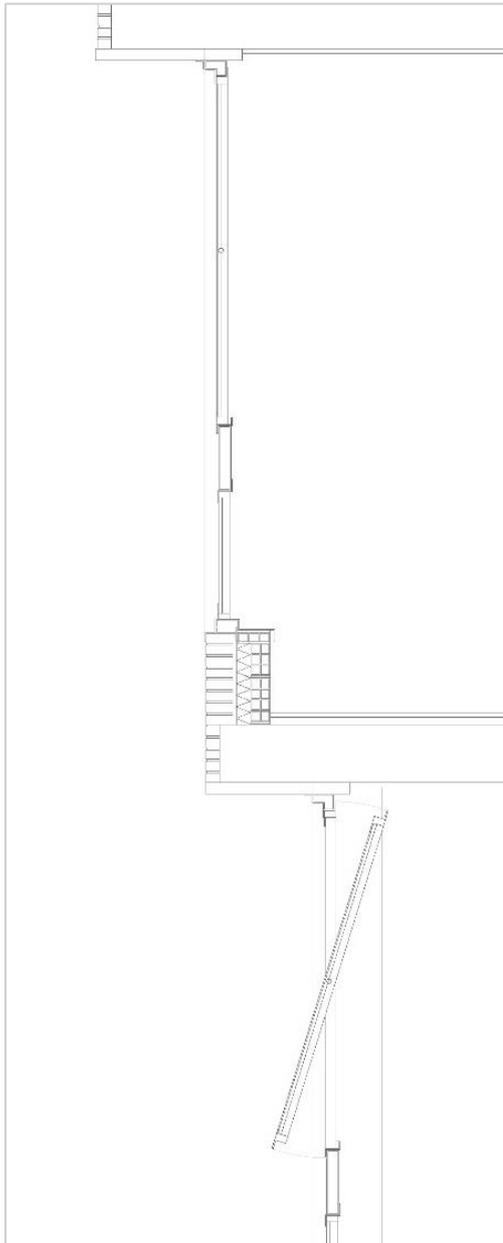
se trata de un sistema modular, sería posible realizar la intervención en varias fases o de manera puntual, ya que los módulos son independientes unos de otros.

Si el resultado es satisfactorio podría aplicarse también a la fachada posterior por tener las mismas carpinterías. Sin embargo, no tiene el mismo detalle de crecimiento de la fachada, tan solo un recuerdo del mismo. Además, como se ha dicho anteriormente, no sufre los problemas de soleamiento de esta fachada.

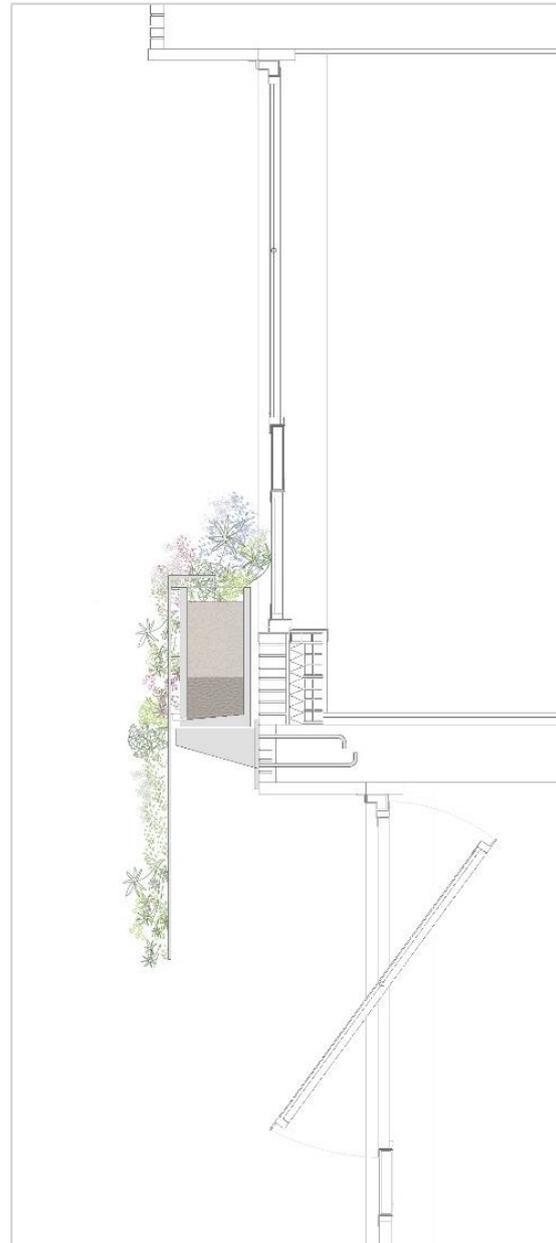


*Figura 48. Alzado con intervención dos carpinterías, con y sin especies vegetales*

*Elaboración propia*



*Figura 50. Sección Situación actual*  
*Elaboración propia*



*Figura 49. Sección Intervención*  
*Elaboración propia*

### 3.2.3. MURO VIVO

*Caso2:* Cubrición de fachada mediante muro vivo hidropónico, siguiendo el ejemplo de filtros geotextiles.

#### 3.2.3.1. CONDICIONES PREVIAS

*Localización:*

Fachada oeste del módulo de baños de la zona sur. Parte de la fachada que se encuentra ligeramente retranqueada, por lo que está protegida por el núcleo central del edificio y el saliente del módulo.

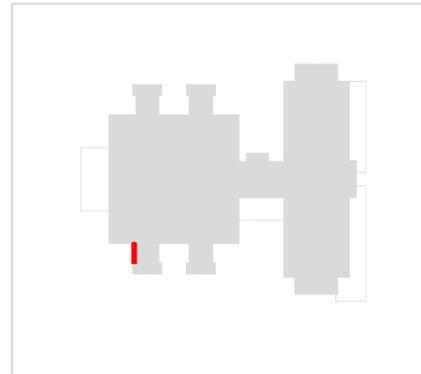


Figura 51. Esquema de situación

*Situación actual:*

Se trata de un muro llano, sin otra variación que la de un pequeño zócalo en su arranque y una rejilla de ventilación en planta baja. Tiene unas dimensiones de 5,5 metros en planta, y una altura de algo más de 17m, lo que supone un área de 94m<sup>2</sup>. La fachada corresponde a la localización de aseos, desde el sótano hasta la planta tercera.

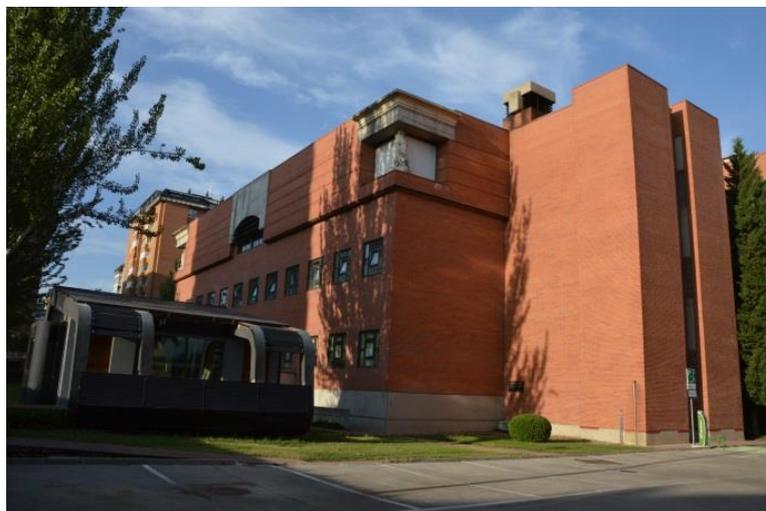


Figura 52. Localización. Elaboración propia

*Justificación:*

Este paramento tiene una orientación Oeste, por lo que percibe una gran radiación. Toda la fachada comprende esta misma orientación, sin embargo el módulo central se encuentra más protegido de este soleamiento, gracias al arbolado que existe en el perímetro de la

escuela, y por las construcciones situadas al otro lado de la calle. No es el caso del paramento que se plantea.

Por otra parte, este módulo supone la primera impresión si se visita la escuela por la puerta de Pío del Río Horta, que constituye el único acceso rodado al recinto.

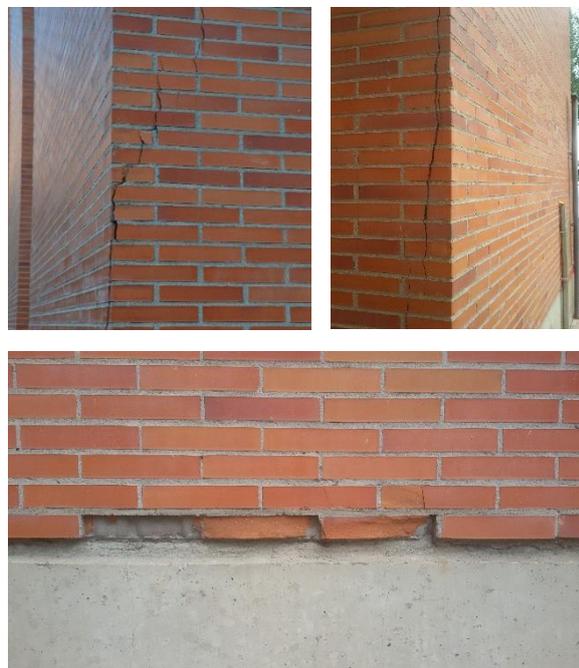
*Tipo de envolvente:*

Se trata, como en el primer caso, de una fachada completamente opaca, con la excepción de la rejilla de ventilación que ya se ha comentado.

Estos tipos de cerramientos basan su funcionamiento en dos estrategias principales: aislamiento térmico y masa térmica, con distintos comportamientos ante los factores climatológicos.

Las fachadas que utilizan el aislamiento térmico suelen ser en general fachadas ligeras, de poco espesor, pero formadas por varias capas con una serie de materiales de conductividad baja. Estos cerramientos basan su eficiencia en evitar las infiltraciones y puentes térmicos a través del mismo, y en el buen funcionamiento del material encargado del aislamiento.

Los sistemas fundamentados en la masa térmica se basan en el aprovechamiento de la inercia térmica del cerramiento para lograr un mayor aislamiento térmico. Es por ello que se trata de envolventes pesadas, de un alto espesor y altas conductividades, que buscan repeler o absorber la mayor cantidad de calor posible para desprenderlo después paulatinamente. En este caso, se trata de un muro de mampostería de ladrillo, desnudo de cualquier ornamento, pues éste se encuentra en el módulo vecino, el central. Las fachadas presentan alguna fisura, que sería cubierta con el muro vivo.



*Figura 53. Detalle fisuras en la zona  
Elaboración propia*

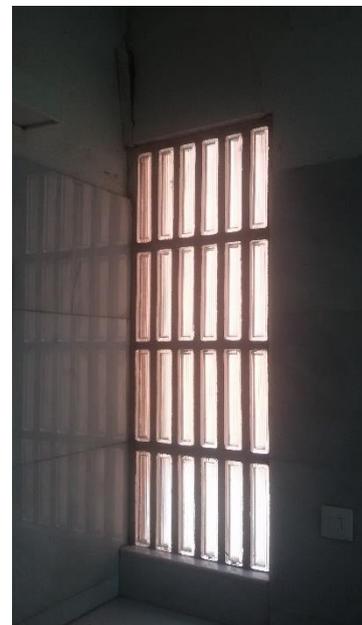
La cara de este muro se encuentra protegida a un lado por el núcleo central del edificio, y al otro por el saliente del módulo de aseos, que cuenta con huecos que permiten el paso de luz, para iluminar de forma indirecta el interior, aunque se trata de bloques de pavés estrechos, por lo que no permiten mucho flujo de luz. Según el proyecto original estos están formados por:

*Ventanal en vidrio moldeado tipo catolux de 300/60/40 mm. Nervios en hormigón armado de 1.5 cm de ancho, formación del bastidos en perfil de U de 60/30 mm anclado al muro mediante patillas de anclaje, rejilla superior e inferior para ventilación natural.*

Sin embargo, la realidad es que ninguna de las ventanas que existen en el interior del espacio cuentan con las rejillas de ventilación comentadas. Por el contrario, encontramos rejillas de ventilación asistida en el falso techo, en bastante mal estado:



*Figura 55. Rejilla de ventilación en techo de los aseos  
Elaboración propia*



*Figura 54. Ventanas actuales, fijas y sin rejillas de ventilación*

Para tratar esta problemática a través de la incorporación de un muro vivo, se ha tenido en cuenta el sistema de aire acondicionado vegetal, desarrollado por la empresa SingularGreen.

El sistema tiene un funcionamiento similar al original, donde el jardín vertical hace las veces de Split. La evapotranspiración de las plantas es la base del funcionamiento de este sistema, por lo que el aire acondicionado vegetal no solo regula temperatura, sino también

la humedad, mejorando por tanto las prestaciones de un aparato de aire acondicionado convencional, que solo regula la temperatura.

La instalación de este sistema está indicada para jardines verticales de interior, sin embargo, dado que la intervención se realiza en el exterior, se tratará de adaptar para estas necesidades.

El funcionamiento del sistema es sencillo: el aire caliente se capta del espacio a través de las conducciones de aire mediante un ventilador, y se conduce hasta la cámara de aire del jardín vertical. El aire pasa a través del panel perforado, del fieltro húmedo donde se absorben los contaminantes y finalmente pasa por la vegetación, donde se produce la evapotranspiración. De esta manera se crea una sensación de aire fresco de manera natural gracias al jardín.

### 3.2.3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA INTERVENCIÓN:

#### *Ejecución:*

En este caso se requiere de una instalación compleja, tanto por el sistema escogido, como por las dimensiones del muro a cubrir. Se ha optado por instalar un muro hidropónico siguiendo el sistema de Patrick Blanc: mediante fieltros geotextiles, ya que es el sistema más extendido actualmente.

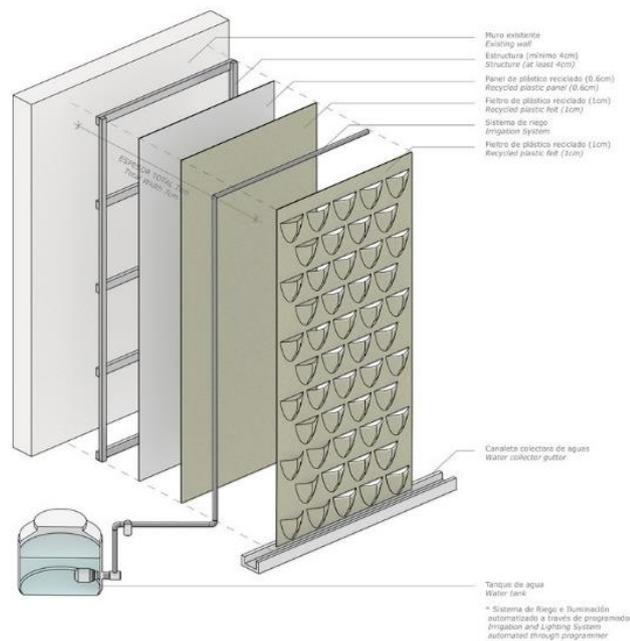


Figura 56. Configuración sistema fieltros geotextiles

En cuanto a la adaptación del aire acondicionado vegetal, se deben hacer ciertas modificaciones.

Para llevar a cabo esta instalación, se debe perforar la fachada, y prescindir del aislamiento en algún punto, con el fin de permitir el paso del aire. De la misma manera, el muro vivo también deberá plantearse con alguna perforación en las zonas donde se va a conectar con el interior.

En el interior es preciso instalar un sistema manual que permitiera la apertura o el cierre del conducto, de cara a los meses hibernales, donde este sistema podría producir pérdidas de temperatura.

Sería interesante completar el sistema con otra rejilla de ventilación en el lado opuesto del espacio, de cara a activar el movimiento y renovación del aire. Para conseguir mejores resultados podría incorporarse un sistema de ventilación automático que activase el movimiento del aire, es decir, que incentivase la entrada del aire desde el exterior.

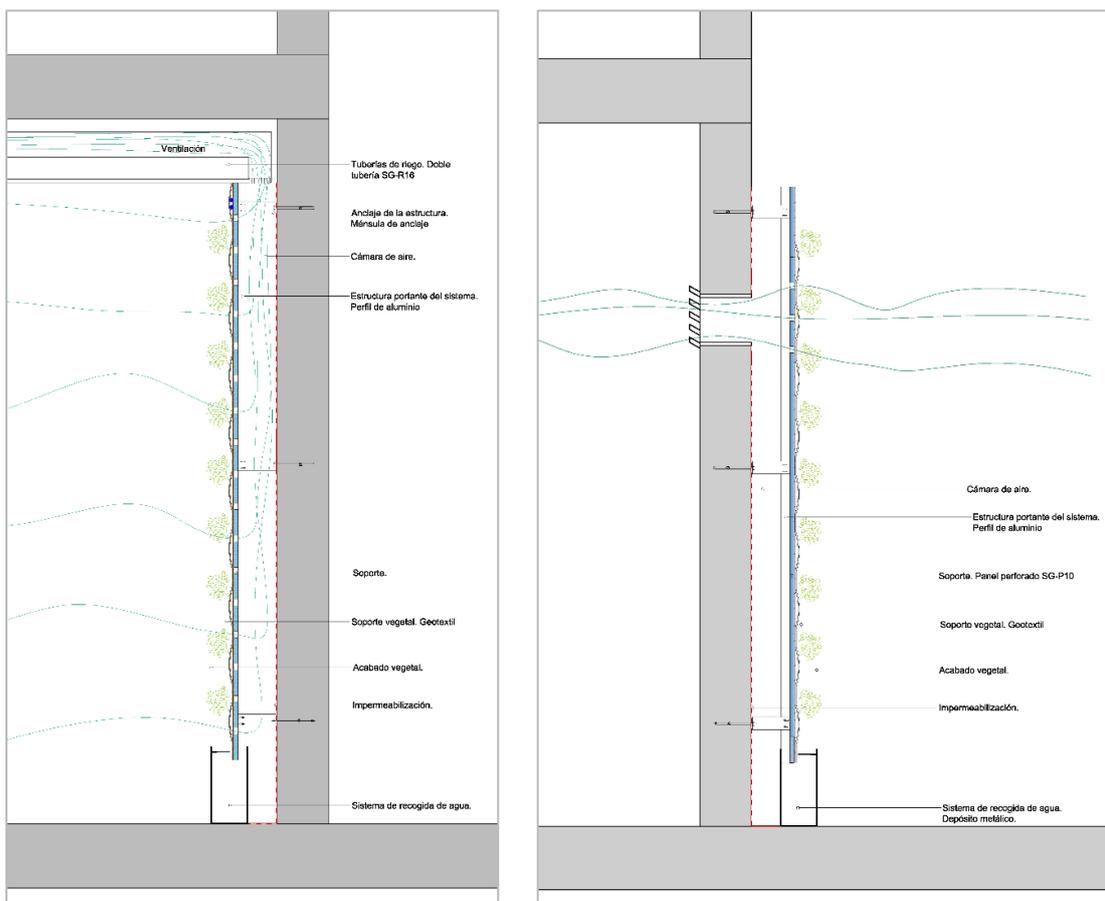
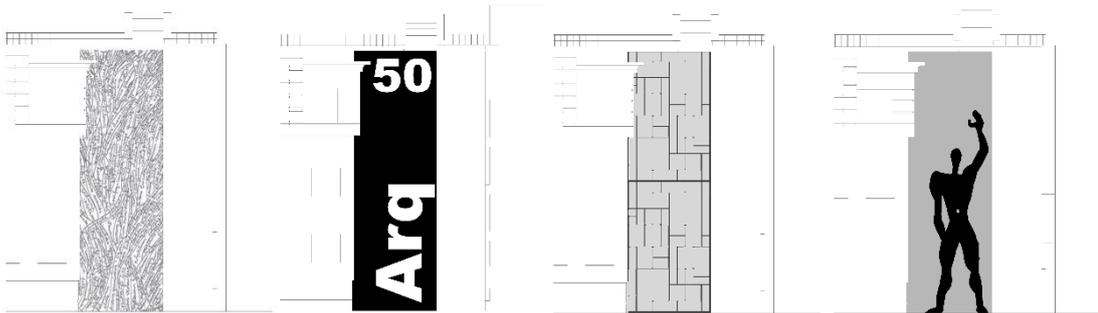


Figura 57. Sistema comercializado y adaptación del mismo.

Elaboración propia con base de la empresa SingularGreen

*Diseño:*

Una de las grandes ventajas de los muros vivos es la libertad de diseño de los acabados. Jugando con los colores y formas de las plantas escogidas, se puede tomar el muro como si de un lienzo se tratase, y conformar los diseños más originales. Dado que el muro vivo pasaría a conformar un elemento icónico para el edificio, quizá podría plantearse un concurso de ideas, al igual que el logo de la Escuela.



*Figura 58. Libertad de diseño. Elaboración propia*

*Especies vegetales:*

A continuación, se presenta una selección de aquellas especies que se adaptan a esta solución de sistema vegetal vertical. Por supuesto existen muchas otras especies, lo ideal es elegir una variedad de especies, no solo para conseguir un acabado más interesante, si no para generar un ecosistema rico, haciendo que las diferentes especies se complementen. Se ha tratado de escoger parte de las especies de carácter autóctono, para asegurar así que tendrán un buen comportamiento en la intervención.

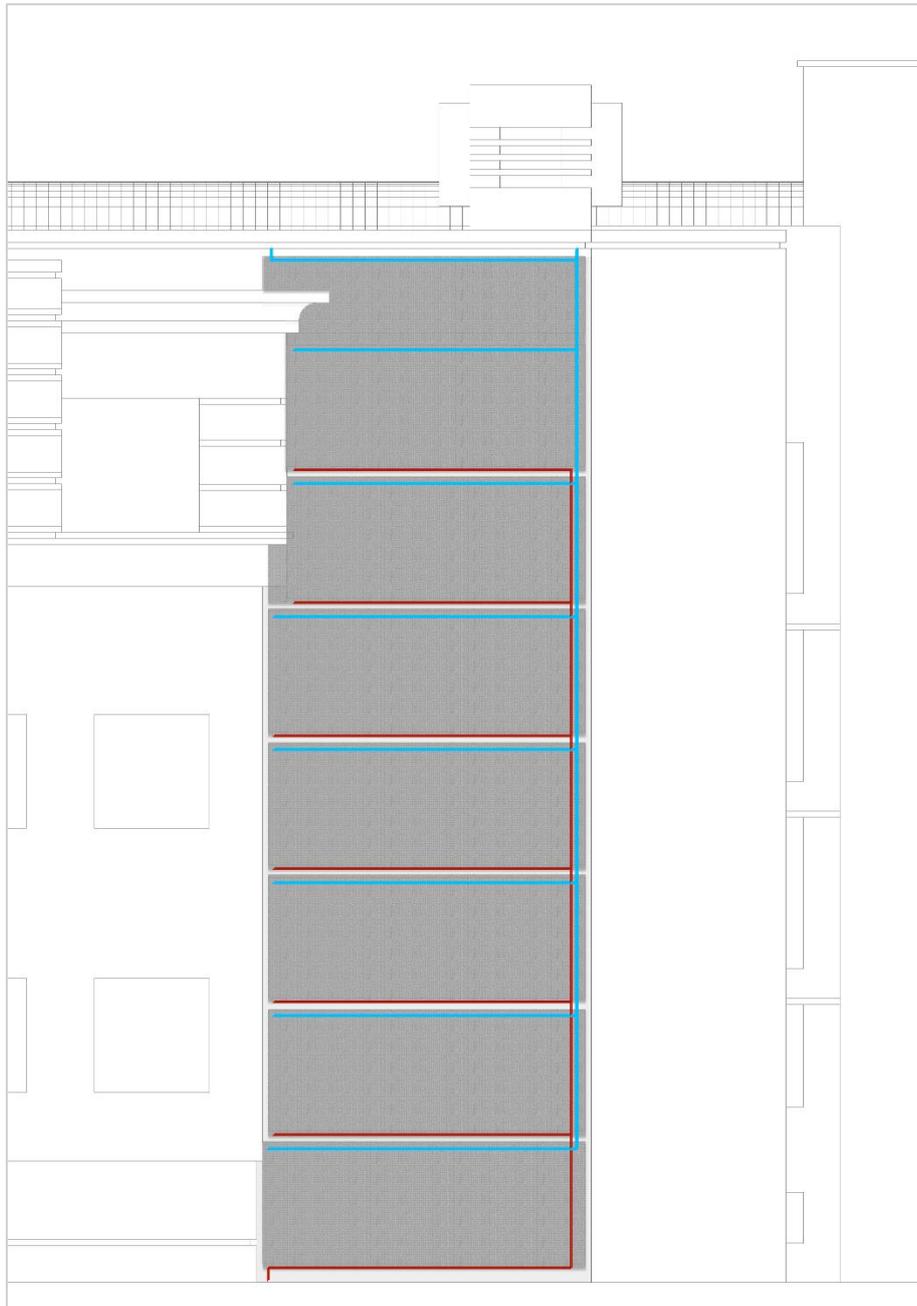
ACONDICIONAMIENTO BIOCLIMÁTICO. JARDINES VERTICALES.  
 APLICACIONES Y CASO PRÁCTICO EN LA ESCUELA DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID

	NOMBRE CIENTÍFICO Centaurea ragusina	NOMBRE COMÚN Jácea de ragusa	ALTURA 30-60 cm	ANCHURA 40-60 cm	OBSERVACIONES Sensible a los suelos húmedos y compactos. Tolera las situaciones soleadas y la sequía.
	USO EN FACHADA Follaje	FORMA Tallos cortos, ramificados, vegetación densa	RESISTENCIA Alta a la sequía	PORTE Subarbustivo	INTERÉS Hojas color azulado plateado.
	NOMBRE CIENTÍFICO Festuca arundinacea	NOMBRE COMÚN Festuca Alta	ALTURA 10-80 cm	ANCHURA 20-80 cm	OBSERVACIONES Moderadamente tolerante a la sequía. Admite la siega continuada y el uso intensivo. Prefiere situaciones soleadas
	USO EN FACHADA Herbáceo, tapiz	FORMA Rizoma corto, matas densamente cespitosas	RESISTENCIA Tolerante a la sequía	PORTE Herbáceo	INTERÉS Gramínea adecuada para la formación de césped con bajo mantenimiento
	NOMBRE CIENTÍFICO Echeveria sp.	NOMBRE COMÚN Echeveri	ALTURA 5-40 cm	ANCHURA 15-40 cm	OBSERVACIONES Género con gran diversidad de tamaños y coloraciones. Prefiere situaciones soleadas en suelos secos.
	USO EN FACHADA Floración, Herbáceo	FORMA Suculentas con las hojas dispuestas en roseta	RESISTENCIA Alta a la sequía	PORTE Herbáceo	INTERÉS Gran belleza
	NOMBRE CIENTÍFICO Linum narbonense	NOMBRE COMÚN Lino Azul	ALTURA 20-50 cm	ANCHURA 30-60 cm	OBSERVACIONES Prefiere situaciones soleadas en suelos algo frescos, tolera el frío aunque no tanto los ambientes secos.
	USO EN FACHADA Floración	FORMA Tallos erectos	RESISTENCIA Tolerante a la sequía	PORTE Herbáceo	INTERÉS Produce flores de color azul en primavera y verano
	NOMBRE CIENTÍFICO Medicago sativa	NOMBRE COMÚN Alfalfa	ALTURA 30-60 cm	ANCHURA 10-20 cm	OBSERVACIONES Tolera el calor y puede soportar bajas temperatura
	USO EN FACHADA Herbáceo, floración	FORMA Tallos erectos	RESISTENCIA Muy resistente a la sequía	PORTE Herbáceo	INTERÉS Puede producir flores de color violáceo

Tabla 4. Especies vegetales Muro Vivo Elaboración propia

**Mantenimiento:**

En los sistemas de muros vivos el mantenimiento ocupa un papel fundamental. Se debe prever un potente sistema de riego, ya que si éste falla las plantas pueden morir con facilidad. Así mismo, es posible que se precise de alguna poda a lo largo de la vida de las plantas, por lo que es interesante que el lugar escogido sea fácilmente accesible.



*Figura 59. Sistema de riego y recogida de aguas.*

*Sistema de Riego:*

El sistema más común es aquel que se forma en líneas de tuberías de PVC que distribuyen horizontalmente el riego, situadas a diferentes alturas, integradas bajo la capa de fieltro. Estas tuberías descienden desde la cubierta del edificio.

La toma a la red general urbana se realiza por la calle Francisco Hernández Pacheco, de la cual parte el tubo de acometida hacia el interior de la parcela<sup>10</sup>. El contador general se encuentra colocado en una arqueta de registro enterrada al lado del acceso suroeste, y de él sale la tubería principal de distribución que atraviesa el parking hacia la primera sala de mantenimiento, situada en el sótano del ala sudoeste del edificio académico, muy cerca del emplazamiento escogido para el nuevo muro vivo.



Figura 6o. Planta de situación. Red general de suministro Fuente: CASADO DE PAZ, Pablo. TFG: Optimización del grupo de presión de la ETS arquitectura de Valladolid a partir del estudio de la instalación de AFS

Se trata de la sala de calderas y grupo de presión. En este punto se debería incluir el equipo de control que dará servicio al nuevo jardín vertical. Éste deberá incorporar *equipo inyector* y un *controlador*. El primero es un sistema de inyección de fertilizante, es decir, es el que añade el fertilizante al agua de riego. Para ello deberán disponerse unos tanques en la misma sala, a los que irá conectado. La inyección de fertilizante y la cantidad de este puede controlarse mediante el controlador, que dispone de un temporizador y puede ir conectado a la red telefónica. Así podrían detectarse problemas de presión, errores o incluso

<sup>10</sup> CASADO DE PAZ, Pablo. TFG: Optimización del grupo de presión de la ETS arquitectura de Valladolid a partir del estudio de la instalación de AFS. 2016

programar el riego a distancia. De esta forma se evitan posibles problemas en el mantenimiento del muro vivo.

Desde este punto, las tuberías se distribuyen hacia la cubierta del edificio. La fachada escogida, a parte de cubrir el módulo de aseos, también envuelve un patinillo de instalaciones que da servicio a esos aseos. Teniendo esto en cuenta, se podrían llevar las tuberías de riego hasta cubierta e ir bajando horizontalmente como se ha explicado, o existe la posibilidad de conectar el muro con el sistema de riego directamente desde el patinillo, aunque parece una opción más complicada ya que supone perforar la fachada.

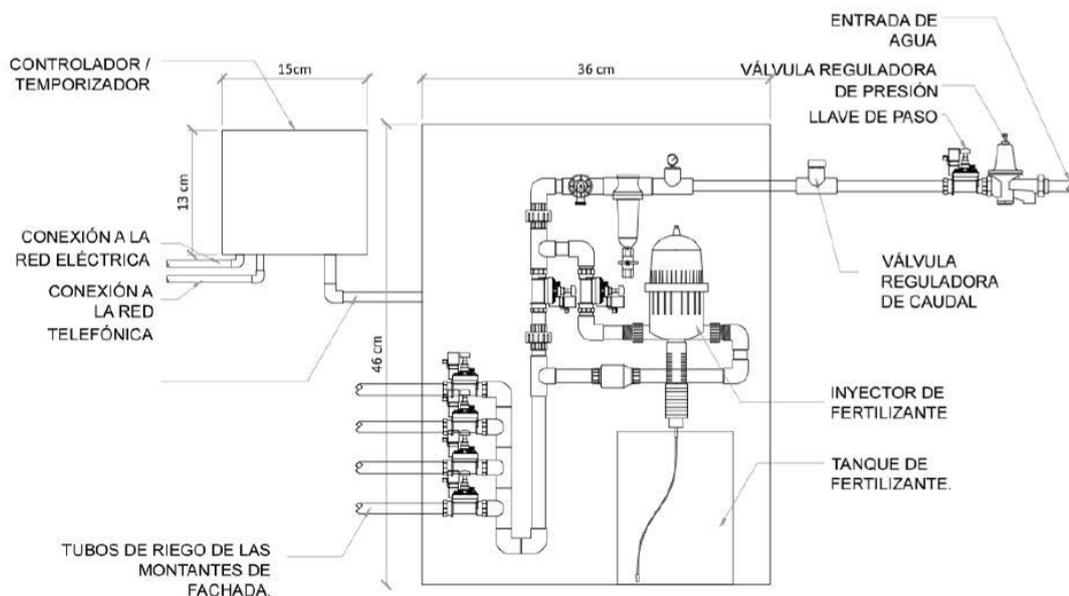
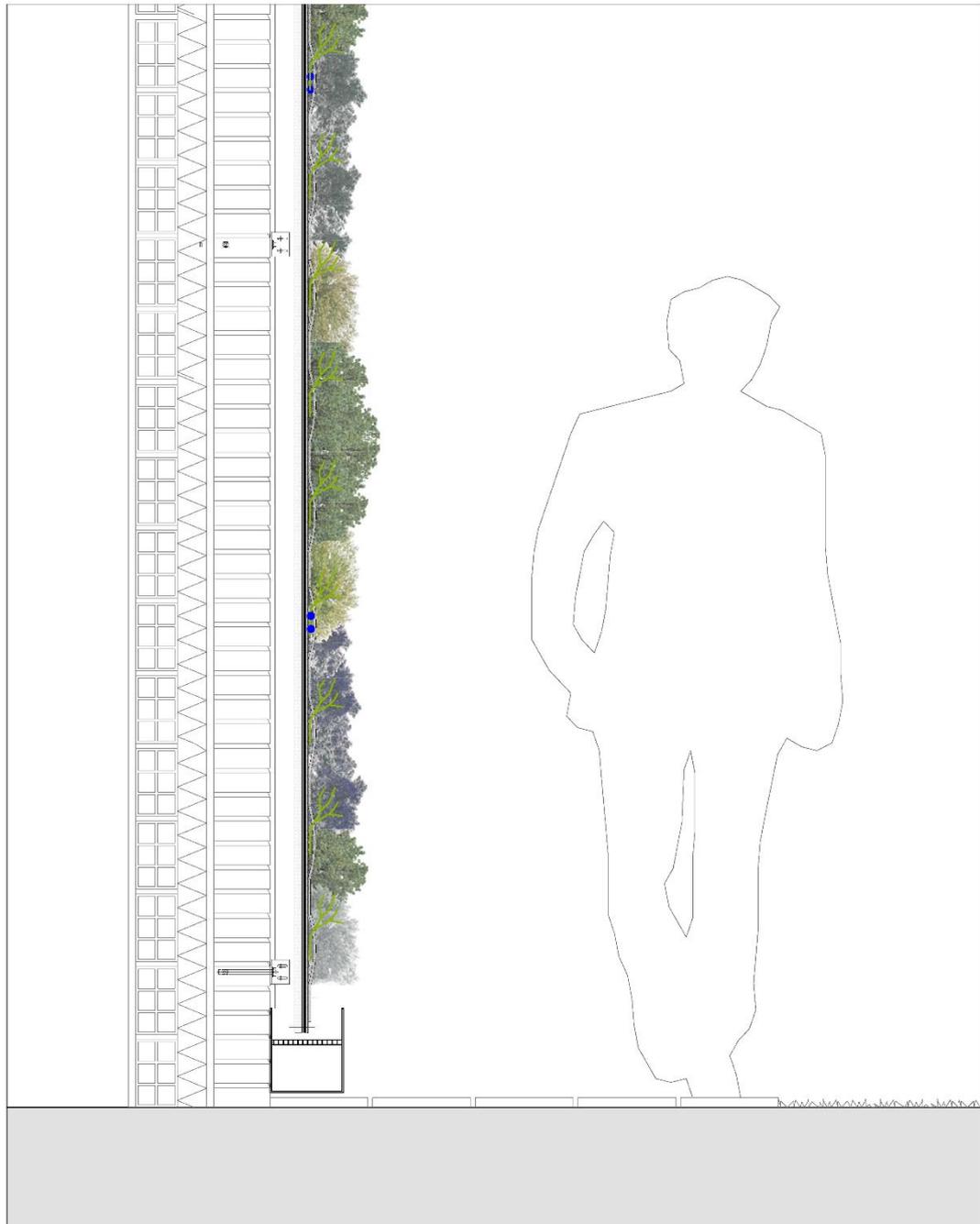


Figura 61. Sistema de riego

La recogida de aguas es otro punto a estudiar. Se instalará un sistema de recogida y reciclaje de agua, también por franjas horizontales a través del muro. Se distribuyen las canaletas de recogida de agua, que descienden por el lateral de fachada hasta conectar de nuevo con el equipo de control, o bien dirigirse a la red de saneamiento público.

#### Desarrollo:

Aunque el resultado de esta intervención sea satisfactorio, no tendría sentido su implantación en otro punto del edificio escogido, puesto que esta es sin duda la mejor localización. Sin embargo, sí podría ampliarse a lo largo del muro contiguo, completando así la totalidad del paramento oeste perteneciente al núcleo de aseos.



*Figura 62. Sección del edificio con la incorporación del nuevo muro vivo*

*Elaboración propia*



*Figura 63. Simulación del aspecto final  
Elaboración propia*

### 3.3. ANÁLISIS DE LAS MEJORAS

Existen pocos estudios que evalúen el comportamiento térmico de los sistemas de jardines verticales. Uno de los principales impedimentos deriva de la dificultad de obtener datos fiables sobre el aporte de aislamiento térmico del conjunto de la masa vegetal al cerramiento.

Los principales factores que influyen en el comportamiento térmico de los jardines verticales, además del aislamiento del colchón que genera la masa vegetal, son, como ya se ha comentado en el primer apartado, la interacción con la radiación solar (durante el proceso de fotosíntesis), la sombra aportada, el enfriamiento evaporativo (gracias al proceso de evapotranspiración) y la diferencia de incidencia del viento.

#### 3.3.1. ESTUDIO TÉRMICO

Con este estudio se pretende cuantificar, aunque sea de manera aproximada, los beneficios térmicos que derivan del uso de los diferentes sistemas.

##### 3.3.1.1. CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA DE SECCIONES DEL EDIFICIO

A continuación, se va a analizar la sección original de los cerramientos de la Escuela que se han tenido en cuenta en el apartado anterior para la aplicación de los sistemas vegetales verticales.

En primer lugar, se analiza el cerramiento **Caso1**, *Cubrición del peto de hormigón visto mediante fachada verde tradicional*. Se trata del muro del salón de actos en sótano, que se encuentra en el patio exterior oeste. Según la documentación encontrada, se definen los materiales de dicho cerramiento de la siguiente manera:

*Cerramiento Salón de Actos en muro de hormigón armado para visto encofrado con panel fenólico provisto berenjano, cámara de aire con aislamiento rígido, 1/2 pie de ladrillo visto dejando cada 0,374 cms una hilada del mismo ladrillo colocado a tabla vista todo ello sentado con mortero de cemento D: 1/6, remate superior guarnecido maestreado de yeso negro y enlucido de blanco.*

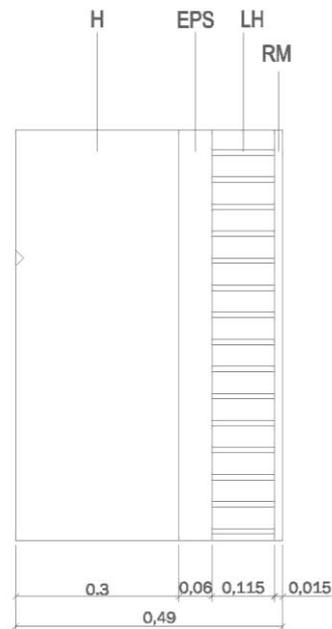


Figura 64. Sección Fachada1

Elaboración propia

Con estos datos se ha realizado el detalle de la sección, y se ha procedido a calcular las resistencias de cada capa de material y la transmitancia de este cerramiento. Según el Código Técnico de la Edificación, la transmitancia térmica en la envolvente constructiva es la medida del calor que fluye por unidad de tiempo y superficie, transferido a través de un sistema constructivo, formado por una o más capas de material, de caras paralelas, cuando hay un gradiente térmico de 1°C (1 K) de temperatura entre los dos ambientes que éste separa. La transmitancia térmica U (W/m<sup>2</sup>·K) viene dada por la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{RT}$$

Por lo que cuanto mayor sea la resistencia térmica menor será la transmitancia. A su vez, la Resistencia térmica de cada material se calcula mediante la expresión:

$$Rt = e / \lambda$$

Donde e se refiere al espesor de la capa, en metros, y  $\lambda$  a la conductividad térmica del material.

Los espesores son los definidos en el detalle constructivo, y las conductividades vienen dadas según el Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico.

FACHADA 1. MURO SÓTANO				
NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD (W/Mk)	RESISTENCIA
Rse	Aire exterior			0,04
H	Hormigón	0,3	2,3	0,1304
EPS	Aislamiento de EPS	0,06	0,039	1,5385
LH	Ladrillo hueco	0,115	0,32	0,3594
Y	Guarnecido de yeso	0,015	0,57	0,0263
Rsi	Aire interior			0,13

<b>Espesor Total</b>	0,49	<b>Resistencia Total(m2K/W)</b>	2,2246
		<b>Transmitancia(W/m2K)</b>	0,4495

Tabla 5. Transmitancia Fachada1 Elaboración propia

En el **Caso 2**, *Matización del soleamiento a través de un Sistema Intermedio de macetas y enrejados modulares*, la fachada sobre la que se coloca la propuesta es de tipo acristalado. Por lo que se calcula la transmitancia del hueco de la fachada. (Aunque se entiende que no se va a cubrir con un jardín vertical por su condición).

La expresión para calcularla viene dada por la siguiente expresión:

$$U_h = \frac{A_{hv} \cdot U_{hv} + A_{hm} \cdot U_{hm}}{A_{hv} + A_{hm}}$$

U<sub>h</sub>: Transmitancia térmica del acristalamiento, simple: 5.7

U<sub>hm</sub>: Transmitancia térmica del marco, metálico, normal (sin rotura de puente térmico): 5.7

A<sub>hv</sub>: área de la parte acristalada: 2.69m<sup>2</sup>

A<sub>hm</sub>: área del marco: 4.41m<sup>2</sup>

Acristalamientos incoloros											
Composición		Vidrios normales		1 Vidrio normal + 1 vidrio de baja emisividad <sup>(3)</sup>							
Tipo	Espesor (mm)	g <sub>⊥</sub>	ε = 0,89		g <sub>⊥</sub>	0,2 ≥ ε > 0,1		0,1 ≥ ε > 0,03		ε ≤ 0,03	
			U <sub>H,V</sub> Horiz (1) (4)	U <sub>H,V</sub> Vert (2) (4)		U <sub>H,V</sub> Horiz (1) (4)	U <sub>H,V</sub> Vert (2) (4)	U <sub>H,V</sub> Horiz (1) (4)	U <sub>H,V</sub> Vert (2) (4)	U <sub>H,V</sub> Horiz (1) (4)	U <sub>H,V</sub> Vert (2) (4)
			W/m <sup>2</sup> ·K	W/m <sup>2</sup> ·K		W/m <sup>2</sup> ·K	W/m <sup>2</sup> ·K	W/m <sup>2</sup> ·K	W/m <sup>2</sup> ·K	W/m <sup>2</sup> ·K	W/m <sup>2</sup> ·K
<b>Vidrio sencillo</b>	4	0,85	6,9	5,7	-	-	-	-	-	-	
	6	0,83	6,8	5,7	-	-	-	-	-	-	
	8	0,80	6,8	5,6	-	-	-	-	-	-	
	10	0,78	6,7	5,6	-	-	-	-	-	-	
	12	0,76	6,6	5,5	-	-	-	-	-	-	

Tabla 6. Conductancias según CTE

Marcos			
Producto	HE		
	$\rho$ kg / m <sup>3</sup>	$U_{H,m}$ (W/m <sup>2</sup> ·K) vertical	$U_{H,m}$ (W/m <sup>2</sup> ·K) horizontal
<b>Metálico</b>			
Normal	-	5,7	7,2
Con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm	-	4	4,5
Con rotura de puente térmico > 12 mm	-	3,2	3,5
<b>Madera</b>			
Madera de densidad media alta	700	2,2	2,4
Madera de densidad media baja	500	2	2,1
<b>PVC</b>			
PVC (dos cámaras)	-	2,2	2,4
PVC (tres cámaras)	-	1,8	1,9

Tabla 7. Conductancias según CTE

Se desprecia la transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y acristalamiento, según la siguiente tabla, debido a los materiales que constituyen la carpintería: marco metálico sin rotura de puente térmico y acristalamiento simple:

Tabla 10 Transmitancia térmica lineal  $\Psi_p$  y  $\Psi_g$  en huecos\*

Material del marco	Acristalamiento o empanelado simple	Acristalamiento o empanelado doble o triple	Acristalamiento doble con baja emisividad o triple con dos capas de baja emisividad
Madera y plástico	0,00	0,06 / 0,05	0,08 / 0,06
Metálico con rotura de puente térmico	0,00	0,08 / 0,06	0,11 / 0,08
Metálico sin rotura de puente térmico	0,00	0,02 / 0,01	0,05 / 0,04

El resultado es la Transmitancia térmica de los huecos de la fachada Este es de 5,7 W/m<sup>2</sup>·K, que corresponde a una resistencia térmica de 0,1754 m<sup>2</sup>K/W.

FACHADA 2 HUECO ACRISTALADO			
<b>Espesor Total</b>	0,05	<b>Resistencia Total(m<sup>2</sup>K/W)</b>	0,1754
		<b>Transmitancia(W/m<sup>2</sup>K)</b>	5,7000

Tabla 8. Transmitancias "Fachada" 2. Elaboración propia

En el **Caso 3**, se analiza el muro tipo según la documentación encontrada, que corresponde a la siguiente descripción:

*Cerramiento formado por medio pie de ladrillo macizo sentado a cara vista con mortero de cemento y arena de río D: 1/6. Enfoscado interiormente, cámara de aire*

con aislamiento rígido tipo porespan de 60mm. ½ pie de ladrillo Hueco Doble sentado con mortero D: 1/6 guarnecido maestrado con yeso negro y enlucido con yeso blanco.

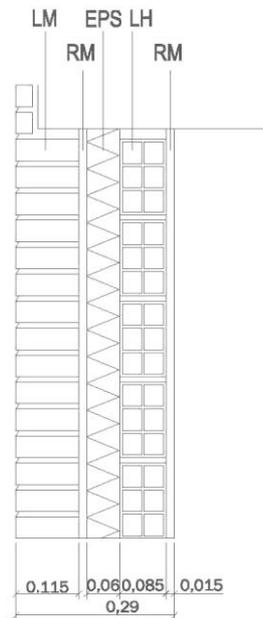


Figura 65. Sección Fachada

Elaboración propia

Y de la misma forma se procede a calcular las resistencias de cada una para obtener la transmitancia del muro 3.1.

Sin embargo, según la documentación, el cerramiento que corresponde al paramento

FACHADA 3.1 MURO TIPO				
NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD (W/Mk)	RESISTENCIA
Rse	Aire exterior			0,04
LM	Ladrillo macizo de medio pie	0,115	0,85	0,1353
RM	Revestimiento de mortero	0,015	1,3	0,0115
EPS	Aislamiento de EPS	0,06	0,039	1,5385
LH	Ladrillo hueco	0,085	0,32	0,2656
Y	Guarnecido de yeso	0,015	0,57	0,0263
Rsi	Aire interior			0,13

<b>Espesor Total</b>	0,29	<b>Resistencia Total(m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,1472
		<b>Transmitancia(W/m<sup>2</sup>K)</b>	0,4657

Tabla 9 Transmitancia Fachada 3.1 Elaboración propia

oeste del núcleo de aseos situado en la parte sur del edificio, emplazamiento donde se ha propuesto la instalación del Muro Vivo, presenta ciertas variaciones.

En primer lugar, en planta se aprecia que ese muro cuenta con un espesor mayor, ya que incluye una capa más, lo que parece ser una cámara de aire para las instalaciones, por lo

que se va a tener en cuenta además del aislante definido anteriormente. Además, los acabados interiores en los aseos corresponden a su vez a la siguiente descripción:

*Paramentos verticales aseos en mármol blanco del país, recibido con mortero de cemento D: 1/6.*

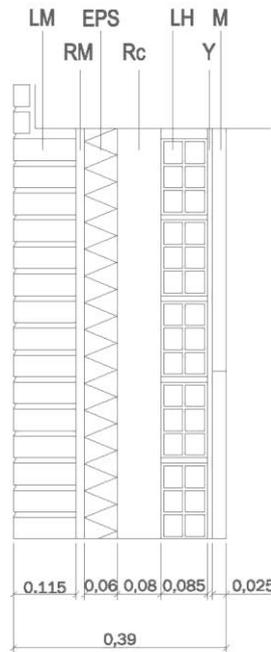


Figura 66. Sección Fachada 3.2

Elaboración propia

Y de la misma forma se procede a calcular las resistencias de cada una para obtener la transmitancia del muro 3.2:

FACHADA 3.2 MURO BAÑO				
NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD (W/Mk)	RESISTENCIA
Rse	Aire exterior			0,04
LM	Ladrillo macizo de medio pie	0,115	0,85	0,1353
RM	Revestimiento de mortero	0,015	1,3	0,0115
EPS	Aislamiento de EPS	0,06	0,039	1,5385
Rc	Cámara de aire no ventilada	0,08		0,18
LH	Ladrillo hueco	0,085	0,32	0,2656
Y	Guarnecido de yeso	0,01	0,57	0,0175
M	Aplacado de mármol	0,025	3,5	0,0071
Rsi	Aire interior			0,13
<b>Espesor Total</b>		<b>0,39</b>	<b>Resistencia Total(m<sup>2</sup>K/W)</b>	<b>2,3256</b>
			<b>Transmitancia(W/m<sup>2</sup>K)</b>	<b>0,4300</b>

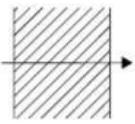
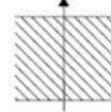
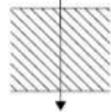
Tabla 10. Transmitancia Fachada 3.2 Elaboración propia

De acuerdo con el Código Técnico, para el cálculo de la transmitancia térmica de aquellas envolventes en contacto con el aire exterior, se obtienen las siguientes resistencias:

$$R_{se} = 0,04 \text{ [m}^2 \cdot \text{K/W]}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ [m}^2 \cdot \text{K/W]}$$

**Tabla 1 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m<sup>2</sup>·K/W**

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R <sub>se</sub>	R <sub>si</sub>
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo Horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente (Techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,04	0,17

La resistencia térmica de un cerramiento se calcula mediante la suma de las resistencias de las capas que lo conforman:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

Según ciertos estudios <sup>11</sup>, cuando la fachada cuenta con vegetación, debido a la contribución de la masa de las hojas y del resto de elementos implicados en los sistemas de muros vivos, la resistencia térmica superficial exterior R<sub>se</sub> podría igualarse a la interior R<sub>si</sub>, ya que, gracias a la presencia de follaje, se disminuye la incidencia del viento, pudiendo adaptarse el valor al homólogo interior.

De esta forma, se produce un beneficio sobre la resistencia térmica, que experimenta un incremento de 0.09 m<sup>2</sup>·K/W.

Para poder comprobar los beneficios generales derivados de la incorporación del sistema vegetal, se procede a calcular las diferentes opciones.

<sup>11</sup> HAAS, E. M. (2011) Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. Delf, Países Bajos.

En primer lugar, la resistencia térmica de un cerramiento simple, sin cubrición vegetal vendría dada por la expresión general que ya conocemos:

$$RT = 0.04 + \Sigma R_{\text{capas}} + 0.13 = 0.17 + \Sigma R_{\text{capas}}$$

En el caso de las Fachadas Verdes y los Sistemas Intermedios, partiendo de que se iguala la resistencia térmica superficial exterior a la interior, la Resistencia térmica del cerramiento con cubrición vegetal vendría a ser la siguiente:

$$RT = 0.13 + \Sigma R_{\text{capas}} + 0.13 = 0.26 + \Sigma R_{\text{capas}}$$

Por último, en el caso de los Muros Vivos, se ha de tener en cuenta no solo la cubrición vegetal, si no el sistema en sí, puesto que supone prácticamente un cerramiento en sí mismo, debido a la resistencia adicional que aportan las capas interiores. De este modo, la Resistencia térmica con cerramiento y sistema de muro vivo (mv) cumpliría la expresión:

$$RT = 0.13 + \Sigma R_{\text{capas}} + R_{\text{mv}} + 0.13 = 0.26 + \Sigma R_{\text{capas}} + R_{\text{mv}}$$

Este beneficio sobre la resistencia térmica desemboca en un ahorro de energía de las envolventes de los edificios, tanto en climas fríos como templados. A este efecto habría que añadir la disminución de la temperatura superficial, efecto especialmente importante en climas templados y que se analiza más adelante.

### 3.3.1.2. CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA DE SECCIONES DE MURO VIVO

A continuación, se va a analizar la sección de los tres tipos de Muros Vivos Hidropónicos expuestos en el apartado de clasificación, por considerarlos los más novedosos e interesantes. Se ha decidido despreciar la resistencia que aporta la capa vegetal, no por su significancia, sino por la falta de datos suficientemente certeros. Tampoco se ha tenido en cuenta a la hora de los cálculos la estructura portante o de anclaje al paramento, formada generalmente por rastreles metálicos verticales y horizontales, por entenderse que no está presente en todo el paramento, y por la amplia variedad de soluciones y materiales que pueden plantearse.

**Tabla 2 Resistencias térmicas de cámaras de aire en  $m^2 \cdot K / W$**

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

Se ha supuesto que la cámara que se forma en el interior del sistema está ligeramente ventilada, por lo que se adopta la mitad del valore de la siguiente tabla:

*(La resistencia térmica de una cámara de aire ligeramente ventilada es la mitad de los valores de la tabla 2)*

En primer lugar, se analiza la opción de Patrick Blanc, le Mur Vegetal, o lo que es lo mismo, un muro hidropónico con fieltros geotextiles a modo de sustrato (sus).

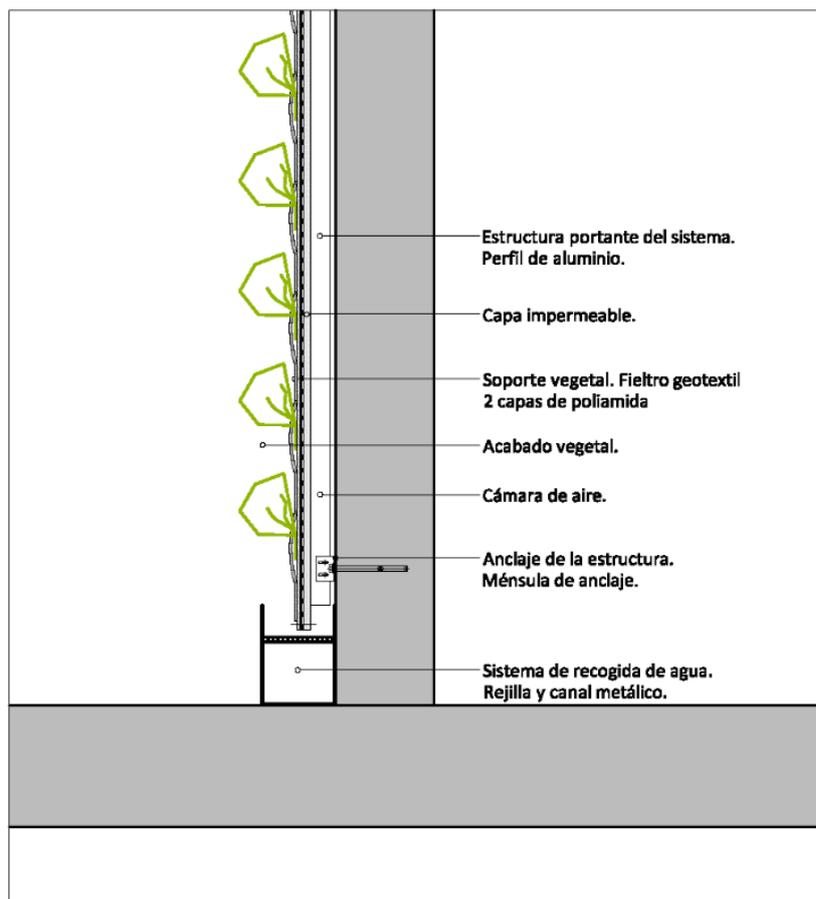


Figura 67. Muro vivo con fieltros geotextiles

Elaboración propia

MURO 1. MURO VIVO CON FIELTROS GEOTEXTILES				
NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD (W/mk)	RESISTENCIA
Rse	Aire exterior			0,13
sus	2 capas poliamida	0,01	0,25	0,0400
PR	Polietileno Reticular	0,01	0,072	0,1389
Rc	Cámara de aire ligeramente	0,05		0,0900
EPS	Aislamiento de EPS	0,03	0,039	0,7692
Rsi	Aire interior			0,13

<b>Espesor Total</b>	0,1	<b>Resistencia Total(m<sup>2</sup>K/W)</b>	1,2981
		<b>Transmitancia(W/m<sup>2</sup>K)</b>	0,7703

Tabla 11. Transmitancia Muro Vivo1

Elaboración propia

Destaca el poco espesor de esta solución. Se ha decidido tomar el material de poliamida en el fieltro geotextil porque es el empleado en el jardín vertical de Patrick Blanc en el Museo CaixaForum de Madrid<sup>12</sup>.

A continuación, se analiza el muro hidropónico con espumas a modo de sustrato.

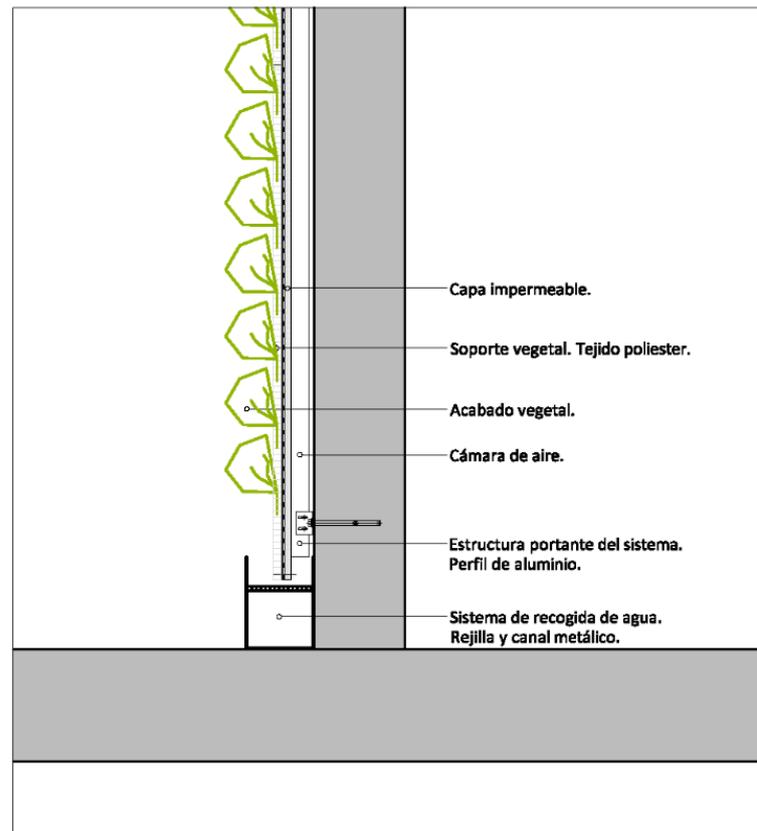


Figura 68. Muro vivo con espumas

Elaboración propia

<sup>12</sup> Parte del tapiz del jardín vertical de CaixaForum desaparece para cambiar la capa de fieltro en la que crecen plantas <https://goo.gl/WcjkCi>

MURO 2. MURO VIVO CON ESPUMAS				
NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD (W/Mk)	RESISTENCIA
Rse	Aire exterior			0,13
sus	Tejido poliéster	0,05	0,038	1,3158
PR	Polietileno Reticular	0,01	0,072	0,1389
Rc	Cámara de aire ligeramente	0,05		0,0900
EPS	Aislamiento de EPS	0,03	0,039	0,7692
Rsi	Aire interior			0,13

<b>Esesor Total</b>	0,14	<b>Resistencia Total(m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,5739
		<b>Transmitancia(W/m<sup>2</sup>K)</b>	0,3885

Tabla 13. Transmitancia Muro Vivo2

Elaboración propia

Por último, se analiza un muro vivo tipo con lana de roca como medio de crecimiento para las plantas.

MURO 3. MURO VIVO CON LANA DE ROCA				
NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD (W/Mk)	RESISTENCIA
Rse	Aire exterior			0,13
sus	Lana mineral	0,08	0,05	1,6000
PR	Polietileno Reticular	0,01	0,072	0,1389
Rc	Cámara de aire ligeramente	0,05		0,0900
EPS	Aislamiento de EPS	0,03	0,039	0,7692
Rsi	Aire interior			0,13

<b>Esesor Total</b>	0,17	<b>Resistencia Total(m<sup>2</sup>K/W)</b>	2,8581
		<b>Transmitancia(W/m<sup>2</sup>K)</b>	0,3499

Tabla 12. Transmitancia Muro Vivo3

Elaboración propia

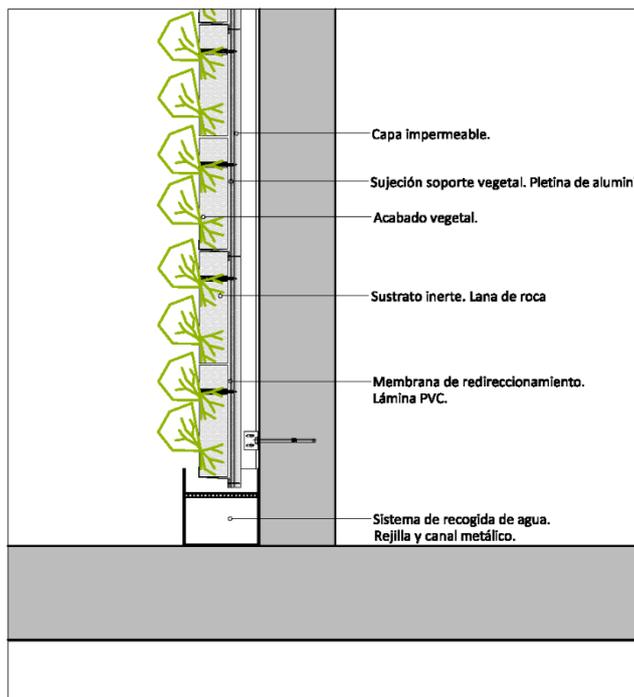


Figura 69. Muro vivo con lana de roca

Elaboración propia

### 3.3.1.3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos en los apartados anteriores, se pueden observar las diferentes soluciones y combinaciones.

	ESPESOR	RESISTENCIA	TRANSMITANCIA
FACHADA <sub>1</sub>	0,49	2,2246	0,4495
FACHADA <sub>2</sub>	0,05	0,1754	5,7000
FACHADA <sub>3.1</sub>	0,29	2,1472	0,4657
FACHADA <sub>3.2</sub>	0,39	2,3256	0,4300
MURO <sub>1</sub>	0,1	1,2981	0,7703
MURO <sub>2</sub>	0,14	2,5739	0,3885
MURO <sub>3</sub>	0,17	2,8581	0,3499

		ESPESOR	RESISTENCIA	TRANSMITANCIA
FACHADA <sub>1</sub>	MURO <sub>1</sub>	0,59	3,5227	0,2839
	MURO <sub>2</sub>	0,63	4,7985	0,2084
	MURO <sub>3</sub>	0,66	5,0827	0,1967
FACHADA <sub>2</sub>	MURO <sub>1</sub>	0,15	1,4736	0,6786
	MURO <sub>2</sub>	0,19	2,7493	0,3637
	MURO <sub>3</sub>	0,22	3,0336	0,3296
FACHADA <sub>3.1</sub>	MURO <sub>1</sub>	0,39	3,4454	0,2902
	MURO <sub>2</sub>	0,43	4,7211	0,2118
	MURO <sub>3</sub>	0,46	5,0054	0,1998
FACHADA <sub>3.2</sub>	MURO <sub>1</sub>	0,49	3,6237	0,2760
	MURO <sub>2</sub>	0,53	4,8995	0,2041
	MURO <sub>3</sub>	0,56	5,1837	0,1929

Tabla 14. Comparativa de muros y fachadas

Elaboración propia

Según esta tabla, se puede observar que, mientras que el sistema elegido para el caso 3 fue el muro vivo a partir de fieltros geotextiles, los cálculos indican que no es el sistema que ofrece mejores resultados. Si se observa la comparación cuando se toma la Fachada 3.2, se llega a la conclusión de que es el muro 3, el que utiliza la lana de roca como sustrato, el que aporta las mejores resistencias, es decir, el que cuenta con una transmitancia menos. A esto cabe añadir que, si bien ofrece unos mejores resultados, también dispone de un espesor mayor que el de la opción escogida.

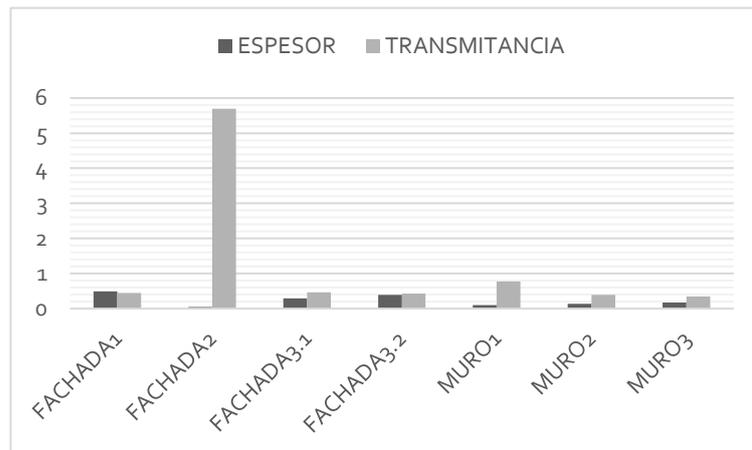


Tabla 15. Comparativa de resultados

La Tabla muestra una comparativa de los espesores frente a las transmitancias de cada tipología. Destaca claramente la llamada de forma errónea "Fachada2", pues, como ya se ha comentado, se trata de un hueco en fachada, una carpintería, de ahí su transmitancia desmesurada. Por ello, se va a eliminar de la tabla para poder comparar los demás resultados.

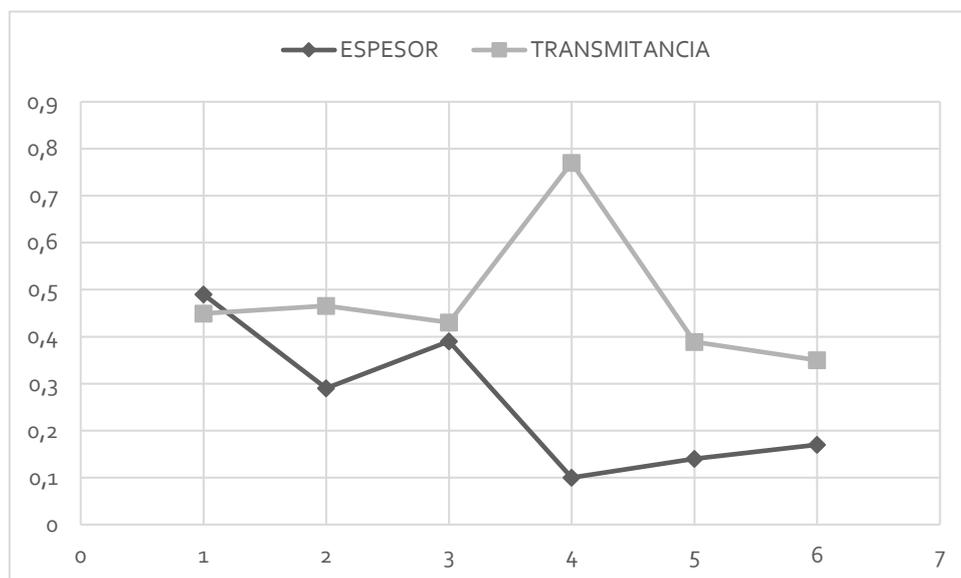


Tabla 16. Comparativa de resultados

Con esta tabla ya se pueden deducir algunos datos gráficamente. Los paramentos 5 y 6 (correspondientes a los muros vivos 2 y 3) serían los que mejor comportamiento plantean, pues tienen una transmitancia similar a los primeros, con un espesor bastante menor. Destaca a su vez el número 4 (equivalente a el muro vivo a partir de geotextiles) pues compone el sistema con la mayor transmitancia, aun siendo el espesor también el menor.

Tomando como referencia la zona climática a la que pertenece Valladolid, según el Código Técnico, la transmitancia límite de fachada es de  $0.66 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  que corresponde a una resistencia térmica de  $1.515 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

### D.2.14 ZONA CLIMÁTICA D2

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Llim}: 0,31$

% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{Hlim} \text{ W/m}^2\text{K}$				Factor solar modificado límite de huecos $F_{Hlim}$					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Media, alta o muy alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5	2,9	3,5	3,5	-	-	-	0,58	-	0,61
de 31 a 40	2,2	2,6	3,4	3,4	-	-	-	0,46	-	0,49
de 41 a 50	2,1	2,5	3,2	3,2	-	-	0,61	0,38	0,54	0,41
de 51 a 60	1,9	2,3	3,0	3,0	0,49	-	0,53	0,33	0,48	0,36

Con esto en mente, se puede observar que solo existirían dos tipologías que, por sí solas, no cumplirían el CTE. Por un lado, la carpintería que hemos considerado para este estudio, y que se podría despreciar, y por otro lado el Muro Vivo con fieltros geotextiles, que sobrepasa el límite impuesto debido a la zona climática. Sin embargo, cabe recordar que en ese caso no se plantea el muro vivo por sí solo, sino como apoyo al paramento que cubre, por lo que únicamente se estarían mejorando sus características térmicas.

### 3.3.2. ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DEL VIENTO

Es sabido que el uso de vegetación en fachadas reduce la incidencia del viento sobre ésta. El grado de protección frente a los efectos del viento, dependerá de la velocidad y dirección del viento, de las dimensiones de la barrera, así como de la densidad forma y rugosidad de la vegetación.

El Código Técnico nos aporta las herramientas necesarias para calcular la acción del viento sobre nuestro edificio, de manera general. A continuación, se va a proceder a calcular las presiones ejercidas en el edificio de la escuela:

La acción de viento, o presión estática,  $Q_e$  viene dada por la expresión:

$$Q_e = Q_b \cdot C_e \cdot C_p$$

-Donde  $Q_b$  se refiere a la presión dinámica del viento. Normalmente se toman valores genéricos de  $0,5 \text{ kN/m}^2$ , aunque es posible precisar esta cifra con respecto a nuestro edificio:

El valor básico de la presión dinámica del viento puede obtenerse con la expresión:

$$Q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b$$

Siendo  $\delta$  la densidad del aire y  $v_b$  el valor básico de la velocidad del viento. Ya que Valladolid se encuentra en la zona A (velocidad básica del viento =  $26 \text{ m/s}$ ), y tomando como densidad del aire el valor de  $1,25 \text{ kg/m}^3$ , llegamos al resultado de una presión dinámica de  $0,4225 \text{ kN/m}^2$ .

- $C_e$  define el coeficiente de exposición, que varía según la altura, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. Para alturas inferiores a  $z_{0,05}$ , como es el caso que ocupa, se define con la siguiente expresión:

$$C_e = F \cdot (F + 7k)$$

$$F = k \ln (\max (z, Z) / L)$$

**Tabla D.2 Coeficientes para tipo de entorno**

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,156	0,003	1,0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Se ha tenido en cuenta un grado IV de aspereza, correspondiente a una Zona urbana en general, industrial o forestal. Esto nos da un valor F de  $0,7357$ , y, por lo tanto, un coeficiente de exposición del  $1,6742$ .

- $C_p$  define el coeficiente eólico o de presión depende de la forma y orientación de la superficie respecto al viento. A partir de la Tabla D.3, tomando el área de nuestro paramento ( $\geq 10\text{m}^2$ ), una altura de  $17,1$  metros, y una distancia  $d=6,6\text{m}$ , llegamos a un coeficiente eólico de presión de un  $0,8$ .

Con todos estos datos se llega a una presión estática de  $-0,5659 \text{ KN/m}^2$ .

Como se puede observar, los resultados obtenidos son genéricos, no nos permiten profundizar en los aportes producidos por la instalación de los diferentes sistemas. Sin

embargo, nos sirven como base de conocimiento para comparar los estudios realizados en otros países.

Por ejemplo, en la Universidad de Delf se realizó un estudio para medir la diferencia de incidencia del viento en tres sistemas vegetales: fachada verde, sistema intermedio y muro vivo, comparándolo con un cerramiento desnudo.

Para ello se tomaron tres fachadas con los sistemas vegetales y sin ellos, y se colocaron puntos de medida semejantes: a 1m de la fachada, a 10cm tanto de la fachada desnuda como de la vegetación, en medio del follaje y en la cámara de aire. (según sistema).

En las fachadas con vegetación directa, se analizó un muro orientado hacia el Noroeste, en el que una la cobertura vegetal es una hiedra común, es decir, una situación muy similar a la propuesta en el Caso1 del anterior apartado.

El estudio demuestra una disminución de la velocidad del viento debida a la vegetación, con un valor medio de  $\Delta_{\text{viento}}=0.43$  m/s, desde los 10cm anteriores al inicio de la vegetación, hasta el interior de ésta.

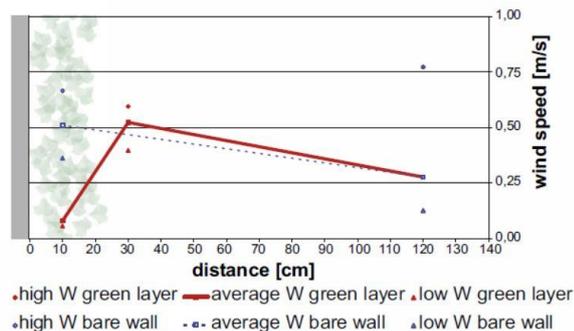


Tabla 17. Fachada verde, incidencia del viento

Fuente: HAAS, E. M.

Se aprecia fácilmente en la figura, donde la línea de color rojo muestra la variación de la velocidad del viento en un sistema de vegetación directa, frente al muro convencional representado con la línea azul punteada.

En el interior del follaje la velocidad del viento tiende a ser 0.

En sistemas indirectos, se analizó un muro situado hacia el noreste, con vegetación similar a la del caso anterior. La velocidad también disminuye de la misma forma, concretamente varía  $\Delta_{\text{viento}}=0.55$  m/s. Sin embargo, en el interior de la vegetación vuelve a incrementarse:  $\Delta_{\text{viento}}=0.29$  m/s.

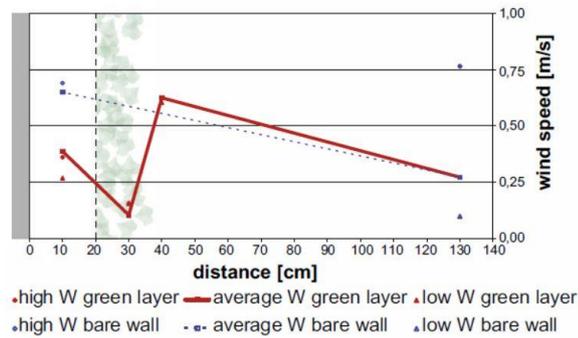


Tabla 18. Fachada de tipo intermedio, incidencia del viento

Fuente: HAAS, E. M.

En el caso de los Muros vivos, el muro a estudiar se sitúa hacia el occidente, las plantas en este caso no son trepadoras, y cuentan con menos de un año de crecimiento. En este caso se muestra una disminución desde los 0.56 m/s a los 0.1 m/s, lo que supone un  $\Delta$ viento=0.46 m/s, que comienza 10cm antes de la fachada hasta la cámara de aire interior que supone esta tipología.

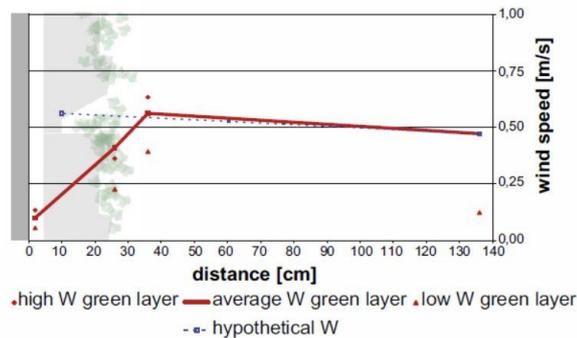


Tabla 19. Muro Vivo, incidencia del viento

Fuente: HAAS, E. M.

Esto demuestra de forma clara que el follaje permite obtener una disminución de la velocidad del viento.

El aumento de la velocidad del viento dentro de la cámara de aire (de 20 cm) para el sistema indirecto, que no se advirtió en el interior de la cavidad de aire (de 4 cm) de la fachada del muro vivo, se puede ser debido al espesor relativo del follaje de la planta trepadora.

Como se puede observar, el tipo de sistema elegido, así como el tipo de vegetación y sus propiedades (porosidad, frondosidad) influyen en los efectos.

### 3.3.3. ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA

El mismo estudio anteriormente comentado también investiga sobre la diferencia de temperaturas debido al uso de la vegetación.

Con el mismo sistema, se estudian tres fachadas con fachada verde, sistema indirecto y muro vivo, así como la comparación con el paramento desnudo.

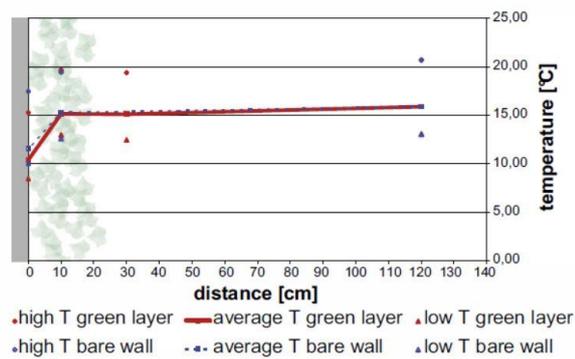


Tabla 20. Fachada verde, variación de temperatura

Fuente: HAAS, E. M.

En primer lugar, en el caso de la fachada verde, donde la vegetación se dispone directamente en la fachada, se aprecia una tendencia a seguir el perfil de temperatura en el caso de la pared desnuda junto a la capa verde. Una pequeña diferencia de temperaturas ( $\Delta T^a = 1.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) se aprecia solo en la superficie del paramento cuando comparamos este desnudo frente al mismo con follaje.

En el sistema indirecto la tendencia de la temperatura es similar a la anterior. La diferencia de las temperaturas de los paramentos (con y sin especie vegetal) es de menos de  $3^\circ\text{C}$ . ( $\Delta T^a = 2.7 \text{ }^\circ\text{C}$ )

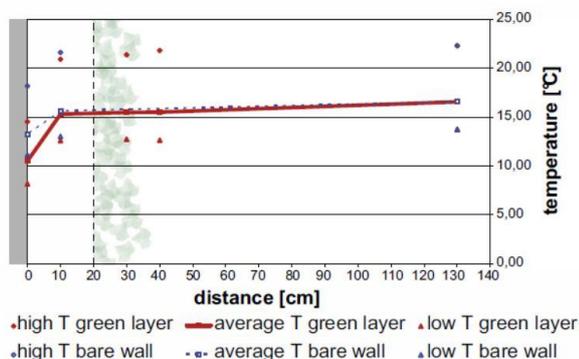


Tabla 21. Sistema Intermedio, variación de temperatura

Fuente: HAAS, E. M.

En el caso del Muro vivo, no se obtuvieron resultados para el muro desnudo. Se ha dibujado una línea hipotética basándose en las demás medidas, de cara a comparar los resultados. La diferencia de temperaturas en las superficies entre el caso desnudo hipotético y la fachada con muro vivo es de  $\Delta T^a = 5\text{ }^\circ\text{C}$ . La temperatura del entorno, comenzando 10 cm antes del inicio del sistema, hasta estar detrás de este, aumenta en  $1.1\text{ }^\circ\text{C}$ .

En este caso, los muros vivos comparado con los otros sistemas vegetales, presentan una diferencia de temperatura mayor. Es posible que esta diferencia esté causada por la reducción de la radiación solar al 100%, debido a los materiales involucrados.

Los rangos de temperatura dados en las fachadas estudiadas no muestran diferencias notables entre las fachadas vegetales estudiadas frente a las tradicionales. Es posible que tenga que ver con la estación en la que se llevaron a cabo dichos estudios, en otoño, donde las temperaturas que se dieron fueron por debajo de los  $18^\circ$  y apenas se experimentó el aporte de luz solar directa.

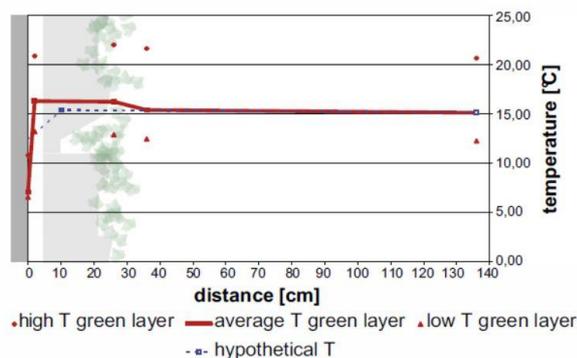


Tabla 22. Fachada verde, variación de temperatura

Fuente: HAAS, E. M.

Otro estudio<sup>13</sup> llevado a cabo en Berlín en verano, muestra una tendencia similar de disminución de la temperatura de la superficie del paramento ( $16,7^\circ$  en el muro convencional y  $16,4^\circ$  bajo la vegetación). Sin embargo, en ambientes más cálidos es cuando el rango de temperaturas destaca, con  $31^\circ$  en la fachada desnuda, frente a los  $25,2^\circ$  bajo la vegetación. Esto nos indica que la vegetación tiene una influencia en la piel del edificio, dependiendo de las condiciones del ambiente.

<sup>13</sup> KÖHLER M. Experimentelle untersuchungen zur function von fassadenbegrünungen, Abbildungen, tabellen und literaturverzeichnis..

### 3.3.4. OTRAS MEJORAS

#### *Protección contra la contaminación acústica*

Dadas sus propiedades, plantas y árboles se han venido usando como barreras contra el ruido, generalmente en los casos en los que este es producido por el tráfico y la contaminación acústica urbana.

Una de estas propiedades de la vegetación es la capacidad de enmascarar los ruidos desagradables, con aquellos que resultan más agradables al oído humano, como puede ser el movimiento de las hojas y el sonido que con el se produce, o el canto de los pájaros que viven en los árboles. Además, el sonido que alcanza las hojas es amortiguado mediante absorción, reflexión y refracción. Una parte de esta energía sonora se absorbe y la otra parte de la energía acústica se refleja y difracta alrededor de la hoja.

En cuanto al tema acústico, según un estudio realizado en Singapur<sup>14</sup>, no todos los sistemas que cuentan con una masa vegetal demuestran una reducción sonora destacable. Aquellos sistemas que alcanzan los mejores resultados reducen en un rango de 5 a 10 db la frecuencia media. Los materiales de los sistemas de soporte, las características de la cámara interior que se genera y el espesor del medio en el que crecen las especies, son los factores que influyen en la atenuación del ruido, que en la mayoría de los casos necesitarían alcanzar grandes espesores para llegar a proporcionar una mejora acústica destacable o perceptible.

En el caso que nos ocupa no se presentan grandes mejoras en este sentido. No tanto debido al resultado de la implantación de la masa vegetal, si no a la naturaleza de los muros que cubre. En primer lugar, el muro que corresponde al sótano ya se encuentra aislado al encontrarse semienterrado. En el segundo caso, al estar separada la masa vegetal de la fachada, no actúa como barrera acústica, y, por último, el muro vivo se encuentra cubriendo espacios de aseos, que no precisan de una insonorización notable.

#### *Aire acondicionado vegetal*

Este sistema ofrece la posibilidad de dar uso a los muros vivos como sistema de aire acondicionado. Por lo tanto, además de actuar como acondicionamiento bioclimático, el muro vivo tiene la capacidad de actuar como aire acondicionado y filtrar de aire del espacio donde se instala.

---

<sup>14</sup> HIEN WONG, N. *Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls.*

Los jardines verticales poseen una gran capacidad de fijar CO<sub>2</sub> y liberar oxígeno. Además, determinadas especies vegetales utilizadas en este sistema pueden absorber contaminantes específicos además del monóxido de carbono. En ciertos edificios, con el fin de conseguir un ahorro de energía, se hace recircular el aire del interior del edificio. Esto produce la acumulación de contaminantes en el aire recirculado. La solución pasa por la instalación de filtros que absorban estos contaminantes, pero se trata de una solución nada económica.

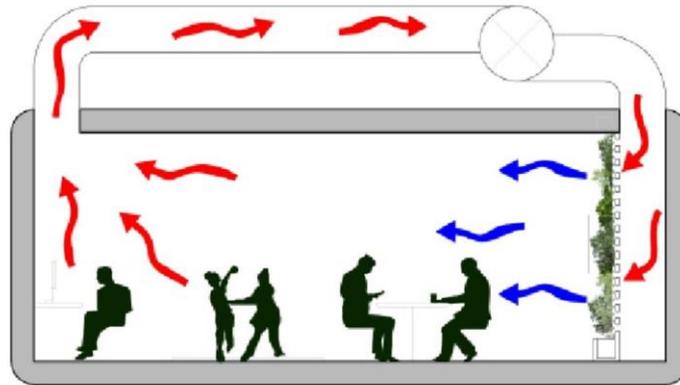


Figura 70. Sistema de Aire acondicionado vegetal

Fuente: SingularGreen

En el caso del muro vivo propuesto en la Escuela, se plantea su aplicación para mejorar la ventilación de los aseos mediante este sistema, aunque su adaptación sería algo más complicada, pues el jardín se encuentra en el exterior. Dado que el espacio no cuenta con ningún tipo de ventilación natural, aporta una solución al problema de olores que existe actualmente.

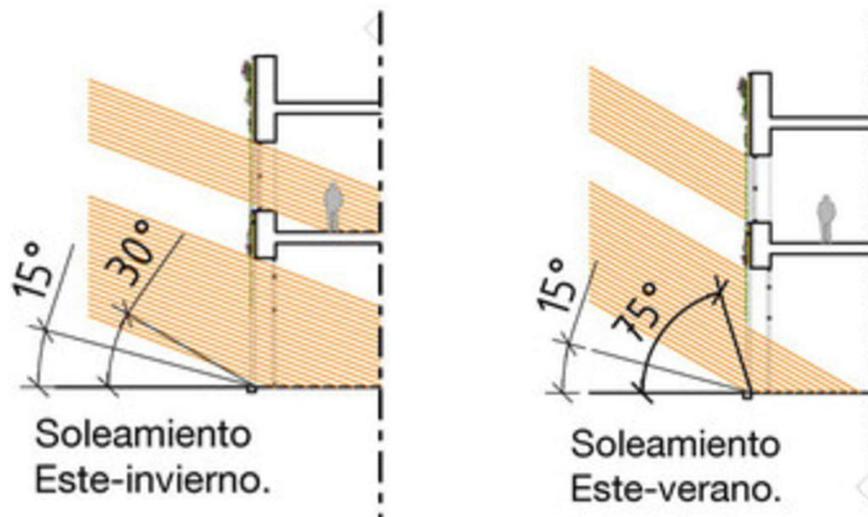
#### *Reducción de la temperatura por sombreado, y confort térmico*

El uso de vegetación en las paredes con orientación pobre puede compensar el bajo diseño pasivo y reducir de forma eficaz la necesidad de cargas de refrigeración.

La estrategia común para evitar los excesos de radiación solar directa es el sombreado. Según esta idea se debería tratar de cubrir estos espacios sobreexpuestos, y uno de los elementos con los que se puede conseguir es con a vegetación. Como se ha dicho al inicio de este trabajo, uno de los mayores beneficios a la hora de elegir la vegetación como medio pasivo frente a otros dispositivos tradicionales (lamas, persianas etc) reside en la absorción de la radiación. Estos sistemas, suelen utilizar materiales metálicos o plásticos, que acaban calentándose. De este modo el calor se radia de nuevo a la superficie del edificio y sus alrededores. En cambio, la vegetación no se comporta de este modo pues su índice de absorberencia es alto.

En el caso del muro vivo, se consigue un sombreado de la fachada del 100%, mientras que en el caso primero, la fachada verde, el porcentaje dependerá del crecimiento de la vegetación, así como de su densidad forma y tamaño.

En este sentido, el caso 2 sería el más interesante, puesto que el exceso de radiación no solo influye a la envolvente del edificio, sino que, además, al tratarse de una fachada acristalada, influye en los usuarios y su confort térmico.



La solución adoptada propone unos parasoles vegetales que cubren los ventanales están formados por plantas trepadoras caducifolias, por lo que en invierno permiten que la luz penetre en el edificio mientras que en verano sombream las ventanas y actúan como escudo frente al exceso de radiación, reduciendo la necesidad de refrigeración y aumentando el confort térmico.

## 4. CONCLUSIONES

Este trabajo muestra una visión global de los jardines verticales y de sus beneficios medioambientales y técnicos, para lo que se ha establecido una organización de los distintos sistemas, se ha propuesto su aplicación en un entorno real y se ha evaluado térmicamente el aporte de varios sistemas.

Si bien es cierto que existe una gran cantidad de sistemas de jardines verticales en la actualidad, se ha propuesto una diferenciación clara en tres grandes grupos:

- fachadas verdes, aquellas donde la masa vegetal crece directamente desde el suelo, por lo que están limitadas al uso de especies trepadoras;
- sistemas intermedios, donde las especies crecen en macetas o jardineras de forma tradicional, por lo que además de especies trepadoras pueden seleccionarse especies colgantes y arbustivas, y por último;
- los muros vivos, que suponen una doble piel real, y por tanto, una solución continua, en la que se pueden emplear especies arbustivas de porte pequeño, especies herbáceas y musgos.

Los beneficios térmicos obtenidos se derivan del uso de vegetación, aunque sean precisamente los más complejos de cuantificar. En las tres tipologías se obtienen beneficios similares, aunque en distintas escalas.

En el caso de una fachada verde, se aprecia una variable de la temperatura en el muro donde se ha dispuesto de  $1.2^{\circ}$ . En el caso del sistema intermedio esta cifra aumenta a más del doble:  $2.7^{\circ}$ , y en el caso del muro vivo, como era de esperar debido a la complejidad y al mayor número de capas, la diferencia de temperaturas se encuentra en torno a los  $5^{\circ}$ .

Esta diferencia de la temperatura superficial conlleva un ahorro energético considerable.

Las tres tipologías presentan unos resultados similares en cuanto a la incidencia del viento sobre sus superficies. En el primer caso, la velocidad del viento disminuyó  $0.43$  m/s, mientras que en el caso de un sistema intermedio esta cifra aumenta a  $0.55$  m/s. Cabe destacar que, debido a que la masa vegetal se encuentra separada del muro analizado, la velocidad del viento en esa franja vuelve a aumentar. El caso de estudio número 2, sistema indirecto, habría que desestimar los beneficios con respecto a la velocidad del viento ya que la masa vegetal no cubre el paramento completo (la carpintería) y se encuentra además bastante separada de esta. En el caso de los muros vivos los resultados superan ligeramente los adoptados en la primera tipología, obteniéndose una diferencia de velocidades de  $0.46$  m/s.

Además del aporte de resistencia térmica, los sistemas vegetales verticales actúan como reguladores térmicos a través de los mecanismos de reducción de la incidencia de la radiación solar, la variación del efecto del viento y el enfriamiento evaporativo. Es decir, no solo aportan una mejora al paramento -al interior del edificio- sino que las mejoras térmicas también son apreciables en el exterior.

A través del estudio de las resistencias térmicas de cada muro vivo tipo, se llega a la conclusión de que, si bien el Mur vegetal (o muro con filtros geotextiles) es el que cuenta con menor espesor, es el de lana de roca el que aporta una mayor resistencia térmica.

Este "fallo" a la hora de la toma de decisiones, incide en la necesidad de una investigación, un estudio previo y una planificación adecuada que derive en un diseño eficaz. También parece necesario plantear como norma una colaboración con otros profesionales, ya que con estos sistemas se tratan temas biológicos que pueden escapar de las competencias del arquitecto. El perfil ideal sería el de aunar la figura del arquitecto a la de biólogo o ingeniero forestal, de modo que estuviera presente en todas las fases del proyecto.

Este estudio consolida la viabilidad de la integración de los sistemas vegetales en la edificación, pues se conciben los sistemas como una herramienta más de ahorro energético al aplicarse en diferentes escenarios de la Escuela de Arquitectura.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, Javier. *Sistemas vegetales que mejoran la calidad ambiental de las ciudades*. Boletín Ciudades para un futuro más sostenible. La Serena, Chile, 2009.

BARTFELDER F, KÖHLER M. *Experimentelle untersuchungen zur function von fassadenbegrünungen*, Abbildungen, tabellen und literaturverzeichnis, Berlin, 1987.

BLANC, patrick. *Le mur végétal de la nature à la ville*. France, 2008.

CASADO DE PAZ, Pablo. TFG: *Optimización del grupo de presión de la ETS arquitectura de Valladolid a partir del estudio de la instalación de AFS*. Valladolid, 2016.

ENRIQUE GONZALO, Guillermo. *Manual de Arquitectura Bioclimática*. Argentina: Nobuko, 2004.

FALCÓN, Antoni. *Espacios verdes para una ciudad sostenible: planificación, proyecto, mantenimiento y gestión*. Barcelona, 2007.

GRANADOS MENÉNDEZ, Helena. *Principios y estrategias del diseño bioclimático en la arquitectura y el urbanismo*. Consejo Superiores de Arquitectos de España, 2006.

HAAS, E. M. *Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope*. Facultad de Ingeniería Civil y Geociencias, Universidad de Delf, Países Bajos, 2011.

LÓPEZ, Tara. *Jardines verticales*. Trabajo Fin de Grado. Universidad Politécnica de Valencia, 2016.

NEILA GONZÁLEZ, JAVIER. *Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid, 2004.

OLIVIERI F., NEILA, F. J., BEDOYA, C. *Energy saving and environmental benefits of metal box vegetal façade*. Management of natural resources, sustainable development and ecological hazards Transactions on Ecology and the Environment, 2010.

TABASSOM, Safikhani. *Thermal Impacts of Vertical Greenery Systems*. UTM, Universidad Tecnológica de Malasia. 2014

HIEN WONG, N. *Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls*. National University of Singapore, 2010.

Alberto Meiss Rodríguez y Jesús Feijó Muñoz. *Acondicionamiento e Instalaciones V: energías renovables e instalaciones especiales*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Jardines de Babilonia	6
Figura 2. Casa tradicional islandesa	7
Figura 3. Esquema morfo-isotérico de la isla de calor urbana	12
Figura 4. Casas rural Dehesa de San Juan	17
Figura 5. Vid silvestre de color	17
Figura 6. Subcentral eléctrica en barcelona Victor Rahola Fuente: victorrahola.cat	19
Figura 7. El mismo edificio 5 años más tarde	19
Figura 8. Balcones y rejas vegetadas en Córdoba Fuente: 2ominutos.es	20
Figura 9 bosque vertical Fuente: plataformaarquitectura.cl	21
Figura 10 bosque vertical Steffano boeri Fuente: stefanoboeriarchitetti.net	21
Figura 11. Detalle sección	23
Figura 12. Detalle de las tres diferentes capas	23
Figura 13 detalle en planta	24
Figura 14 Detalle constructivo Fuente: habitat.aq.upm	24
Figura 15 Detalle del Funcionamiento Fuente: habitat.aq.upm	25
Figura 16 Detalle constructivo Fuente: SingularGreen	27
Figura 17. Acabado Fuente: Urbanarbolismo	27
Figura 18. Terraza con sistema eco bin en ibiza Fuente: urbanarbolismo	27
Figura 19. VGM Living Wall Fuente: elminch.com.eu	28
Figura 20 VGM Living Wall acabado Fuente: femox.ch	28
Figura 21 Sistema Constructivo Fuente: habitat.aq.upm.es/	29
Figura 22 Despiece de los componentes Fuente: habitat.aq.upm.es	30
Figura 23. Museo San Telmo, Nieto Sobejano Arquitectos	30
Figura 24. cultivo con raíces flotantes Fuente: hydroenv.com /catalogo	31
Figura 25. Esquema sistema geotextil	32
Figura 26. Fase proyecto, instalación y resultado en el Caixaforum	33
Figura 27. Detalle constructivo Fuente: archdaily.com	34
Figura 28. Jardín Vertical del Palacio de congresos de Vitoria-Gasteiz	35
Figura 29. Sistema nébula Fuente: tectura.es	36
Figura 30. Sistema de gestión del agua Fuente: renatatufano.com.br	37
Figura 31. Edificio Harmonía, triptyque, Sao Paulo Fuente: triptyque.com	37
Figura 32. Plano de Situación Fuente: Elaboración propia con base GoogleMaps	39
Figura 33. Climograma de Valladolid	40
Figura 34. Radiación solar invierno	42
Figura 35. Radiación solar verano	42
Figura 36. Esquema de situación	43
Figura 37. Localización. Elaboración propia	43
Figura 38. Presencia de vegetación. Elaboración propia	44
Figura 39. Fachada Oeste. Elaboración propia basada en planimetría aportada.	45
Figura 41. Sección situación actual Elaboración propia	46

Figura 41. Sección intervención Elaboración propia	46
Figura 42. Esquema de situación	48
Figura 43. Fachada Este. Elaboración propia	48
Figura 44. Detalle apertura de las carpinterías	50
Figura 45. Sistema de jardinera Fuente: Omni EcoSystems	51
Figura 46. Especies Vegetales Sistema Intermedio. Elaboración propia	52
Figura 47. Posibles puntos de intervención. Elaboración propia	52
Figura 48. Alzado con intervención dos carpinterías, con y sin especies vegetales	53
Figura 49. Sección Intervención Elaboración propia	54
Figura 50. Sección Situación actual Elaboración propia	54
Figura 51. Esquema de situación	55
Figura 52. Localización. Elaboración propia	55
Figura 53. Detalle fisuras en la zona Elaboración propia	56
Figura 54. Ventanas actuales, fijas y sin rejillas de ventilación	57
Figura 55. Rejilla de ventilación en techo de los aseos Elaboración propia	57
Figura 56. Configuración sistema fieltros geotextiles	58
Figura 57. Sistema comercializado y adaptación del mismo.	59
Figura 58. Libertad de diseño. Elaboración propia	60
Figura 59. Sistema de riego y recogida de aguas.	62
Figura 60. Planta de situación. Red general de suministro	63
Figura 61. Sistema de riego	64
Figura 62. Sección del edificio con la incorporación del nuevo muro vivo	65
Figura 63. Simulación del aspecto final Elaboración propia	66
Figura 64. Sección Fachada1 Elaboración propia	68
Figura 65. Sección Fachada2 Elaboración propia	71
Figura 66. Sección Fachada 3.2 Elaboración propia	72
Figura 67. Muro vivo con fieltros geotextiles Elaboración propia	75
Figura 68. Muro vivo con espumas Elaboración propia	76
Figura 69. Muro vivo con lana de roca Elaboración propia	77
Figura 70. Sistema de Aire acondicionado vegetal Fuente: SingularGreen	87

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propuesta de Clasificación Fuente: Elaboración propia	16
Tabla 2. Zonas climáticas según CTE	41
Tabla 3. Especies vegetales Fachada Verde Fuente: Elaboración propia	45
Tabla 4. Especies vegetales Muro Vivo Elaboración propia	61
Tabla 5. Transmitancia Fachada <sub>1</sub> Elaboración propia	69
Tabla 6. Conductancias según CTE	69
Tabla 7. Conductancias según CTE	70
Tabla 8. Transmitancias "Fachada" <sub>2</sub> . Elaboración propia	70
Tabla 9. Transmitancia Fachada <sub>3.1</sub> Elaboración propia	71
Tabla 10. Transmitancia Fachada <sub>3.2</sub> Elaboración propia	72
Tabla 11. Transmitancia Muro Vivo <sub>1</sub> Elaboración propia	76
Tabla 12. Transmitancia Muro Vivo <sub>3</sub> Elaboración propia	77
Tabla 13. Transmitancia Muro Vivo <sub>2</sub> Elaboración propia	77
Tabla 14. Comparativa de muros y fachadas Elaboración propia	78
Tabla 15. Comparativa de resultados	79
Tabla 16. Comparativa de resultados	79
Tabla 17. Fachada verde, incidencia del viento Fuente: HAAS, E. M.	82
Tabla 18. Fachada de tipo intermedio, incidencia del viento Fuente: HAAS, E. M.	83
Tabla 19. Muro Vivo, incidencia del viento Fuente: HAAS, E. M.	83
Tabla 20. Fachada verde, variación de temperatura Fuente: HAAS, E. M.	84
Tabla 21. Sistema Intermedio, variación de temperatura Fuente: HAAS, E. M.	84
Tabla 22. Fachada verde, variación de temperatura Fuente: HAAS, E. M.	85

