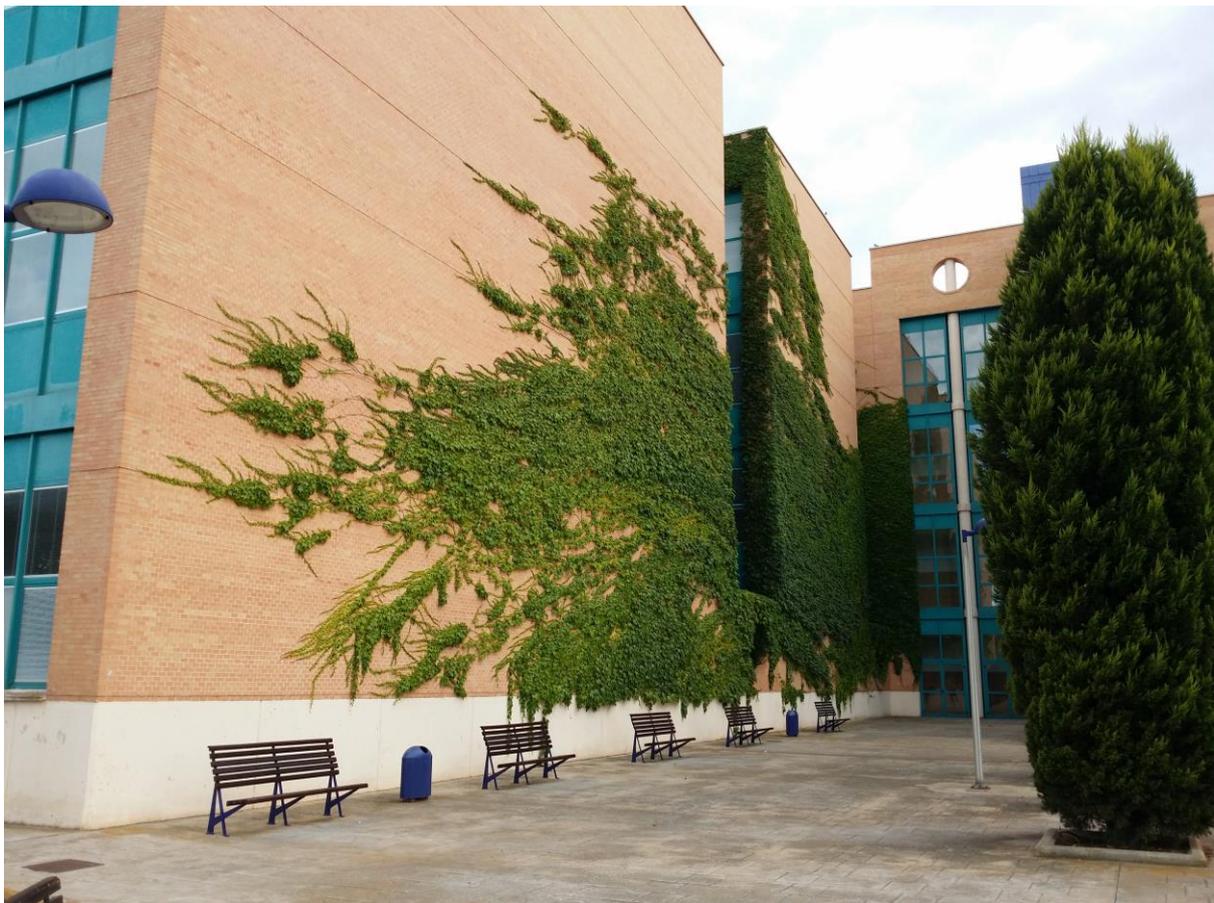


Estudio y aplicación de las fachadas verdes para mejorar la eficiencia energética en edificación

Caso práctico de estudio barrio Cremor, Castellón

2016-2017



Grado en Arquitectura Técnica

Autor: Sergio Martínez Suñer

Tutora: Teresa Gallego Navarro

Resumen

Las técnicas constructivas han evolucionado mucho en los últimos años y debemos utilizarlas junto con los conocimientos que tenemos de la manera más eficiente. Además, las situaciones económicas actuales, junto con las exigencias energéticas, han propiciado un cambio en los mercados. La rehabilitación (energética o no) es ahora una de las ocupaciones derivadas de trabajos en edificación, más habituales.

Si, además, tenemos en cuenta la situación actual del planeta, que refleja WWF en su Informe de planeta vivo (2016), y consideramos los objetivos propuestos para 2020 de reducciones de CO₂, parece el momento oportuno para recuperar el sector de la construcción mediante soluciones más eficientes y respetuosas con el medio.

Aunque el ser humano se ha rodeado de elementos naturales a lo largo de la historia y ha intentado integrarse en la naturaleza, a medida que las sociedades avanzan y se desarrollan, tienden a alejarse de la naturaleza y a crear núcleos que entran en contraste con el entorno natural. La combinación de los nuevos sistemas y conocimientos tecnológicos con los conocimientos heredados de manera inconsciente han dado como resultado la aparición de sistemas constructivos de fachadas vegetales o jardines verticales.

Los efectos positivos que las fachadas vegetales tiene son muchos y van desde los beneficios propios de las zonas verdes hasta los beneficios que le aporta al edificio como protección térmica o los efectos que tiene sobre el entorno.

Conocidos estos sistemas y tanto sus ventajas como sus inconvenientes, en este trabajo, se pretende proponer una solución de fachada vegetal en el barrio de Cremor en la ciudad de Castellón de la Plana, provincia de Castellón (Comunidad Valenciana). Junto con la solución técnica de fachada vegetal escogida, como propuesta para la mejora de la eficiencia energética, se realiza una pequeña propuesta educativa como proyecto de educación y concienciación social.

Índice

Resumen	4
Índice	6
Introducción y justificación	10
Objetivos	14
Objetivo general	14
Objetivos específicos	14
Marco teórico	15
Origen y evolución	15
Edad Antigua	15
Edad Media y Edad Moderna	16
Edad Contemporánea	16
Arquitectura vernácula	16
Ventajas del uso de fachadas ajardinadas o vegetales	18
Ventajas sobre la edificación	18
Protección de la envolvente	18
Reducción de la temperatura	18
Aislamiento e inercia térmica	19
Sombreado y Evapotranspiración	20
Aislamiento acústico	21
Ventajas estéticas y persuasivas	22
Ventajas sobre el entorno	22
Reducción de la isla de calor	22
Reducción CO2	23
Reducción de partículas suspendidas y contaminación	23
Contaminación acústica y ruido ambiental	24
Ventajas sociales	24

Beneficios económico-sociales	24
Sistemas de construcción actuales.....	26
Sistemas cultivados en sustrato orgánico	27
Fachada Verde Tradicional (o de plantas trepadoras).....	27
Fachada verde clásica	28
Fachada verde tradicional de doble piel.....	29
Fachada verde de Contenedores de sustrato	30
Fachada verde de paneles Modulares	30
Gaviones Metálicos.....	36
Celdas Plásticas.....	38
Celdas Cerámicas.....	40
Sistemas hidropónicos	43
Sistema de fieltros geotextiles	43
Sistemas Mixtos.....	47
Paneles modulares.....	51
Otros sistemas.....	54
Maceteros estructurales.....	54
Hormigón vegetal.....	55
Leaf Skin de SingularGreen.....	56
Conclusiones capitulo.....	57
Normativa de aplicación	58
Caso particular de estudio: barrio Cremor	60
Descripción del barrio	60
Identificación de edificios susceptibles de aplicación.....	61
Selección de fachadas de actuación.....	64
Descripción de las fachadas.....	66
Fachada 1: Fachada lateral izquierda c/ Gátova, 4.	66

Fachada 2. Fachada posterior naves c/ Cronista Muntaner, 11.....	68
Conclusiones	69
Selección sistema constructivo	69
Criterios de selección.....	73
Prescripciones de ejecución de obra	75
Normativa de aplicación	75
Consideraciones previas del soporte	75
Consideraciones previas de la instalación.....	75
Proceso de ejecución.....	75
Condiciones de seguridad	76
Control de ejecución	76
Control de obra acabada.....	76
Condiciones de terminación.....	77
Conservación y mantenimiento.....	77
Diagrama de Gantt.....	78
Precio estimado.....	78
Fachada hidropónica	78
Otras estimaciones	80
CONCLUSIONES	82
Conclusiones del trabajo.....	82
Conclusiones académicas	85
Herramientas utilizadas	86
Bibliografía.....	¡Error! Marcador no definido.

Introducción y justificación

El Informe Planeta Vivo constituye un documento exhaustivo que refleja la evolución de nuestra riqueza natural y de la salud del planeta. El último Índice Planeta Vivo (2016) revela una disminución del 58 % de la población mundial de peces, aves, mamíferos, anfibios y reptiles debido a las actividades humanas (entre los años 1970 y 2012). Y esto no es lo más alarmante, dado que la previsión para 2020 según la tendencia indicada es de hasta un 67 % (WWF, 2016).

Por ello, para la fecha citada, la asociación no gubernamental WWF propuso reducir las emisiones de CO₂ al menos en 8 millones de toneladas (desde 2012). Entre otras medidas, para alcanzar estas metas se recomendó impulsar la rehabilitación energética de edificios, concretamente, en 3,3 millones de ellos (Arcia, 2012).

Detrás de los graves problemas señalados se encuentra la mano del hombre: abusamos de los recursos del planeta como si fuesen inagotables, transformamos el entorno sin pensar en las consecuencias para sus habitantes, incluido el propio ser humano. Pero también de su mano puede venir la solución.

A la hora de hacer frente al calentamiento global -el causante del aumento de los niveles en los océanos, de los cambios climáticos, y de un largo etcétera de perjuicios al medio ambiente-, existen tres claves fundamentales: población, economía y energía. La primera de ellas es difícil de controlar y no es considerada a efectos de negociaciones internacionales, en lo que a la limitación del impacto humano sobre el clima se refiere. La economía, desde el punto de vista medioambiental tampoco invita al optimismo. El aumento de lo que podríamos considerar como clase media y la reducción de la pobreza en parte del mundo han contribuido a un mayor consumo de energía. Por el contrario, el tercero de los factores, el de la energía, es aquel que permite mayor grado de contribución.

En este sentido, conviene subrayar cómo la industria ha sido en los últimos años limitada mediante restricciones y derechos de emisión. Sin embargo, el consumo en los hogares (españoles) supone un 50% aproximadamente del total, factor este que resulta más difícil de controlar. Por ello, entre otras medidas como la electrificación del transporte, resulta necesaria la aplicación de políticas locales que permitan reducir el impacto medioambiental. Así, según apunta Luis Balairón, físico y meteorólogo, experto en medio ambiente, sería importante una recuperación del sector de la construcción, orientada a la adaptación de edificios para la mejora de la eficiencia energética (Mediavilla, 2015).

Obviamente, la construcción y todo cuanto atañe al trabajo sobre los edificios implica efectos nocivos para el medio ambiente, debido a que los procesos seguidos tanto en su cimentación como en su rehabilitación, adaptación o mantenimiento requieren de materiales más o menos perjudiciales, a lo que debe añadirse el empleo de medios de transporte contaminantes. Es por ello que tanto desde el diseño a la ejecución, la tendencia debería ser la de seguir el camino de la sostenibilidad: en los materiales, en las soluciones constructivas, en



1. Fachada Edif. Ciclo Integral del Agua, Valencia

los procedimientos y en los equipos utilizados.

A lo largo de la historia el ser humano ha intentado vivir rodeado de la naturaleza y transformar su entorno para mejorar el microclima. Ello ha ocurrido así en el ámbito agrícola, con la modificación del entorno para proteger de vientos las plantaciones o la elección de cultivos que permitan mantener firmes poco cohesionados -unidos o mediante patios ajardinados; pero también en las grandes y pequeñas urbes, donde se ha perseguido la creación de jardines que sirviesen de pulmón a la población. Ahora, además, los avances tecnológicos nos permiten crear nuevos y mejores jardines: las fachadas vegetales.

Tras analizar algunos ejemplos en edificaciones existentes (*Central Operativa de Saneamiento CICLE INTEGRAL DE L'AIGUA - Ajuntament de València-, Caixa fórum-MADRID-, Edificio Planeta Barcelona, o la Facultad de ciencias tecnológicas y experimentales de la UJI*) y sentir lo que transmite este tipo de elementos funcionales y a la vez ornamentales, surgió la idea de trasladar lo que hasta ahora se lleva realizando a pequeña escala en edificios singulares, a la edificación residencial. Con ello, se conseguirían una serie de beneficios sobre las edificaciones, los barrios, las ciudades y sus habitantes. En primer lugar, su adopción supondría la apuesta por una estrategia sostenible que serviría para concienciar a la población y acercarla a estos nuevos conceptos, así como para promover una transición hacia costumbres más respetuosas con el medio. En segundo lugar, la renovación de fachadas ciegas de aspecto descuidado de los barrios de las ciudades contribuiría a la eficiencia energética, en la medida en que mejoraría el comportamiento del edificio.



2Edificio CaixaForum, Madrid

Además, esta solución ejercería un impacto positivo en el ecosistema, a través del proceso biológico de la materia vegetal, e incluso sobre las personas; ya que, como han demostrado diversos estudios, las vistas a zonas ajardinadas y espacios verdes contribuyen significativamente al bienestar de los residentes.



3Edificio ESTCE, UJI

En relación con lo anterior, teniendo en cuenta cómo las funciones orgánicas de las plantas repercuten directamente sobre el medio ambiente, no resulta descabellado pensar que con ellas

podamos modificar el microclima de los edificios; e incluso, a una mayor escala, el topoclima de las ciudades. Sendos efectos pueden ser explotados aunando dos elementos: vegetación y edificación. Pues la utilización de elementos vegetales en la envolvente de las construcciones propicia la evapotranspiración y la fotosíntesis: características estas que mejoran el comportamiento de las viviendas, renovando el aire y aumentando la humedad, contribuyendo así, en última instancia, a la creación de un nuevo microclima (Ochoa, 1999).

Objetivos

Objetivo general

El objetivo de este trabajo es analizar la renovación de las fachadas de medianería por fachadas vegetales y sus efectos, mediante un proyecto concreto aplicado a un barrio de Castellón, apoyado en la propuesta de un sistema constructivo vegetal escogido en función a sus características. Con ello se pretende tomar conciencia de los efectos que este tipo de fachada pueden tener tanto en el edificio como en el entorno.

Objetivos específicos

- Conocer, estudiar y clasificar las soluciones técnicas del mercado para fachadas vegetales
- Realizar un estudio comparativo de las soluciones constructivas para fachadas vegetales
- Dar a conocer las ventajas y desventajas de las fachadas vegetales
- Aplicar estas soluciones en un caso práctico en el barrio de Cremor
- Analizar los resultados de este caso práctico para promover la regeneración urbana
- Conocer la influencia de las fachadas vegetales en el medioambiente
- Definir soluciones, en el ámbito de la edificación, para contribuir a alcanzar los objetivos propuestos por WWF para reducir las emisiones de CO2

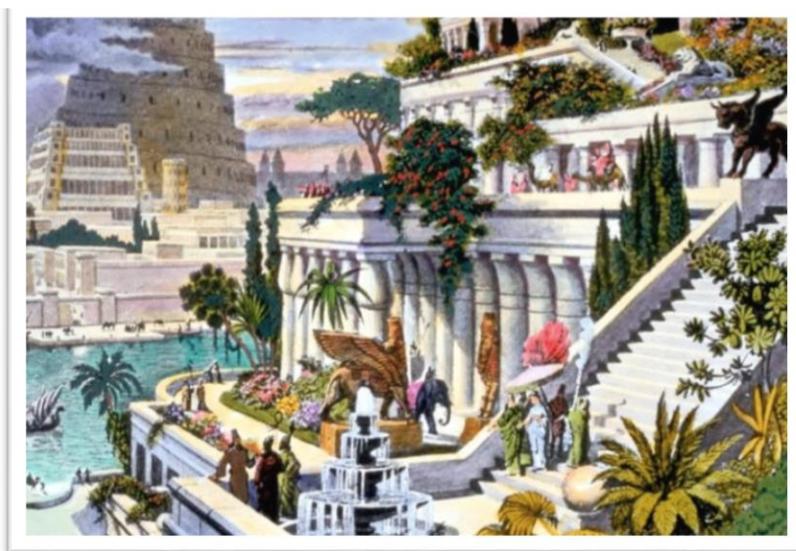
Marco teórico

Origen y evolución

Edad Antigua

El ser humano siempre ha tendido a rodearse de elementos naturales cuando la evolución lo alejaba de esto. Su contribución en la modificación de la naturaleza sin fines agrícolas fueron los jardines, rodeando de ellos sus palacios, casas y ciudades.

Dada la naturaleza vegetal de los elementos que componen los jardines -ya que entendemos al jardín como predecesor de la fachada vegetal-, resulta difícil determinar su origen. En cualquier caso, contamos con referencias literarias, tejidos y obras de arte, entre otras fuentes, que permiten documentar su existencia. Así, perviven testimonios escritos que certifican la existencia de jardines desde tiempos remotos, como es el caso de los Jardines Colgantes de Babilonia (construido entre 605 a. C.-562 a. C.) -una de las siete maravillas del mundo antiguo-, en los que se nos dice cómo en esta urbe ascendían balcones a lo alto de todo el templo (hasta 90 m), de los cuales colgaban jardines complejamente regados (Ochoa, 1999).



4. Jardines Colgantes de Babilonia, Pintura de Martin Heemskerck, s. XVI

Aunque el uso de jardines es mucho más generalizado, inclusive en cubiertas, no es hasta más tarde cuando parece que se empiezan a utilizar los elementos de jardín para refrescar no solo superficies grandes, como jardines de templos o palacios, sino también viviendas. En el año 500 a.C., en los patios traseros de los palacios de la región mediterránea se utilizan elementos vegetales, tales como la parra, para cubrir pérgolas, así como plantas trepadoras para las fachadas (Ochoa, 1999) (Köler, 2008).

Edad Media y Edad Moderna

Durante la Edad Media, observamos el empleo de vegetación (por ejemplo, plantas trepadoras) para aligerar la pesada estructura de los edificios resueltos con mampostería, como otra muestra de la combinación de vegetación y construcción (Köler, 2008). Pero es en el Renacimiento, como transición entre la Edad Media y la Edad Moderna, cuando al retomar los cánones romanos, cuando realmente se vuelve a recurrir a la mezcla de vegetación y arquitectura. Pueden recordarse, en este sentido, los jardines romanos o las pérgolas con vegetación en los patios (Fernández, Pérez, & Franco, 2013).

Edad Contemporánea

Más tarde, en Europa, en la primera mitad del siglo XX, se optará por la búsqueda de la armonía y la integración del edificio en su entorno natural: se trata del movimiento conocido como “ciudad-jardín”. Asimismo, hacia la segunda década del siglo XX, los movimientos americanos y británicos de ciudad-jardín promovieron el uso de pérgolas y enrejados con plantas trepadoras.

Más adelante, en el año de 1988, aparece el sistema de cables de acero inoxidable para fachadas vegetales y, a principios de los años 90, este sistema evolucionará para crear mallas no únicamente cuadradas. Además, simultáneamente, se creará en Norteamérica el sistema de paneles modulares de enrejado (Green Roofs for Healthy Cities & Green Screen, 2008).

Arquitectura vernácula

La arquitectura vernácula tiene una gran importancia como antecedente por sus peculiares características, pues, en esta, se aprovechaban los materiales locales y sostenibles para adaptar sus edificaciones al entorno.

La barraca valenciana, por ejemplo, es un caso de arquitectura vernácula propia de la zona de Valencia. Esta edificación se sirve de materiales abundantes en su entorno, tales como cañas, juncos, barro y carrizos, para construir una vivienda funcional y sostenible que apenas transforma el medio (Casas, 1943).



5. Maqueta Típica Barraca Valenciana,



6. Barraca Valenciana



7. Arquitectura vernácula, Islandia

Pero es en la arquitectura del norte de Europa y de las Islas británicas donde el uso de vegetación de manera tradicional puede ser de mayor relevancia para el caso que nos ocupa. En efecto, la arquitectura característica de estas zonas resuelve los problemas causados por la climatología adversa, cubriendo la envolvente principal de madera o piedra con turba y césped. Esto les ofrece a la vez un ahorro en materiales menos abundantes, como la madera o la piedra, así como la posibilidad de mejorar el comportamiento térmico de las construcciones (García, 2015).

En resumen, este breve panorama muestra cómo en la historia del ser humano se aprecia una clara relación entre la vegetación, la arquitectura y su influencia en el clima o microclima. Por ello, si unimos el conocimiento heredado de las antiguas soluciones intuitivas a los avances tecnológicos y constructivos resulta posible mejorar nuestra actual construcción, que tiempo atrás se alejó de la tradicional.

Ventajas del uso de fachadas ajardinadas o vegetales

Son muchos los ámbitos en los que las fachadas vegetales, como cualquier otro tipo de jardín, influyen positivamente. Aunque existen una gran variedad de sistemas constructivos -y en función de esto obtendremos unas u otras ventajas-, el uso de fachadas vegetales aporta un conjunto de beneficios a distintos niveles que han sido demostrados por numerosos estudios.

Ventajas sobre la edificación

Protección de la envolvente

La existencia de una segunda piel, como es la fachada vegetal, protege la hoja principal de diferentes agresiones y, por ello, parece obvio que aumentará su vida útil.

Es un uso común el sombreado para evitar la radiación solar directa: así, las fachadas ventiladas, por ejemplo, se sirven de este principio. El retraso de la transmisión del calor a las caras interiores reduce la temperatura de la superficie de estas, lo que produce menos cambios de temperatura, reduciendo al tiempo las dilataciones y contracciones térmicas. Esta protección por sombreado vegetal es superior al sombreado proporcionado por otros sistemas de fachadas ventiladas; ya que los materiales de los que se componen se calientan y acumulan temperatura que se queda entorno al edificio, en contraposición con lo que ocurre con las plantas que, mediante la evapotranspiración, refrescan el entorno y no acumulan temperatura (Carrera, 2011).

Por otra parte, existen otros factores no tan evidentes que producen desgastes en los edificios como es la acción del viento o la escorrentía de las aguas pluviales. Estas últimas, generan principalmente problemas estéticos por manchas y otras patologías.

Por tanto, la adopción de un sistema vegetal como fachada protegería al edificio de las acciones del viento, absorbida por la vegetación, que es un organismo vivo que se regenera. Esta, actúa de protección contra la erosión y el desgaste producidos por el viento y las partículas que pueda contener. También, los efectos de escorrentía debido a las lluvias, se ven mitigados por la piel vegetal, principalmente por la absorción por parte del sustrato, reduciendo así el volumen de agua de escorrentía.

Reducción de la temperatura

Las fachadas vegetales, de manera natural, evitan los contrastes de temperatura entre interior y exterior, produciendo mayor estabilidad térmica. Son varios los estudios realizados sobre cómo afecta la capa de vegetación que cubre la fachada. Así, (Navarro, 2013) afirma:

En entornos cálidos, la presencia de vegetación puede llegar a refrescar la temperatura de 1 a 5°C. Se calcula que una reducción del 5°C de la temperatura exterior adyacente podría suponer ahorros en refrigeración de cerca de un 50%. (pág. 64)

Aislamiento e inercia térmica

La existencia de una segunda piel vegetal retrasa la transmisión del calor hacia el interior, como ya hemos dicho, pero, además, su efecto se ve aumentado por la colocación de la hoja vegetal. Es decir, al crear la cámara aislante en la parte externa del muro de la construcción, estamos maximizando su efecto aislante, ya que un aislante es más efectivo cuanto más hacia el exterior se instale. Además, podemos considerar que esta cámara está refrigerada por la evapotranspiración vegetal (Carrera, 2011)

Con la capa vegetal se puede llegar a evitar entre la mitad y el 90 % de la radiación recibida, lo cual, especialmente durante el verano, puede suponer un gran ahorro energético. Si, además, la especie vegetal es de hoja perenne, en invierno podremos aprovechar el efecto aislante de las plantas, que puede suponer hasta un 30% (Navarro, 2013).

Así, por ejemplo, en Alemania, se realizaron varios estudios para identificar y evaluar los beneficios de enfriamiento de las fachadas vegetales. La comparación de un muro sin protección vegetal con otro que sí lo estaba dio como resultado diferencias de entre 2 y 6 °C (Pascholino & Lourenço, 2017).

Asimismo, Yolanda Soria, en su trabajo final de máster ha elaborado una tabla con datos relevantes sobre la transmitancia y resistencia térmica de las fachadas vegetales:

DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE REVESTIMIENTO VEGETAL.	λ (W/ mK)	e (m)	R (m ² K/W) Expresión 5	R _T (m ² K/W) Expresión 4
FIeltros Geotextiles (FI)				
Panel de PVC espumado de 20mm.	0,0850	0,0200	0,2353	0,87
Dos capas de geotextil de 1,5mm + 1,5mm	0,0600	0,0030	0,0500	
Capa de vegetación.	0,1200	0,0700	0,5833	
MODULARES CON PANELES (PA)				
Panel modular de polipropileno 15mm	0,2200	0,0150	0,0682	0,94
Relleno de sustrato 135mm	0,5200	0,1350	0,2596	
Capa de fieltro 1,5mm	0,0600	0,0015	0,0250	
Capa de vegetación.	0,1200	0,0700	0,5833	
GAVIONES (GA)				
Saco base de tela de fieltro 1,5mm	0,0600	0,0030	0,0500	0,92
Relleno de sustrato 150mm	0,5200	0,1500	0,2885	
Capa de vegetación.	0,1200	0,0700	0,5833	
Expresiones utilizadas en la tabla	Expresión 4 : $R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$; Expresión 5 : $R = \frac{e}{\lambda}$			

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

Tabla 1. Cálculo de RT de distintos sistemas de fachada vegetal

Sombreado y Evapotranspiración

Tal vez el mayor de los beneficios que le aporta una fachada vegetal a un edificio son los derivados del sombreado y la evapotranspiración, como afirma Urbanarbolismo:

Las trepadoras adheridas a la fachada de un edificio permiten reducir la radiación térmica que recibe la superficie disminuyendo su temperatura entre 8 y 18°. La utilización especies caducifolias permite recuperar completamente la exposición al sol en invierno, cuando es realmente necesaria. Algunas especies como la parthenocisus tricuspidata son especialmente eficaces en la cubrición de muros sin generar un sobrepeso excesivo (Urbanarbolismo, s.f.).

Por lo que reduciendo la temperatura del elemento que protege la vegetación disminuye aquella transmitida al interior y retrasamos los tiempos de pérdidas de calor.

Por otra parte, la evapotranspiración es el fenómeno que engloba otros dos que ocurren por separado: la evaporación y la transpiración. Entendemos por evaporación el paso del agua (o humedad) de estado líquido a gaseoso (vapor de agua), de distintas superficies o elementos (suelo, lagos, edificios, ...). Si hablamos de transpiración nos referimos al mismo fenómeno (perdida de humedad en forma de vapor de agua) pero en relación con tejidos vegetales (Allen, Pereira, Raek, & Smith, 2006).

Javier Manzanero afirma en su artículo, “La fachada Vegetal de Jean Nouvel”: “La transpiración propia de las plantas mejora el contenido de humedad del aire, absorbiendo el exceso y evaporando agua cuando la sequedad ambiental es excesiva” (Manzanero).

Como ya hemos dicho, los elementos vegetales, por sombreado, evitan el calentamiento de las superficies de las ciudades, contribuyendo a la reducción de la temperatura, pero es en la evapotranspiración donde es más relevante este enfriamiento del clima, a causa de la liberación de humedad al ambiente durante este proceso (Ochoa, 1999).

Son varios los estudios realizados al respecto. Así, por ejemplo, podemos destacar la existencia de un experimento llevado a cabo en Madrid, con el fin de aclarar los mecanismos que influían en el uso de fachadas vegetales. Considerando diversos factores, sus autores llegaron a la conclusión de que se había creado un microclima caracterizado por menores temperaturas y mayor humedad (Pascholino & Lourenço, 2017).

Otros estudios comparativos entre fachadas vegetales y muros descubiertos, en zonas urbanas de Nagoya (Japón), donde la temperatura del aire es de 40°C en verano, concluyeron que el efecto del sombreado y la evapotranspiración era realmente relevante para reducir la temperatura transmitida por fachadas y otros elementos urbanos. Así, lograron demostrar, entre otros datos, que el potencial de refrigeración de un parking cubierto vegetalmente era de 2°C a 4°C de reducción de temperatura (Pascholino & Lourenço, 2017).

Aislamiento acústico

El acabado vegetal, junto con el sustrato, reduce el ruido mediante la absorción de las ondas (por el sustrato) y la reflexión producida por la vegetación (SingularGreen).

A partir de un estudio realizado por Wong Nyuk Hien se determinaron los diferentes niveles de absorción y atenuación acústica, comparando 8 tipos diferentes de jardines vegetales. En altas frecuencias (entre 4 y 10 kHz), la reducción oscilaba entre 2 y 4 dB, dependiendo del sistema. En medias y bajas frecuencias (125 a 1250 kHz), la reducción obtenida fue de 5 a 10 dB. Además, el coeficiente de absorción acústica o coeficiente de reducción de ruido (NRC) de la capa vegetal (0,23) y el sustrato resultaron superiores a los de los materiales habituales, como el hormigón (0,07) o el vidrio (0,03), lo que supone una mayor absorción y atenuación del ruido, así como una mejora del comportamiento acústico de la fachada (Soria, 2013) que supone un claro beneficio del entorno.

Por otra parte, son varias las condiciones que se deben reunir para que el aislamiento sea significativo. En primer lugar, no todos los sistemas contienen un sustrato con suficiente inercia térmica (por ejemplo, los sistemas hidropónicos). Además, en segundo término, debe

garantizarse que no exista espacio entre elementos diferentes, como en los sistemas de doble piel con cámara de aire. Sin embargo, no son muchos los estudios que reflejen datos relevantes al respecto (Carrera, 2011).

Ventajas estéticas y persuasivas

Aunque los actos vandálicos no están sujetos a objetivos específicos ni finalidad determinada, este tipo de fachadas puede ser pertinente contra cierto tipo de actos como las pintadas, ya que, sobre la materia orgánica no resultan efectivas las pinturas. Además, en cualquier caso, la propia naturaleza de la materia orgánica finalmente resolvería el problema con el paso del tiempo, como organismo vivo que es (Carrera, 2011).

Otra ventaja o aplicación relevante de este tipo de fachadas es el de la mejora estética. Como afirma Álvaro Carrera (2011) en su estudio:

Esto es evidente en el ámbito de la rehabilitación de edificio, como por ejemplo para la mejora visual de antiguas fachadas medianeras generalmente poco agradables estéticamente, u que están al descubierto o para mejorar el aspecto de las fachadas traseras de las edificaciones modernas, a menudo feas y sombrías (pág. 96)

Ventajas sobre el entorno

Reducción de la isla de calor

En los entornos urbanos, el aumento de las temperaturas derivadas del cambio climático - asociado, entre otros motivos, al aumento de las emisiones de CO₂-, se ve agravada en las urbes a causa de la ausencia de zonas verdes, del efecto de los gases invernadero y de la retención del calor por las construcciones. Este efecto se conoce como isla de calor (Pacheco-Torgal, Labrincha, Cabeza, & Goeran Granqvist, 2015).

Por este motivo surge la necesidad de mitigar estos efectos, lo que atañe especialmente a los técnicos de sector urbanístico y de la construcción, responsables de la posible reducción de las temperaturas sobre los espacios urbanos, en lo que a los edificios se refiere (Pacheco-Torgal, Labrincha, Cabeza, & Goeran Granqvist, 2015).

En este sentido, Pacheco-Torgal, *et al.* (2015) reflejan que el 60% de las superficies urbanas son ocupadas por pavimentos y tejados, los cuales contribuyen significativamente en la absorción de la radiación solar en estos entornos. Si tenemos en cuenta que no se contemplan las fachadas, la superficie que contribuye al aumento del efecto isla de calor se ve aumentado. Y es aquí donde radica la importancia de las fachadas vegetales para la mejora del entorno, en su potencial como reductores de la isla de calor, sombreando zonas de los edificios, evitando así que capten radiación solar y, a su vez, disminuyendo las cantidades de CO₂ en su ciclo vital.

Por eso, aunque un único elemento aislado no constituye un efecto significativo sobre la temperatura ambiental, el conjunto de diferentes elementos vegetales supone una reducción de la temperatura ambiental gracias a las sombras proyectadas por esta (Ochoa, 1999).

Reducción CO₂

Aunque en términos generales no podemos hablar de aumentar o disminuir el oxígeno terrestre global, si lo trasladamos a una escala urbana podemos hablar de regular el equilibrio de gases en el aire. Las plantas, en su ciclo vital, mediante la fotosíntesis, liberan el oxígeno del CO₂ derivado de las combustiones urbanas y de la descomposición de materia orgánica. Esto produce una regulación de los gases, dado que en los núcleos urbanos la concentración de CO₂ llega a niveles altísimos. Por el contrario, como reflejan investigaciones realizadas en Frankfurt, la concentración de O₂ se reduce entre un 17% y un 18% (Ochoa, 1999).

Reducción de partículas suspendidas y contaminación

La polución es el conjunto de gases y residuos que contiene en este caso el aire, derivados de procesos industriales o biológicos (RAE). Y la vegetación de las fachadas vegetales, como cualquier otra vegetación, puede jugar un papel importante en la purificación del ambiente. Como afirma José Manuel Ochoa (1999) en su tesis doctoral:

Puede empezarse el mismo, considerando que la vegetación es un elemento estimable como purificador de la atmósfera urbana, desempeñando varios papeles, unos más eficazmente que otros: como indicador biológico de la presencia de contaminantes peligrosos, como absorbedor de sustancias contaminantes o bien como filtro de partículas sólidas suspendidas en el aire, además de la producción de oxígeno mediante la fotosíntesis y la depuración bacteriana. (pág. 2.29)

Las partículas suspendidas en el aire se adhieren a la planta o se depositan en ella por gravedad (las más grandes). Si además se produce rocío, este efecto mecánico se ve potenciado, ayudando a captar más partículas todavía (Navarro, 2013).

Según la teoría que afirma que la evapotranspiración genera un campo electrostático de atracción, las partículas más pequeñas, que se encuentran en su mayor parte electrizadas, son atraídas por la superficie vegetal cargada, gracias a la evapotranspiración (Ochoa, 1999).

También debemos mencionar que las plantas pueden metabolizar gases que podrían ser tóxicos y se encuentran disueltos en el aire. Aunque no existen muchos estudios al respecto, se sabe que algunas especies pueden metabolizar con normalidad anhídrido sulfuroso. Por otra parte, existen gases que, aunque no sean procesados por las plantas, podrían dañarlas, con lo

que parte de esos gases también desaparecerían. En este último caso, la función de la planta sería más la de indicador que la de purificador (Ochoa, 1999).

Contaminación acústica y ruido ambiental

De los pocos estudios que existen al respecto del efecto aislante y atenuante acústico de las plantas, las conclusiones extraídas son poco consistentes debido a la cantidad de factores que intervienen. En primer lugar, los estudios se han realizado principalmente con árboles y no tanto con fachadas vegetales.

De estos estudios sabemos que el efecto que tienen las plantas sobre el ruido depende del tamaño de las hojas y de la densidad del follaje, principalmente. Además, es más eficaz su efecto sobre este cuanto más cerca de la fuente emisora se halle (Ochoa, 1999).

Pero tal vez, la propiedad que más nos interesa por sus repercusiones sociales, en relación con la contaminación acústica, es la que capacidad que tiene la vegetación, como cualquier otro elemento natural, para camuflar sonidos menos agradables que se encuentran en el entorno. Ya que estos sonidos desagradables o molestos quedan enmascarados por los producidos por las plantas al moverse, por medio de las ramas, las hojas, o las aves que hay entorno a ellas (Akbari, Davis, Dorsano, Huang, & Winnett, 1992).

Ventajas sociales

Aunque podríamos suponer muchas posibles ventajas derivadas del uso de este tipo de sistemas, son difíciles de cuantificar los beneficios sociales que pueden suponer.

Parece obvio que mejorar el aspecto de la urbe con jardines verticales beneficia a la población en cuanto a la tranquilidad que transmiten los espacios verdes. Es difícil cuantificar estos efectos, pero debido a la novedad de los sistemas, sí que podría implicar mejoras económico-sociales.

Beneficios económico-sociales

Como se menciona en la introducción de este trabajo, sería importante una recuperación del sector de la construcción para la renovación y adaptación de los edificios con el fin de mejorar su eficiencia energética. La utilización de estos sistemas nuevos en el mercado podría suponer esta recuperación del sector de la construcción y la aparición de otros sectores derivados de estas tareas, como fabricantes, distribuidores, proveedores, instaladores y mantenedores de todos los elementos que conforman estos sistemas.

Sistemas de construcción actuales

Con la finalidad de escoger la mejor alternativa para la renovación de la fachada objeto de este proyecto, es necesario establecer una clasificación de las distintas tipologías de fachadas vegetales que encontramos en el mercado.

Una fachada vegetal solo necesita tres elementos principales: una especie vegetal, un medio en el que se desarrolle (sustrato) y un método constructivo que le proporcione el soporte. En función de estos tres factores nos encontraremos ante sistemas más o menos complejos y con unas u otras desventajas. Sistema tradicional, plantaciones en sustrato y sistemas hidropónicos son los tres grupos principales de fachadas vegetales (Sheweka & Magdy, 2011).

Dado que, en el sistema tradicional, o de plantas trepadoras, el sustrato utilizado es orgánico -tierra generalmente-, he establecido dos grupos principales: sistemas cultivados en tierra y sistemas hidropónicos.

FACHADAS VEGETALES	TIPO CULTIVO	SISTEMAS CONSTRUCTIVOS	
	PLANTADAS EN SUSTRATO	TRADICIONAL	SISTEMA CLÁSICO
SISTEMA DOBLE PIEL			
CONTENEDORES DE SUSTRATO		GAVIONES METÁLICOS	
		CELDAS PLÁSTICAS	
		CELDAS CERÁMICAS	
HIDROPÓNICOS	PANELES MODULARES		
	FILTRO GEOTEXTIL		
	MIXTOS		
	PANELES MODULARES		
OTROS SISTEMAS	MACETEROS ESTRUCTURALES		
	LEAF SKIN		
	HORMIGÓN VEGETAL		

Tabla 2. Clasificación de Fachadas Vegetales

Sistemas cultivados en sustrato orgánico

Estos sistemas tienen en común la característica de crecer en un sustrato orgánico, como la tierra, que vendrá determinado por la especie vegetal que se utilice en la fachada; ya dependiendo de las características de ésta, tendrá unas necesidades u otras. En este grupo nos encontramos con los siguientes sistemas:

- Sistema tradicional
 - Clásico
 - Doble piel
- Contenedores de sustratos
 - Paneles modulares
 - Gaviones metálicos
 - Celdas plásticas
 - Celdas metálicas

Fachada Verde Tradicional (o de plantas trepadoras)

En este grupo he querido englobar los sistemas constructivos derivados de la fachada verde convencional y tradicionalmente conocida. La principal característica de estos sistemas radica en que es una planta trepadora la que cubre la fachada mediante raíces adventicias, zarcillos foliares, zarcillos caulinareos adhesivos y otros mecanismos (en función de la especie), que les permiten fijarse directamente sobre muros. Esto se debe a que su estructura es débil y requieren de los elementos de su entorno para desarrollarse y buscar la luz. En función de la superficie en la que se desarrolla, directamente sobre la fachada (fachada verde clásica)



8. Fachada edificio ESTCE, junto a cafetería.

o mediante una estructura auxiliar (tradicional de doble piel), hablaremos de un sistema más o menos evolucionado:

- Fachada verde clásica
- Fachada verde tradicional de doble piel

Fachada verde clásica

En este caso la planta trepadora crece, desde el suelo, directamente sobre la pared. La planta trepadora deberá ser escogida en consecuencia, dado que existen diversas especies, las cuales serán más o menos adecuadas en función del clima en el que desarrollarán su ciclo vital.



9. Villa abandonada en china cubierta por plantas trepadoras.

Las ventajas de este sistema radican en su simplicidad. En primer lugar, el beneficio más inmediato que ofrecen, común a cualquier fachada vegetal, es el sombreado. Por otra parte, los costes derivados de la instalación y el mantenimiento son muy bajos. Primero, basta con cultivar la especie trepadora escogida y, respecto al mantenimiento, que es mínimo, por lo general bastará con una poda al año, así como con la limpieza de ventanas y huecos cuando se precise.

Las desventajas, por el contrario, son las siguientes:

- Algunas especies de trepadoras pueden afectar al muro sobre el que se adhieren por sus métodos de anclaje al soporte. Si utilizan raíces adventicias, pueden penetrar por fisuras y grietas; en el caso de zarcillos acabados en ventosas no producen daños graves, pero perjudican la estética dejando las marcas de las “ventosas”, en caso de retirada de la capa vegetal (Navarro, 2013).
- Ofrece pocas posibilidades estéticas ya que no existe una estructura auxiliar sobre la que guiar o cultivar distintas especies.

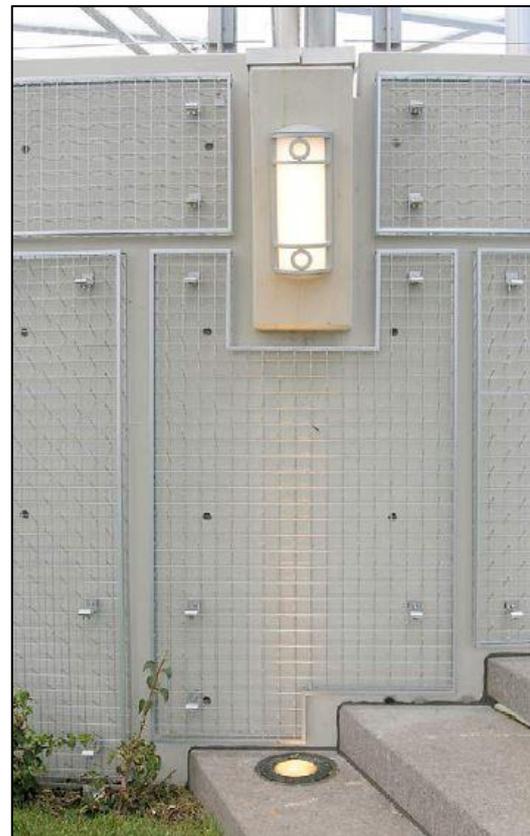
- Inercia térmica: el aislamiento térmico ofrecido por este sistema es significativamente mejor que los sistemas más modernos debido, principalmente, a la inercia térmica, que se ve muy poco incrementada (Carrera, 2011).
- El tiempo necesario para el crecimiento del tapiz vegetal es muy elevado. Este puede ser el mayor factor limitante de estos sistemas. Manfred Köhler, en unas medidas realizadas por él mismo en seis especies diferentes concluyó que crecían a ritmo de entre 0,7 y 1,5 metros al año (Köler, 2008).

Fachada verde tradicional de doble piel

Para reducir el impacto negativo que supone el crecimiento de estas plantas trepadoras directamente sobre la fachada y propiciarles un mejor medio de desarrollo, existen en el mercado diferentes sistemas constructivos de doble piel. Estos consisten en crear una malla de cables, mallas de acero y enrejados metálicos sobre la que la planta trepadora irá creciendo hasta cubrir la totalidad de la fachada con un tapiz vegetal.



10. Whole Foods - Lincoln Park, IL. Sistema Greenscreen



11. The Yards - Washington, D.C.

Las ventajas de estos sistemas son las mismas que las del sistema tradicional, pero con unas pequeñas mejoras respecto a sus predecesores. Aunque su coste es superior al sistema

tradicional, sigue siendo bajo. Esto se debe a que el coste de instalación y transporte es mínimo y la mano de obra no debe ser especializada. Asimismo, su montaje es simple y rápido, puesto que una vez instalada la estructura diseñada y dimensionada para la superficie a cubrir, no requiere un mantenimiento específico en cuanto a la estructura. Respecto la capa vegetal, deberá ser podada en función de la variedad, generalmente, una vez al año (Carrera, 2011)

Frente a los sistemas tradicionales sin estructura, no agrede el paramento que se pretende cubrir con vegetación, alargando así su vida y mejorando su comportamiento.

La estructura metálica nos permite reconducir las plantas por lo que ofrece mayores posibilidades estéticas que el caso anterior.

En cuanto a las desventajas:

El aislamiento térmico de estos sistemas es como en los sistemas tradicionales. Sigue sin haber ningún elemento con gran inercia térmica, así que este se debe principalmente al sombreado y la evapotranspiración.

Asimismo, el tiempo necesario para el crecimiento del tapiz vegetal es muy elevado. Este puede ser el mayor factor limitante de estos sistemas. Mencionado en el apartado anterior (Köler, 2008).

Las posibilidades estéticas son mayores que en los sistemas tradicionales sin estructura auxiliar, pero su limitación sigue siendo grande. Esto se debe, principalmente, al número de especies que pueden ser utilizadas en estos sistemas.

Fachada verde de Contenedores de sustrato

La característica diferenciadora de este grupo es la generación de un contenedor de sustrato mediante diferentes métodos, dando lugar a diferentes tipologías de contenedores y dimensiones de paneles:

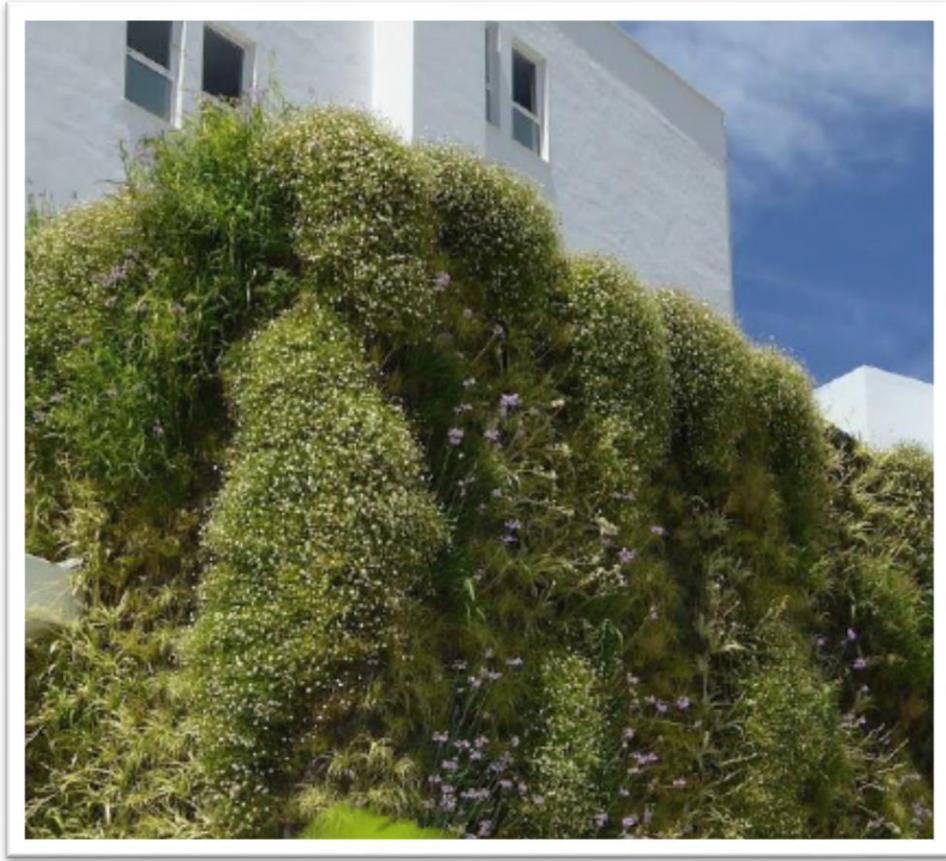
- Paneles modulares
- Gaviones metálicos
- Celdas plásticas
- Celdas metálicas

Fachada verde de paneles Modulares

En este grupo se incluyen los sistemas que permiten la fijación a una estructura metálica auxiliar de diferentes sistemas de celdas, gaviones o módulos de paneles contenedores. Estos contenedores están destinados a contener el sustrato en el que se cultiva la especie vegetal escogida. El sistema de riego dependerá de la solución constructiva adoptada.

Estos son algunos de los sistemas de esta tipología:

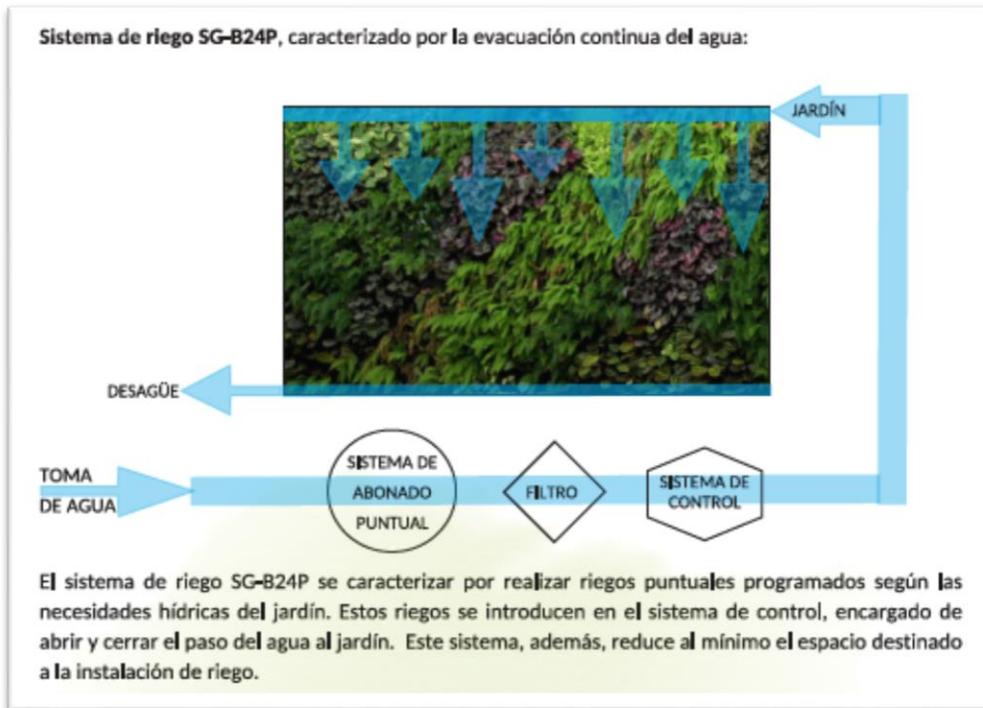
Sistema Leaf Box de SingularGreen



12. Jardín verde montado con sistema Leaf Box de SingularGreen

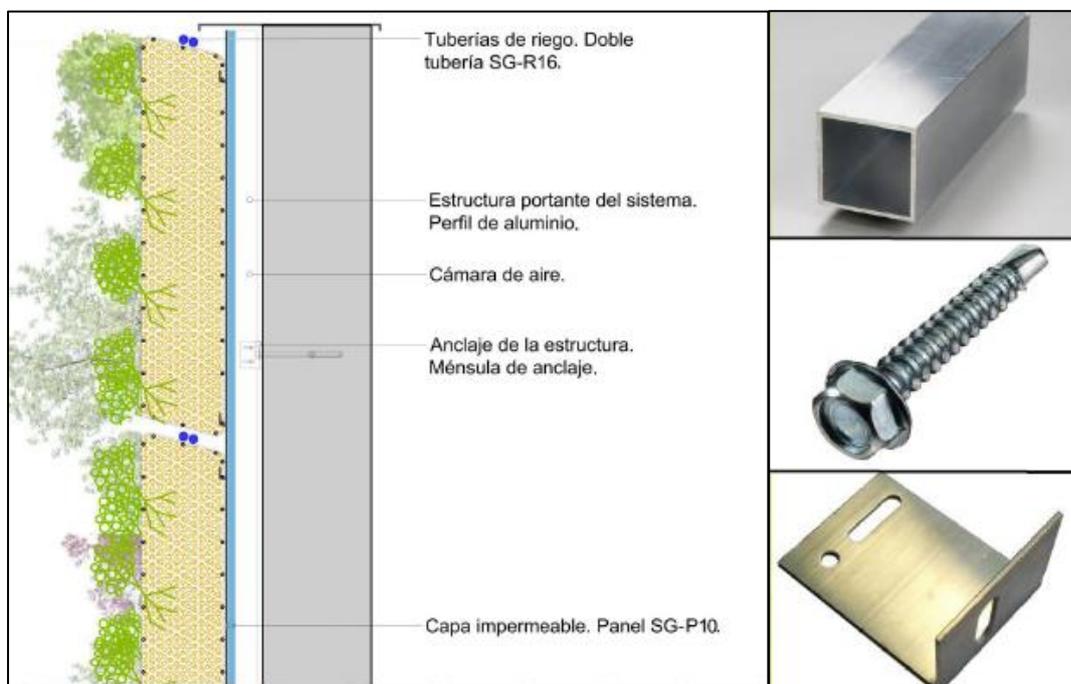
Este sistema está formado por una estructura portante de aluminio, un panel impermeable y un soporte para la plantación formado por un panel de sustrato SG-SPH confinado con una malla metálica plastificada.

En este sistema solo es posible un sistema de riego único que no permite la recirculación del agua, sistema SG-B24P (Imagen 13), distribuyendo una doble tubería por encima de cada hilada de paneles:

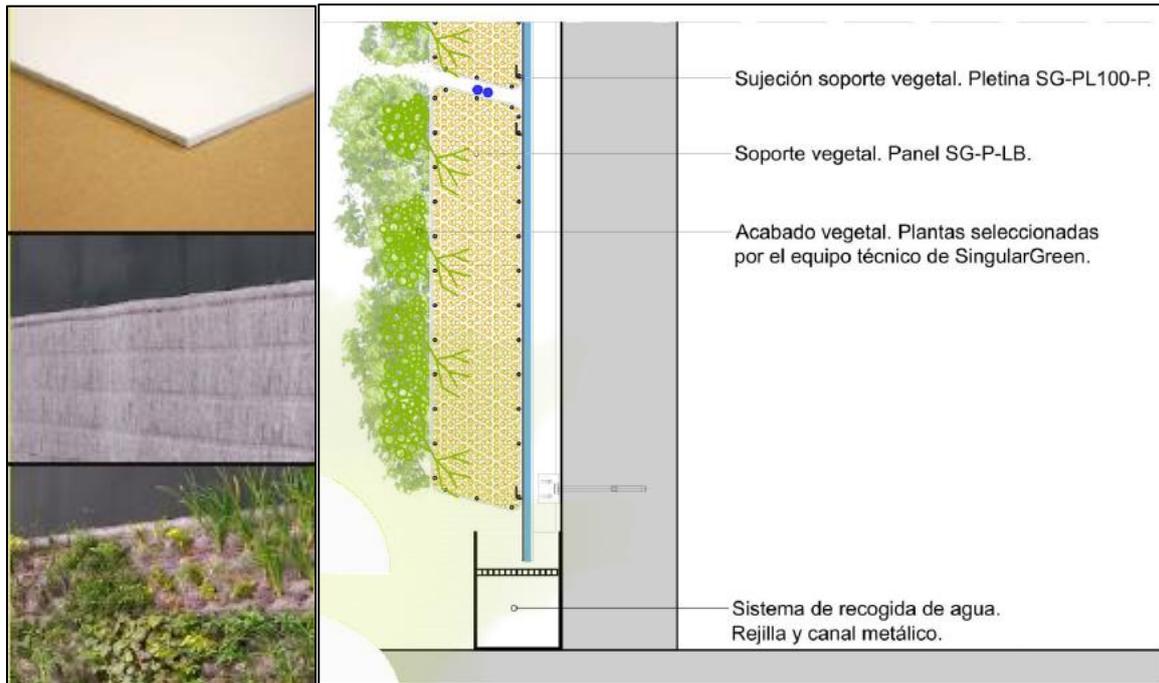


13. Esquema sistema de riego SG-B24P

La estructura portante es la estándar de la empresa SingularGreen, formada por cuadradillos de 40 mm de lado y 3 mm de espesor de acero. Estos se anclan a la pared mecánicamente a través de ménsulas de anclaje dimensionadas según solicitud.



14. Sección Vertical-Encuentro coronación, Sistema LeafBox y detalles sistema de anclaje



15. Sección vertical encuentro inferior, Sistema Lea fBox

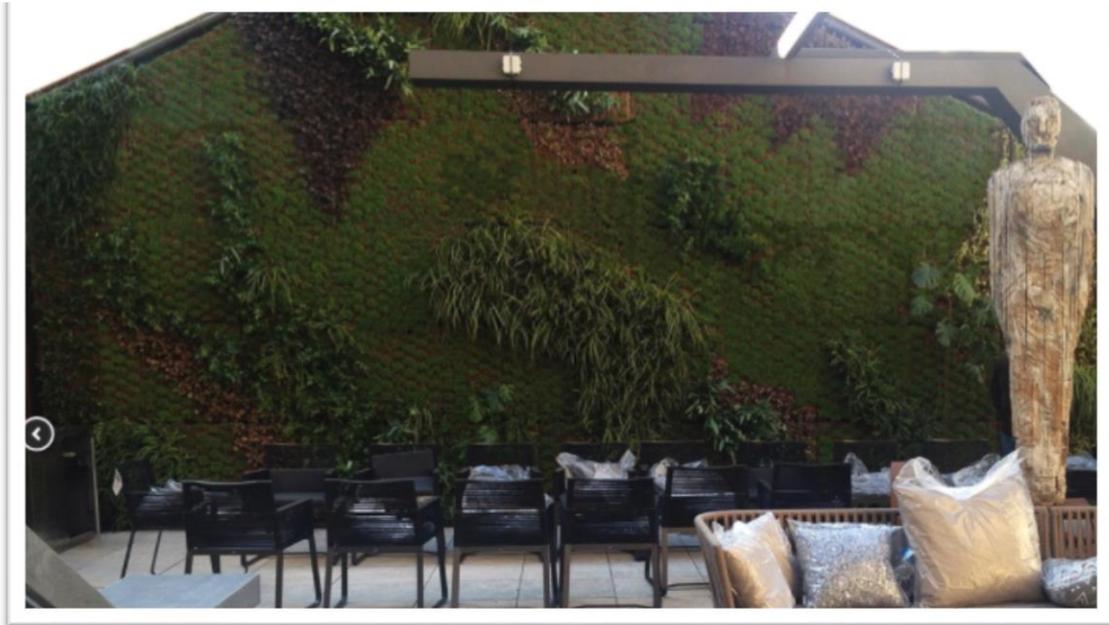
Las ventajas de este sistema son:

- La ligereza de los paneles, debido al origen del sustrato basado en el musgo *sphagnum*, permite la oxigenación de las raíces. Además, este tipo de sustrato es un excelente administrador y distribuidor de la humedad, pues retiene hasta 20 veces su peso en agua, con el consiguiente ahorro en riegos (SingularGreen).
- La facilidad de montaje e instalación de la capa vegetal.

Las desventajas, por otra parte, son las siguientes:

- El sistema presenta algunos inconvenientes como podría ser el valor del suelo, con lo que me refiero al valor del espacio ocupado en planta por el edificio. Al tratarse de una solución que supone un espesor total de fachada considerable, en algunos casos esto nos supondría una merma en metros útiles de edificación.

Sistema Sphagnum MSP90 de Verdtical

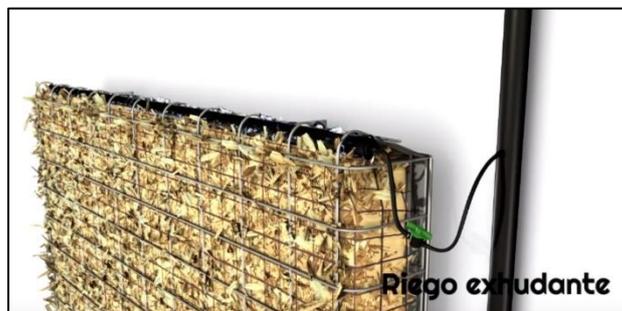


16. Jardín vertical exterior, Sistema Sphagnum MSP90 de Verdtical

Se trata de un sistema de gaviones metálicos desarrollado por Verdtical para grandes fachadas vegetales.

La empresa Verdtical se caracteriza por ser respetuosa con el medio en sus sistemas y procesos industriales. Mediante la utilización de materiales reciclados y la recuperación de desechos para su reutilización logran recuperar en gran medida su huella de carbono.

Este sistema consta de unas ménsulas de anclaje a las cuales se atornillan unos perfiles omega generando una cámara de aire ventilada. A los perfiles omega se anclan mecánicamente los gaviones de sustrato Sphagnum. A los gaviones (Imagen 17) se les suministra el agua mediante riego exudante, individualizado por hiladas de paneles, y se reconduce el agua proveniente de los paneles superiores mediante una lámina de redireccionamiento situada en la parte superior y posterior a cada panel.



17. Gavión de sustrato Sphagnum



18.Detalle riego exhudante y lamina redireccionamiento

En los laterales se colocan los marcos de revestimiento lateral anti-humedades y en la parte inferior del sistema, la bandeja de recogida de aguas.



19. Instalación paneles modulares



20.Estructura portante (omega) y bandeja de recogida

Gaviones Metálicos

Estos sistemas se caracterizan por estar formados por paneles modulares de forma tetraédrica con celdas cuadradas, generalmente pequeñas en los que se introduce el sustrato con la planta precultivada. El sistema es regado por un sistema automático como en los casos anteriores.

Al tratarse de plantas precultivadas el resultado del tapiz vegetal es inmediato al finalizar la instalación.

Babylon®-Vivers ter

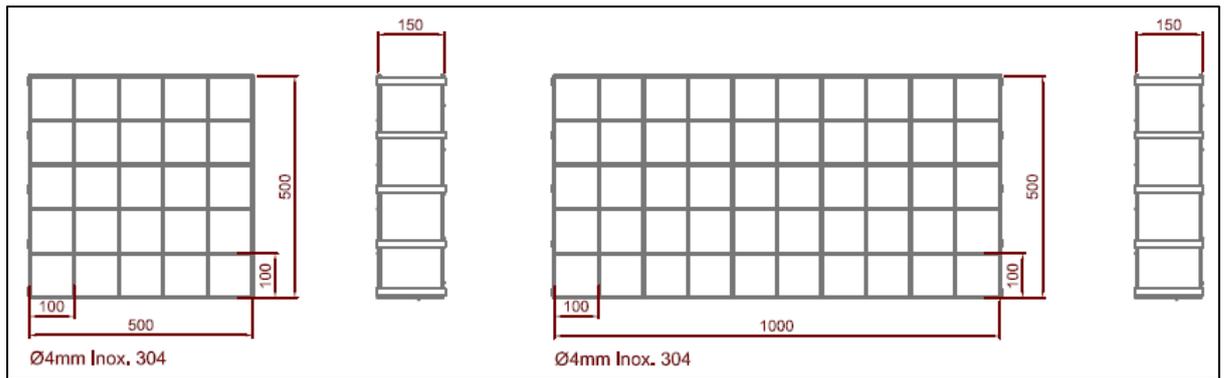


21. Edificio "Espai Tabacalera", Tarragona

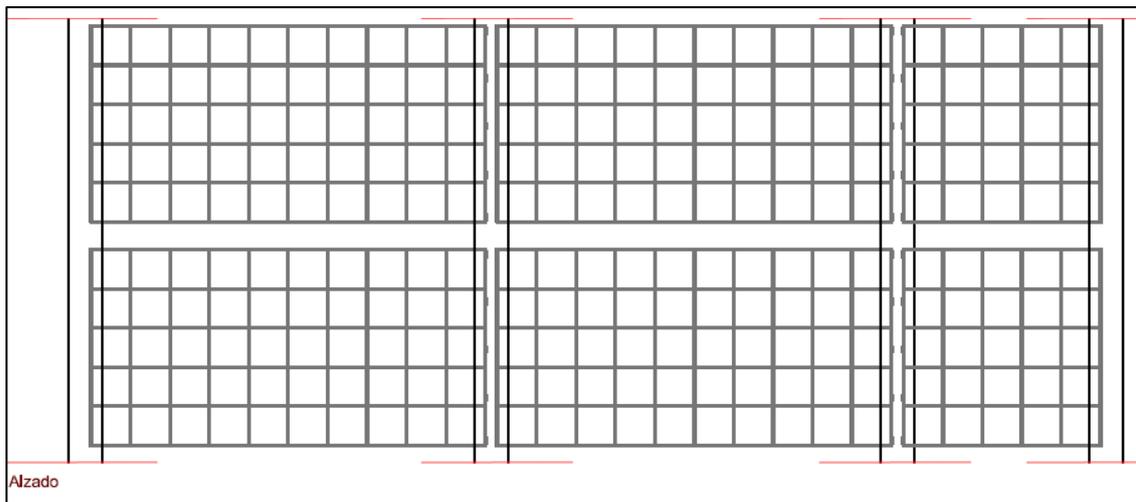
En este sistema, el sustrato, en forma de pequeños sacos, está contenido en unas celdas metálicas cuadradas, de 10x10 cm distribuidas en formato de paneles cuadrados o rectangulares de 50 x 50 cm o 100 x 50 cm. El espesor de los paneles es de 15 cm.

La sujeción de los paneles al soporte se realiza mediante una guía vertical fijada a la fachada o perfilera auxiliar, en cualquiera de estos casos deberá soportar 100 kg/m² ya que es el peso máximo aproximado del sustrato en saturación de agua y plantas.

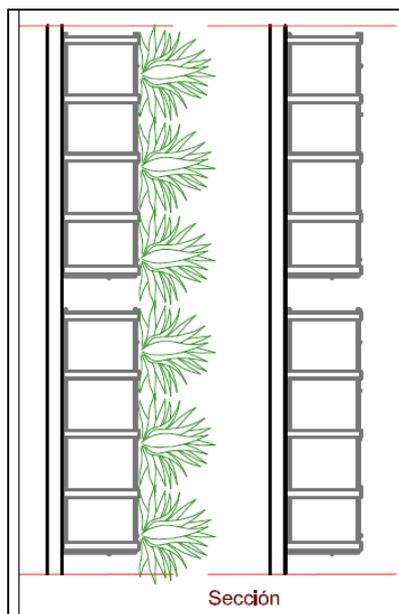
Para garantizar el resultado final, las plantas, escogidas en función del clima y orientación serán precultivadas en viveros. La densidad vegetal de este sistema es de 100 plantas por metro cuadrado.



22. Detalle modulos disponibles en el mercado, sistema Babylon



23. Plano Alzado de fachda con modulos Babylon



24. Sección vertical Modulo Babylon

Celdas Plásticas

Estos sistemas se caracterizan por estar formados por paneles modulares, de resinas generalmente recicladas, de polietileno, divididos en celdas en las que se instala el sustrato para el cultivo de las plantas.

Los paneles van colgados de una estructura auxiliar metálica que dependerá del sistema constructivo concreto con el que trabajemos.

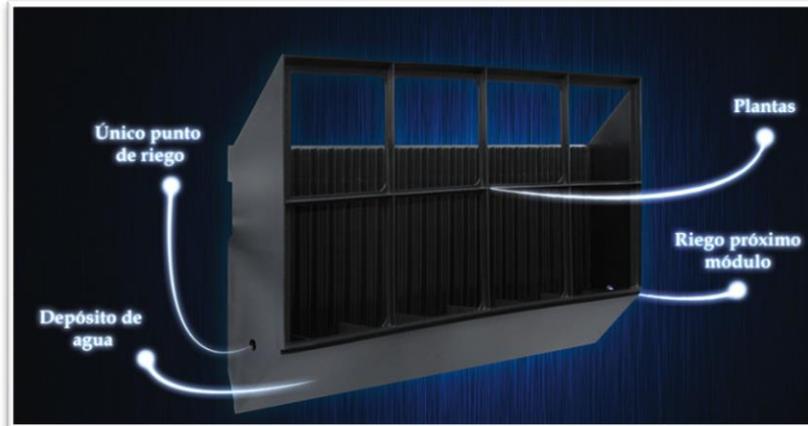
Fachada Natura® de Paisaje Vertical S.L.



25 Fachada Natura, jardín privado.

La principal ventaja de la fachada Natura® de Paisaje Vertical S.L. radica en ahorro que se produce en el riego debido al diseño patentado de sus celdas plásticas. Los paneles Naturpaneles® Aljibes son desmontables y ensamblables entre ellos. Cada panel cuenta con un medio en el cual se desarrollan las plantas y un depósito bajo éste en el cual se acumula el agua con los fertilizantes necesarios.

En el aljibe se sitúan una serie de tabicas, sobre las cuales se apoyan unas pletinas y sobre éstas, dos sacos que contienen el sustrato. Los sacos con el sustrato se introducen por la cara superior de los paneles, entrando en contacto con unos fieltros introducidos en el aljibe y que funcionan como mechas que absorben el agua y mantienen el sustrato en las condiciones de humedad necesarias que demanda cada tipo de planta. La vegetación emerge a través de la rejilla que forma la parte delantera (Paisaje Vertical, s.f.).



26. Panel celda plástica Naturpanel Aljibe



28. Jardín Vertical Natura, de Paisaje vertical

El suministro de agua al conjunto se realiza por un único punto de entrada situado en uno de los paneles extremos de la parte superior. Cuando el agua alcanza el punto máximo del depósito empieza a salir por el otro extremo, llenado el depósito contiguo y así sucesivamente hasta que todos los paneles están anegados. Una vez que el depósito de un panel está lleno, la planta, por capilaridad, absorbe la cantidad necesaria de agua, lo que supone un ahorro considerable.

En todos los casos, los Naturpaneles® Aljibes se apoyan sobre perfiles horizontales debidamente fijados a la propia fachada del edificio o, en los casos que así se requiera, a una perfilera auxiliar vertical que asegure su sujeción.

Los paneles se suministran e instalan precultivados para dejar la fachada terminada tras el montaje de estos.

En la fotografía inferior se aprecia el perfil de aluminio sobre el que se cuelgan las celdas y la conexión de riego entre los aljibes de cada panel.



27. Instalación Fachada Natura, riego y sustrato ya instalados.

Celdas Cerámicas

Este innovador sistema fue desarrollado por Urbanarbolismo y se distribuye e instala por SingularGreen, ambas empresas pertenecientes al mismo grupo.

Se caracteriza por ser un sistema de celdas cuyos módulos están realizados con cerámica a modo de contenedores de sustrato para albergar la especie vegetal escogida para la solución.

Sistema Eco Bin de SingularGreen



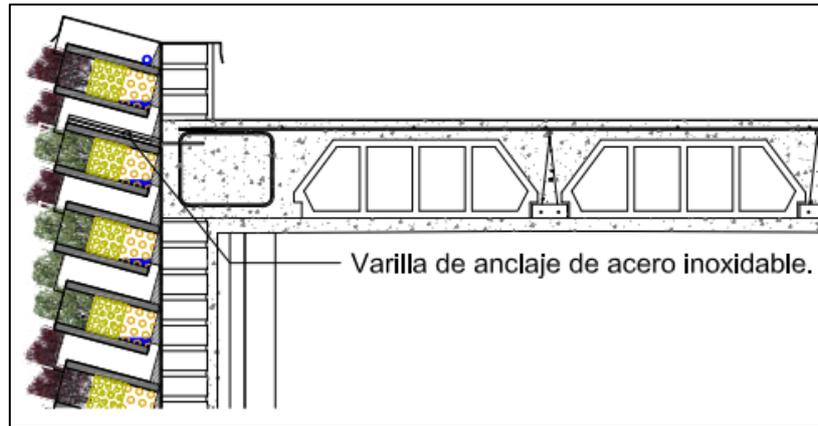
29. Hotel Ushüaia, Ibiza. Sistema celdas cerámicas, EcoBin



30. Módulo Cerámico EcoBin
Sustrato SG-SPH
Plot SG-m8

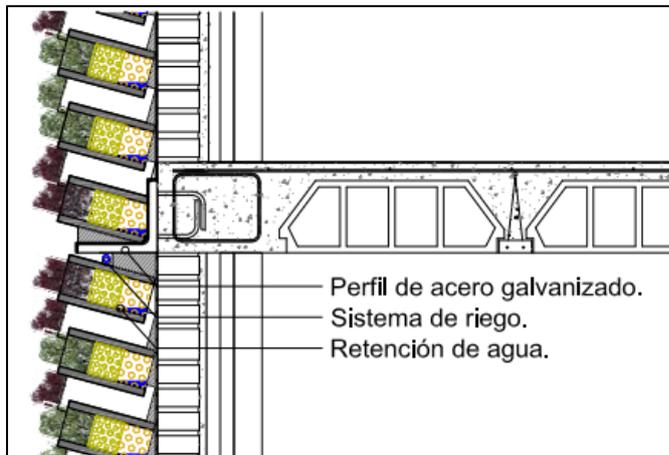
Este sistema está formado por unos módulos botellero, de fábrica cerámica hidrófuga -Fábrica de Módulos EcoBin-, con diámetro interior de 90 mm y forma exterior hexagonal. Cada uno de estos módulos está formado por dos celdas. Al soporte original se ancla la estructura portante que a la vez genera, si todavía no existe, la cámara de aire. Esta estructura está formada por cuadradillos de aluminio de 40 mm de anchura anclados al paramento o soporte existente. Para realizar la unión entre montantes y soporte se utilizan ménsulas de anclaje de acero inoxidable dimensionadas en función de las solicitaciones de viento.

A la estructura portante se ancla mecánicamente un panel de PVC de 10 mm de espesor cuyas juntas son selladas con masilla de poliuretano. Sobre este, se grapa la membrana geotextil de doble capa a modo de lámina de redireccionamiento de riego.



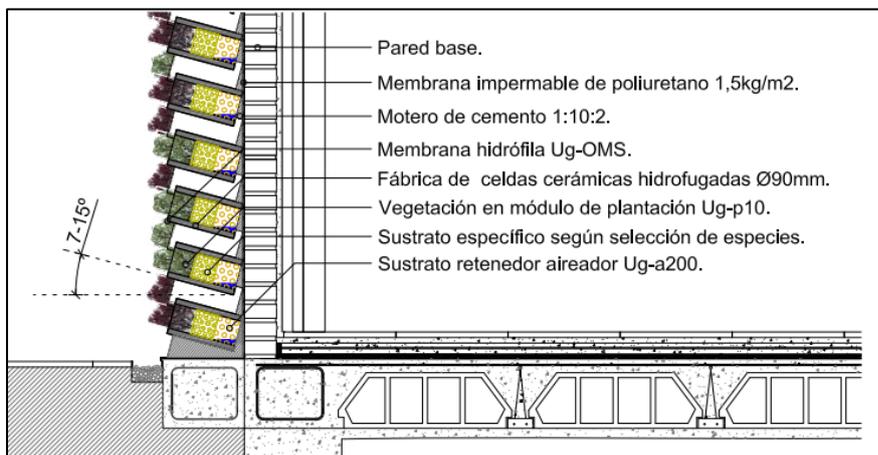
31. Sección Vertical encuentro coronación Sistema EcoBin

El soporte vegetal de módulos cerámicos se instala como una fábrica de ladrillo cerámico habitual. La inclinación de las piezas deberá estar comprendida entre 7 y 15° favoreciendo la retención del sustrato y la humedad en la parte inferior de la celda. Dentro de cada celda se instala un recipiente biodegradable (Plot SG-m8) relleno de sustrato SG-SPH formado por musgo Sphagnum, para recibir a la especie vegetal.



33. Encuentro con forjado, detalle perfil refuerzo

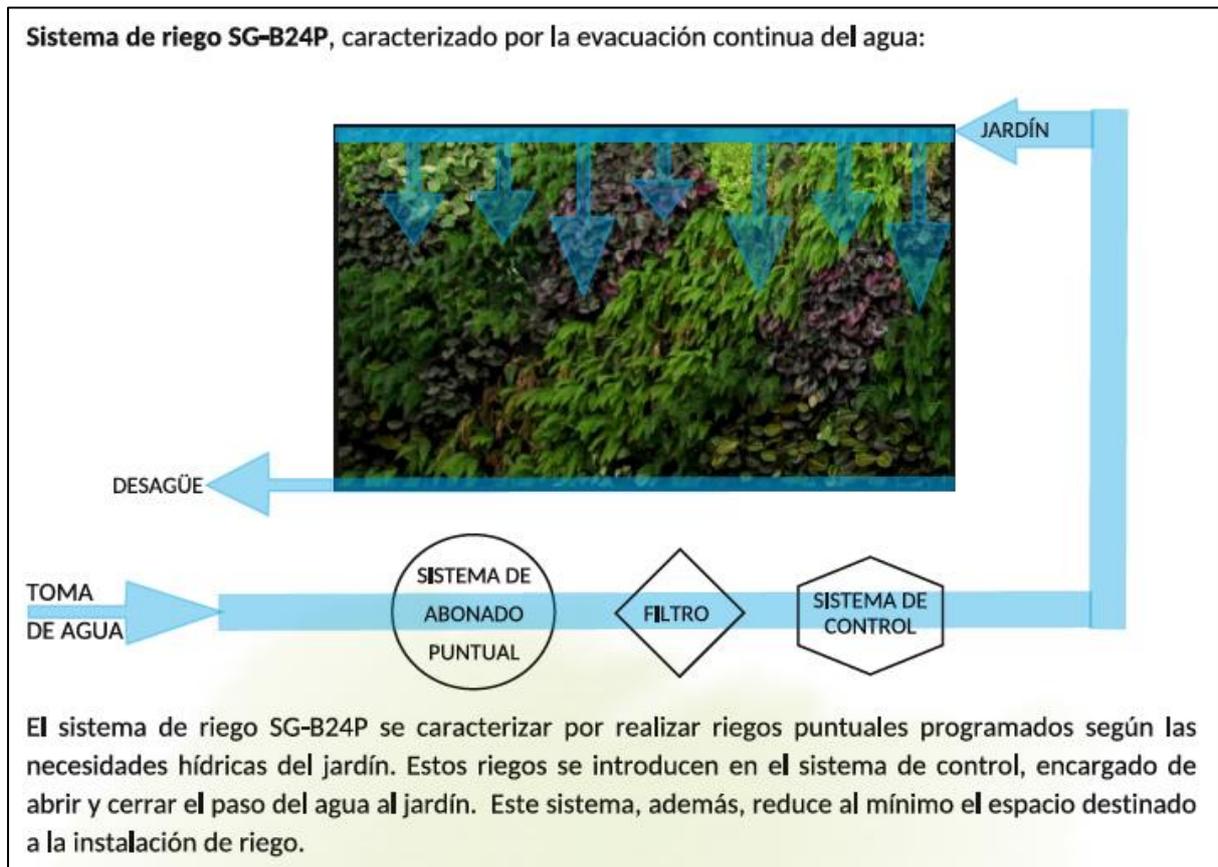
El riego se realiza mediante una doble tubería distribuida a lo largo de la parte superior de la fachada, desde aquí y por esorrentía y con ayuda de la lámina de redireccionamiento, el agua se distribuye por todas las celdas y el excedente vuelve al geotextil distribuidor hasta la parte inferior de la fachada. En este punto una bandeja



metálica, en forma de cajón, conectada a la red de evacuación se encarga de la recogida de aguas sobrantes.

32. Sección Vertical: Arranque de fachada, Sistema EcoBin

En este sistema solo es posible un sistema de riego único que no permite la recirculación del agua, sistema SG-B24P (Imagen 34):



34. Sistema de riego SG-B24P

Este sistema es estéticamente muy completo y permite una gran amplitud de configuraciones estéticas que, combinadas con la cerámica pueden resultar muy interesantes. Además, el sistema de riego, por su sencillez, es bastante simple de instalar y de mantener ya que tiene pocos elementos de distribución de agua. Al no estar sustentada por el soporte, ya que se comporta como una hoja de albañilería habitual, no presenta limitaciones de carga.

Como punto negativo señalaremos que, al tratarse de una hoja de fábrica, puede presentar problemas de difícil o costosa resolución si se produjese una circunstancia que requiriese la retirada, sustitución o manipulación de los elementos que se encuentran detrás de ella (lámina geotextil, lámina impermeabilizante, estructura portante).

Sistemas hidropónicos

Los sistemas hidropónicos son los más modernos y se caracterizan, como todo cultivo hidropónico, por la ausencia de un sustrato orgánico. De este modo, las plantas deben recibir sus fertilizantes dosificados, según necesidades específicas de la planta, en el riego.

Dado que no existe un sustrato orgánico para el desarrollo de las raíces de las plantas se les debe proporcionar un medio auxiliar adecuado para tal efecto. Se ha establecido la siguiente clasificación de subgrupos

- Sistemas Hidropónicos
 - sistema de fieltros geotextiles
 - sistema mixto
 - paneles modulares

Sistema de fieltros geotextiles

Fue Patrick Blanc el que revolucionó los sistemas más modernos de jardinería vertical con el sistema utilizado en el edificio diseñado por Jean Nouvel (Museo Quai Branly, París). Con este nuevo sistema, las posibilidades artísticas se veían aumentadas por la versatilidad del sistema de cultivo (Fernández, Pérez, & Franco, 2013).

Este sistema, utilizado en el edificio CaixaForum Madrid, por ejemplo, consiste en proporcionar una superficie de crecimiento para las plantas en sin la existencia de sustrato.

La fachada vegetal de Patrick Blanc consta de una estructura metálica autoportante de aluminio (montantes y travesaños) sobre la que se fijan el resto de elementos que la componen: una lámina plástica (PVC expandido) y un sustrato inorgánico, fieltro geotextil (Fernández, Pérez, & Franco, 2013).

La lámina de PVC es fijada a la estructura de aluminio para dotar al conjunto de una superficie en la que apoyar y fijar el fieltro geotextil. Además de impermeabilizar, crea una cámara entre el jardín vertical y la hoja principal de la fachada favoreciendo la ventilación y aumentando el factor sombra. El fieltro, dada su porosidad facilita la distribución del agua.

Todo el sistema, es regado por escorrentía, desde la parte superior del conjunto, mediante un sistema hidropónico. Este sistema distribuye, mediante un sistema automatizado y por goteo, la disolución de agua y nutrientes necesarios para las especies que se plantarán en el fieltro (Fachadas.Fachadas de edificios. Ingeniería de Edificación. UEM, 2013).

Las ventajas de este sistema son:

- La característica más importante de los sistemas hidropónicos es su ligereza, esto se debe a la ausencia de sustrato sobre el que crecen las plantas, sustituido por el geotextil. Su peso es de 35 kg/m² aproximadamente (SingularGreen)
- Dado que las plantas se encuentran en sacos independientes de fieltro textil su retirada y sustitución es fácil.
- En el caso del aislamiento térmico, en estos sistemas es como en los sistemas tradicionales. Es decir, sigue sin haber ningún elemento con gran inercia térmica así que este se debe principalmente al sombreado y la evapotranspiración (Navarro, 2013).
- El medio en el que se desarrollan las plantas, el fieltro geotextil, amplía la variedad de especies susceptibles de ser utilizadas y con ello las posibilidades creativas y soluciones artísticas, además de la adecuación a las especies autóctonas.

Las desventajas de estos sistemas son:

- En cuanto a las necesidades para la instalación de estos sistemas, la exigencia es superior a la requerida en sistemas más simples. El nivel de tecnificación requerido por el personal de instalación es alto.
- Nos encontramos ante uno de los sistemas más modernos y complejos del mercado, por ello, el coste es elevado. El sistema de riego está compuesto por diferentes elementos para su automatizado y distribución por goteo encareciendo el coste final.

Sistema F+P de Singular Green



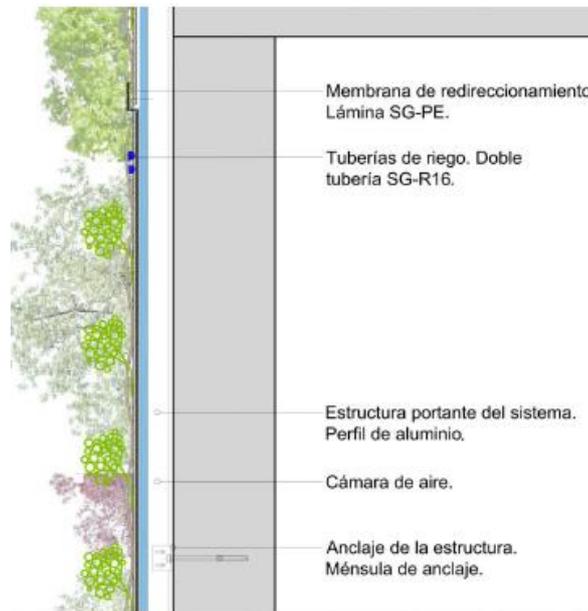
35. Denver, Colorado. Sistema F+P de SingularGreen

Este sistema está diseñado para la plantación de jardines verticales con inclinaciones de entre 30° y 90°. Al soporte existente se ancla la estructura portante estándar de SingularGreen sobre la que se montan el resto de elementos.

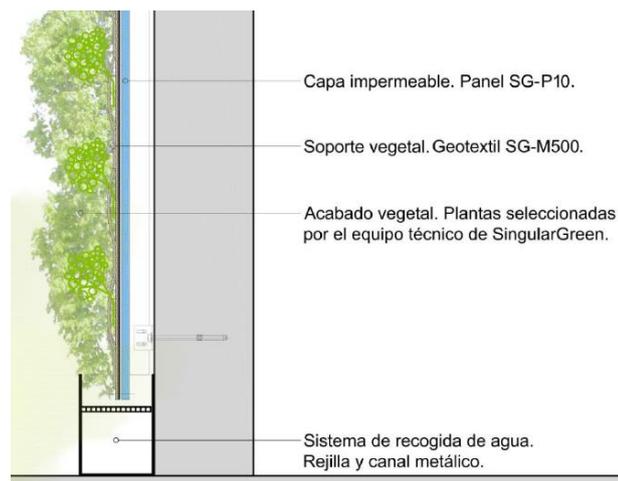
La estructura portante está formada por cuadradillos de aluminio de 40 x 40 x 3 mm anclados mecánicamente mediante ménsulas dimensionadas en función de la sollicitación de viento y carga.

Sobre la estructura se monta la segunda hoja de la fachada, la hoja vegetal. En primer lugar, se coloca la capa impermeable, un panel de PVC espumado de 10 mm de espesor al, a continuación, se grapará la lámina (polietileno) de redireccionamiento del riego. Sobre la lámina de reconducción se instala el soporte vegetal, el fieltro geotextil SG-M500 compuesto por una doble membrana de sustrato no tejido mineral.

En este sistema es posible el riego por los dos sistemas ofrecidos por SingularGreen: el sistema SG-B24P (imagen 34), que no permite la recirculación del agua, y el sistema SG-B24R que sí lo hace (Imagen 13).



36. Sección vertical, encuentro con forjado sistema F+P



37. Sección vertical, Arranque sistema F+P

Las ventajas de los sistemas de fieltros según Urbanarbolismo (Urbanarbolismo, 2012) son:

- Ligereza. Este sistema es el más ligero ya que reduce el medio de plantación a su mínima expresión.
- Facilidad de sustitución de riego. Las conducciones se sustituyen de manera sencilla grapando una nueva capa de fieltro.
- Facilidad de sustitución de la planta. La planta se sustituye fácilmente grapando una nueva capa de fieltro.

- Apariencia verde del sustrato. A diferencia de los sistemas de paneles, la capa exterior de fieltro es colonizada por algas y musgos, lo que le hace adquirir una apariencia verde independientemente del crecimiento de las plantas.

Por otra parte, los inconvenientes son:

- Escasa resistencia al frío. El poco espesor del medio de plantación expone las raíces de la planta a la congelación en temperaturas bajas.
- Baja retención de agua. Este sistema requiere la continua circulación de agua por la capa de material no tejido, si el riego falla el jardín muere en pocos días, esto provoca que el sistema de control de riego deba de estar monitorizado a distancia 24h.
- Baja retención de nutrientes. El pequeño espesor y la naturaleza del medio de plantación hacen que sea necesario mantener el equilibrio del ph, la conductividad, las plagas y la proliferación de hongos y bacterias. Para ello se utilizan una serie de productos que establecen colonias de hongos y bacterias beneficiosos, así como sistemas de regulación y control del ph y la conductividad eléctrica de manera artificial.
- Complejidad del sistema de riego. Por todo lo anterior se hacen necesarios sistemas de gestión del agua y telegestión del riego complejos.

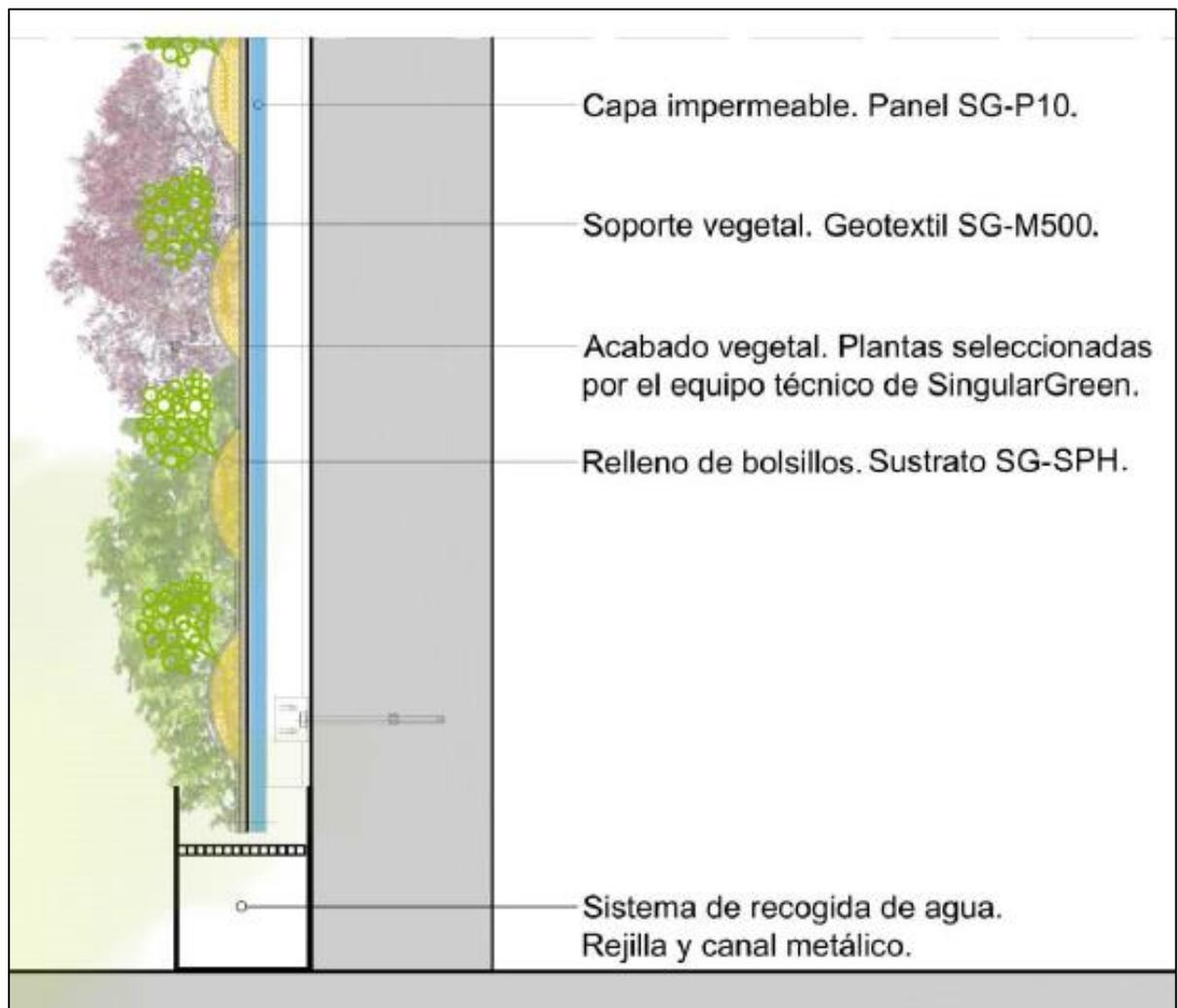
Sistemas Mixtos

Hasta ahora hemos hablado de los sistemas hidropónicos como sistemas de fieltros geotextiles no orgánicos en los que no existe un sustrato orgánico. Esto les confería su principal característica, la ligereza.

Si un sistema hidropónico de fieltros geotextiles lo combinamos con un sustrato orgánico podemos mejorar o beneficiar el desarrollo de las plantas en determinadas ocasiones. Estamos hablando entonces, de sistemas mixtos porque combinan los fieltros inorgánicos con algún sustrato orgánico.

Sistema f+p Mixto de SingularGreen

El sistema F+P Mixto de SingularGreen está basado en el sistema F+P. La diferencia con su semejante, es que el fieltro geotextil tiene bolsillos que se rellenan de sustrato. SingularGreen en concreto rellena sus sacos de fieltro con el sustrato de musgo Sphagnum deshidratado previa hidratación al instalarlo.



38. Sección vertical, arranque sistema F+P Mixto

Respecto al sistema F+P la ventaja que ofrece este otro sistema, principalmente las ofrecidas por el musgo Sphagnum:

- Retención de agua (hasta 20 veces su volumen)
- Cumple función reguladora de pH dado su acidez (pH bajo de 4,8) en aguas con pH superior a este.
- No se pudre y es antibacteriano.
- Dado que es un organismo vivo, genera nutrientes en su ciclo vital que beneficia a las especies cultivadas en él.

Sistema Hidroponía PRV2 de Verdical



39. Jardín Vertical Hidroponía PRV2

Este sistema, previa impermeabilización del paramento existente, va anclada a él mediante perfiles omega para generar la cámara ventilada. Sobre estos se anclará mecánicamente el panel impermeable de polietileno PRV2.

El panel PRV2 está compuesto por una doble cámara de aire, la primera por el panel de polietileno posterior y la segunda generada por una lámina plástica con costillas que sustentan el fieltro geotextil con capacidad para 45 plantas por metro cuadrado.

El conjunto es regado por el sistema de riego exudante característico de los sistemas Verdical. Cada panel, de 75 x 250 cm incorpora en la parte superior del fieltro geotextil el dispersor de riego.

Los paneles se ensamblan entre ellos y se conectan sus dispersores de riego para una vez terminado el conjunto, conectar los extremos de cada hilada de paneles a una entrada de agua conectada al sistema de riego automatizado.

En los sacos de fieltro geotextil se instalan las plantas precultivadas una vez terminada la instalación del sistema.



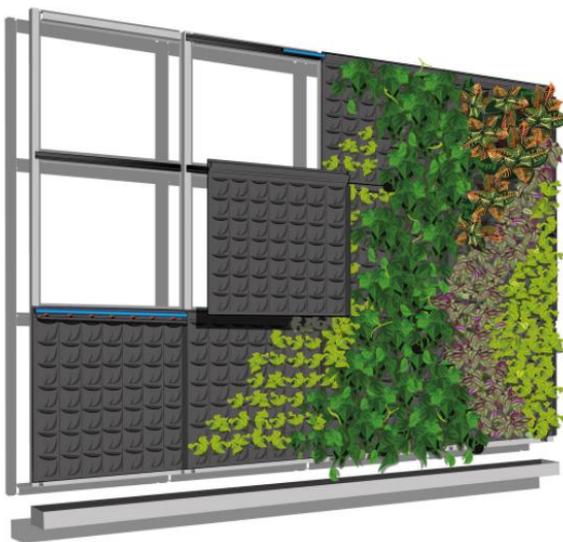
40. Representación virtual modulo Sistema Hidroponía PRV2

Sistema Fytotextile® de Terapia Urbana



41. Concesionario Porsche, Reino Unido. Sistema Terapia Urbana

Este sistema, patentado por la universidad de Sevilla, está compuesto por módulos flexibles multicapa producidos industrialmente, que se conectan a una subestructura anclada al muro soporte. Los módulos están formados por una matriz de bolsillos donde se alojan las plantas para jardín vertical, incluyendo su propio sustrato, lo que facilita la adaptación y desarrollo.



42. Representación 3D montaje sistema Fytotextile y detalle sistema de riego registrable

Respecto al riego en función de la superficie podemos optar por un sistema abierto o un sistema cerrado (superficies superiores a 90 m²). En cualquier caso, es automatizado y sus componentes son registrables los que facilita el mantenimiento.

La densidad vegetal que permite el sistema varía entre 42 y 49 unidades por metro cuadrado.

El coste del sistema según el generador de precios de la construcción (online) de Cype el precio del material necesario para una fachada de más de 120 m² es de 285,79 €/m². A parte, habría que incrementar la mano de obra y costes indirectos.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1 Materiales					
mt07ali026a	m	Perfil hueco de acero conformado en frío UNE-EN 10219-1 S275J0H, serie cuadrado 50,2, para aplicaciones estructurales. Elaborado en taller y colocado en obra.	2,800	11,60	32,48
mt14gdt030	Ud	Anclaje mecánico con taco de nylon y tornillo, de 5 mm de diámetro y 50 mm de longitud.	10,000	0,02	0,20
mt14gdt010h	m ²	Módulo Fytotextile "TERAPIA URBANA" de geoproducto impermeabilizante, drenante y transpirable, formado por tres capas de material sintético y orgánico, flexible y de espesor reducido (capa interior impermeabilizante FYT-RCF, capa intermedia drenante FYT-DRA y capa exterior transpirable FYT-AIR), con perfil guía horizontal FYT-VOL para su fijación a la subestructura soporte; con capacidad para 49 plantas, para una superficie ajardinada mayor de 120 m ² .	1,050	147,50	154,88
mt14gdt020	Ud	Tornillo autorroscante con cabeza hexagonal de acero zincado con junta estanca, de 5,5 mm de diámetro y 25 mm de longitud.	8,750	0,09	0,79
mt48epa020232	Ud	Especies de plantas seleccionadas en función del clima de la zona, 2,32€/ud, suministradas en contenedor con sustrato para cultivo hidropónico; para sistemas de ajardinamiento vertical "TERAPIA URBANA".	42,000	2,32	97,44
Subtotal materiales:					285,79

43. Partida sistema Fytotextile de Terapia Urbana

Paneles modulares

Entre los sistemas hidropónicos no solo existen los constituidos por un sustrato de fieltro geotextil. Existen otro tipo de sustratos como lana de roca suministradas en forma paneles modulares que constituyen un medio de desarrollo para las plantas del mismo modo que lo hace un fieltro geotextil.

Estos paneles se sujetan al paramento con una estructura auxiliar metálica.

Sistema F+P Preplant de SingularGreen



44. Palacio de congresos, Vitoria

Este sistema de SingularGreen consta de los mismos elementos que el sistema F+P.

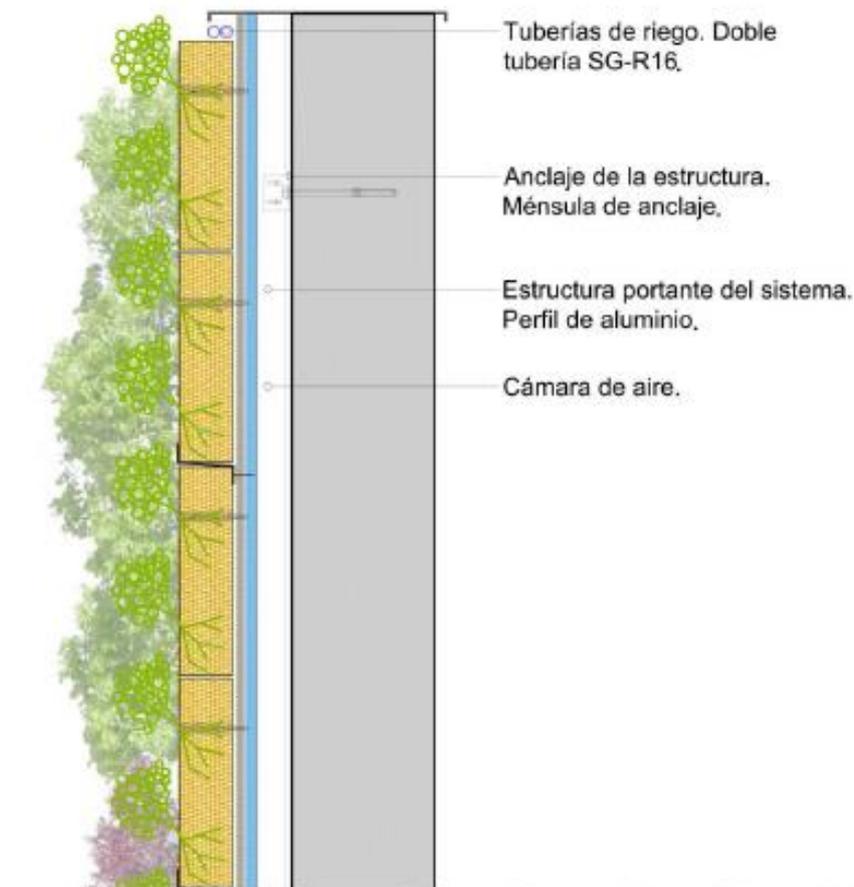
La estructura portante está formada por cuadradillos de aluminio de 40 x 40 x 3 mm anclados mecánicamente mediante ménsulas dimensionadas en función de la sollicitación de viento y carga (Imagen 14).

Sobre la estructura se monta la segunda hoja de la fachada, la hoja vegetal. En primer lugar, se coloca la capa impermeable, un panel de PVC espumado de 10 mm de espesor al, a continuación, se grapará la lámina (polietileno) de redireccionamiento del riego. Sobre la lámina de reconducción se instala el soporte vegetal, el fieltro geotextil SG-M500 compuesto por una doble membrana de sustrato no tejido mineral.

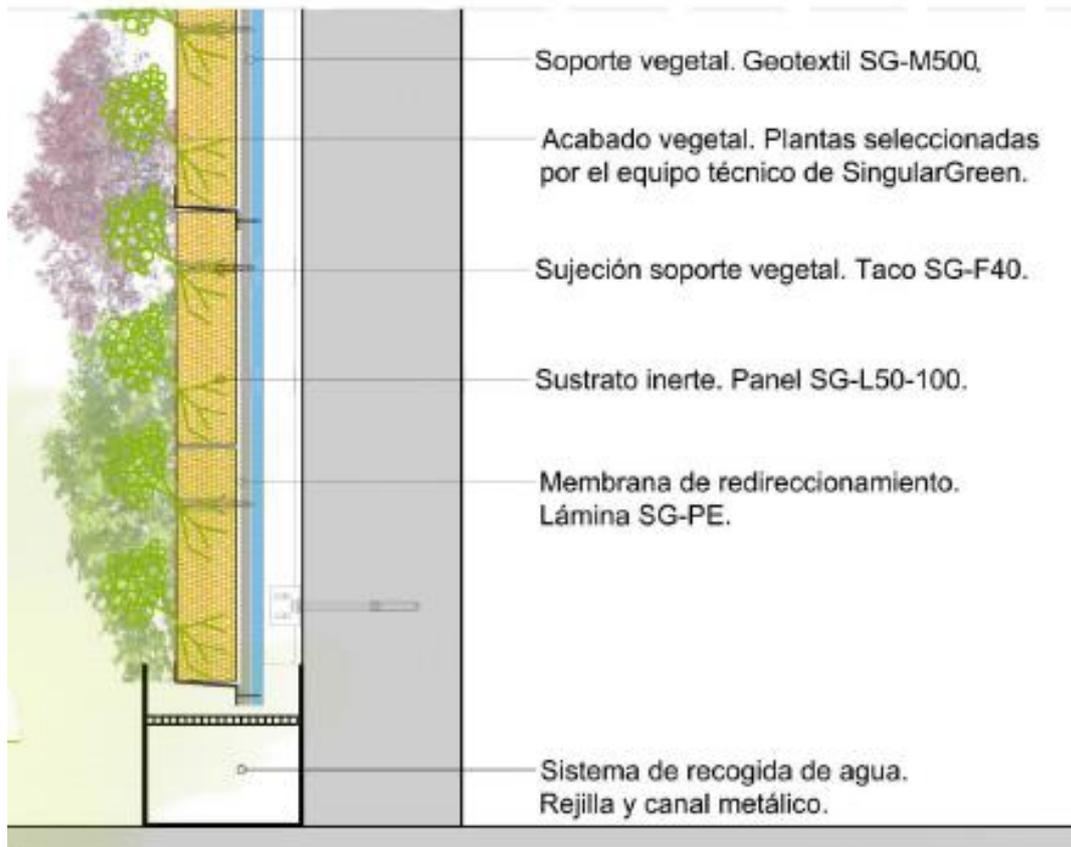
El elemento diferenciador de este sistema es el panel de lana de roca (densidad 100 kg/m²) suministrada en paneles de 1 x 0,60 m y espesor 4 centímetros.

Las ventajas conocidas que ofrece este sistema son:

- “F+P preplant” añade una resistencia térmica de 2,644 m².K/W. Esto supone un 270% más aislamiento sobre la fachada existente, con el consiguiente ahorro energético.



45. Sección vertical F+P Preplant, Variante del sistema F+P. Encuentro con coronación.



46. Sección vertical F+P Preplant, Variante del sistema F+P. Arranque

Otros sistemas

Maceteros estructurales

Nos referimos a maceteros estructurales cuando nos referimos a contenedores planeados desde el comienzo del proyecto y contemplados en el diseño y cálculo estructural. En estos maceteros una vez terminado el edificio se rellenan de sustrato y se pueden cultivar la especie vegetal deseada.

Si se utilizan especies vegetales colgantes se pueden crear barreras que impiden la entrada de la radiación solar y aportan los beneficios propios de la vegetación como la evapotranspiración.

En cualquier caso, este tipo de sistemas no sirven en la rehabilitación energética



47. Maceteros estructurales. Forman parte de la estructura

Hormigón vegetal



48. Edificio Acabado mediante Hormigón Vegetal

Como anunció la sala de prensa de la UPC (Sala prensa UPC, 2012) la UPC (Universitat Pública de Catalunya) patentó en 2012, por parte del grupo de Tecnología de Estructuras, y desarrolló un hormigón que tiene la capacidad de facilitar el crecimiento en él de organismos pigmentados de manera natural. Este material está ideado para fachadas de edificios en clima mediterráneo.

Este nuevo hormigón está creado a partir de la combinación del cemento portland habitual y un material a partir de cemento de fosfato de magnesio. En este nuevo medio se pueden desarrollar microalgas, hongos, líquenes y musgos.

Con este hormigón se crea un material multicapa compuesto por los siguientes elementos (ordenados de interior a exterior):

- Capa estructural
- Capa impermeabilizante (protege al soporte estructural)
- Capa biológica (acumulación del agua y desarrollo biológico)
- Revestimiento discontinuo (Impermeabilización inversa)

Leaf Skin de SingularGreen



49. Proyección Sustrato L+S Ecoactive sobre Membrana de adherencia L+S Root y posterior germinación

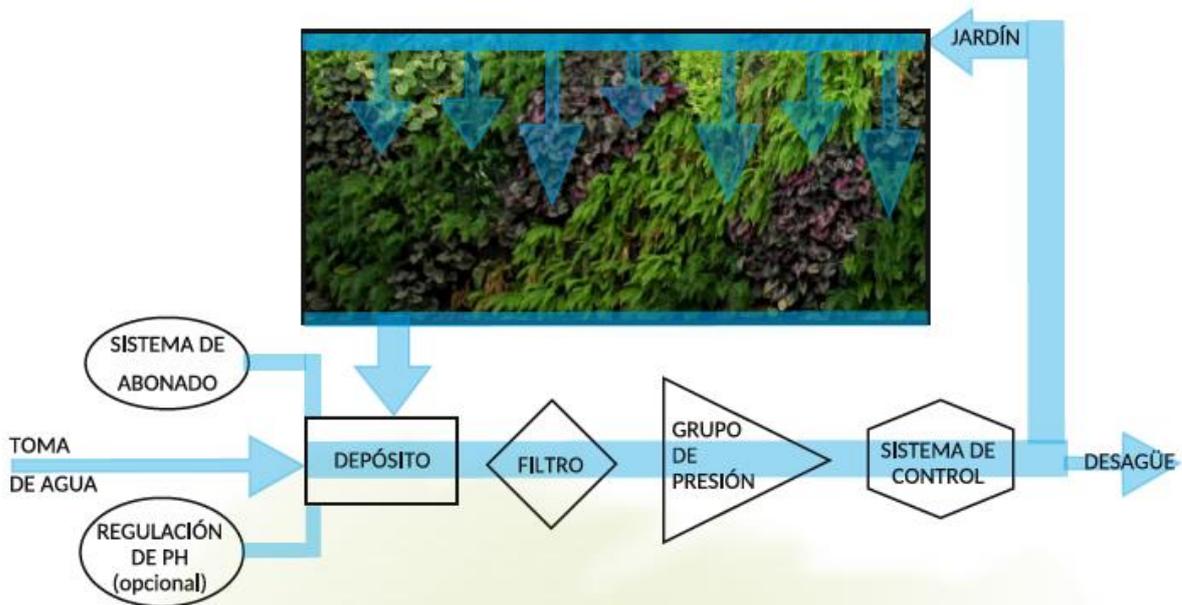
Este novedoso sistema es tal vez, junto con el hormigón vegetal, el más singular. No se exigen requisitos de carga máxima dado que este sistema se caracteriza por la ausencia estructura.

El sistema se compone de distintas capas que en su conjunto crean el soporte para el desarrollo de las especies vegetales escogidas. Las capas (ordenadas de interior a exterior) son las siguientes:

- Imprimación: imprimación de poliuretano base solvente mono componente de baja viscosidad.
- Capa impermeable: Membrana L+S Protect. Membrana líquida de poliuretano para la impermeabilización. Una vez seca forma una membrana elástica y resistente.
- Membrana de adherencia: L+S Root. Membrana líquida híbrida de poliuretano-acrílico.
- Sustrato: L+S Ecoactiv es un sustrato diseñado para ser proyectado con las semillas incluidas en la mezcla previa proyección.

El sistema de riego posible en el caso de este sistema es cualquiera de los dos ofrecidos por SingularGreen, SG-A24R (imagen 50) y SG-A24P (imagen 13).

Sistema de riego SG-A24R, caracterizado por la recirculación del agua:



El sistema de riego SG-A24R permite el ahorro máximo de agua ya que el gasto se reduce prácticamente a la evapotranspiración y al agua consumida por la planta. El consumo en invierno en un clima mediterráneo es de aproximadamente 1l/m²/día y el consumo en verano en este mismo tipo de clima es aproximadamente 5l/m²/día.

50. Esquema sistema de riego cerrado, SG-A24R, SingularGreen

Una de las principales ventajas de este sistema es su bajo precio. Éste, para una superficie de 300 m² es de aproximadamente 200 €/m² (precio consultado al distribuidor).

Conclusiones capítulo

Son muchos los sistemas constructivos para fachadas vegetales que existen en el mercado, pero no son tantas las tipologías de sistemas. Además, la mayoría de marcas comerciales suele instalar o suministrar uno o dos sistemas constructivos diferentes.

En España, existe un mercado bastante amplio en este tipo de sistemas, pero la información referente a ellos, es confusa y en ocasiones contradictoria. Y siempre, desde el punto de vista de esta investigación, la información encontrada de cada sistema era incompleta.

Normativa de aplicación

Tras una búsqueda exhaustiva de normativa de aplicación referentes a fachadas vegetales y el análisis de la normativa en el que las empresas dedicadas a la instalación de este tipo de fachadas se ha concluido que la regulación es escasa e imprecisa.

Según afirma Javier Manzanero en su artículo “La Fachada vegetal de Jean Nouvel”:

Su uso se está normalizando y, tanto es así, que existen desde abril de 2012, las Norma Tecnológica sobre Ajardinamientos Verticales (NTJ-11V) de la Fundación de la Jardinería y el Paisaje, las cuales suponen una referencia técnica fiable para un uso seguro de las fachadas vegetales (Manzanero).

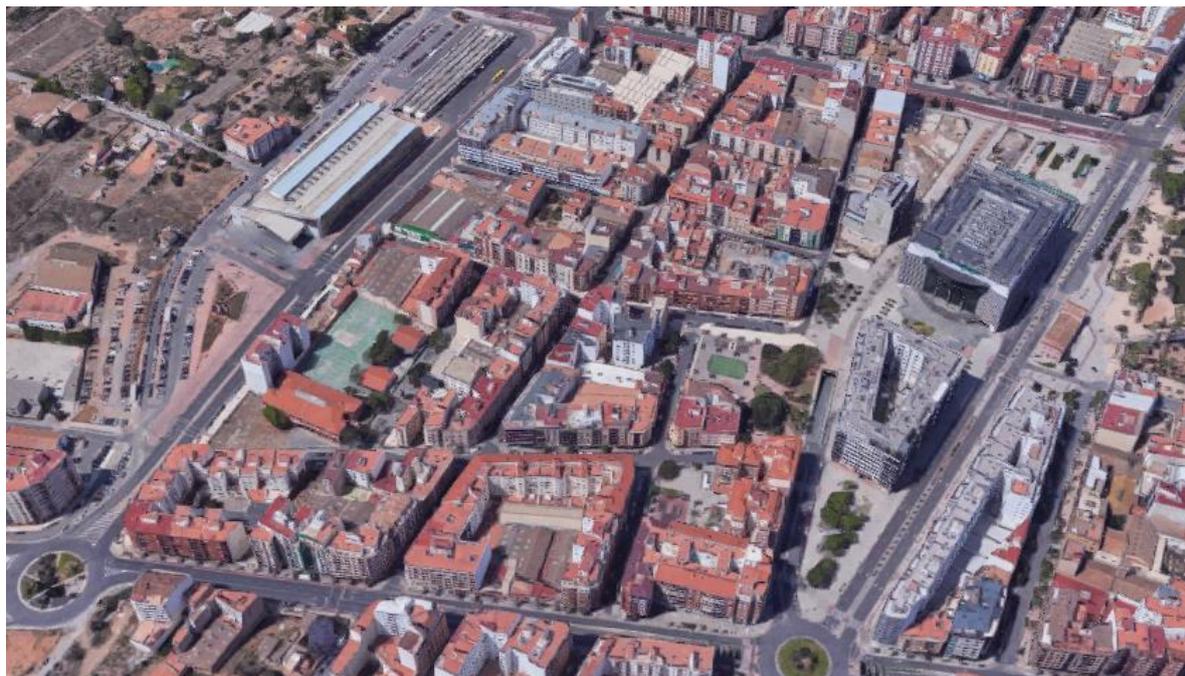
En Europa existe un documento que regula el diseño, construcción y mantenimiento de los sistemas de jardines verticales. Pero este documento solo se refiere a las fachadas vegetales con plantas trepadoras y enredaderas y fue revisado por última vez en el año 2000. Su función era la de regular una práctica muy habitual en Alemania. Se trata de las “Directrices para la construcción, planificación y mantenimiento de fachadas con plantas trepadoras”. Redactadas en Alemania en 1995. Aunque solo regula los aspectos de jardinería y no los constructivos.

De la normativa utilizada por empresas españolas ninguna de ellas es específica para fachadas vegetales. Se trata de CTE-DB-HS. Salubridad, CTE-DB-SI. Seguridad en caso de incendio y CTE-DB-HE. Ahorro de energía.

Caso particular de estudio: barrio Cremor

Descripción del barrio

El barrio escogido para la realización de este trabajo es el barrio de Cremor. Este barrio está delimitado por cuatro grandes vías: Avenida Villareal/Barcelona, Avenida de Alcora, Paseo de Morella y calle pintor Oliet (N-340a). Ocupa una superficie de 15,4 hectáreas (154.000 m²).

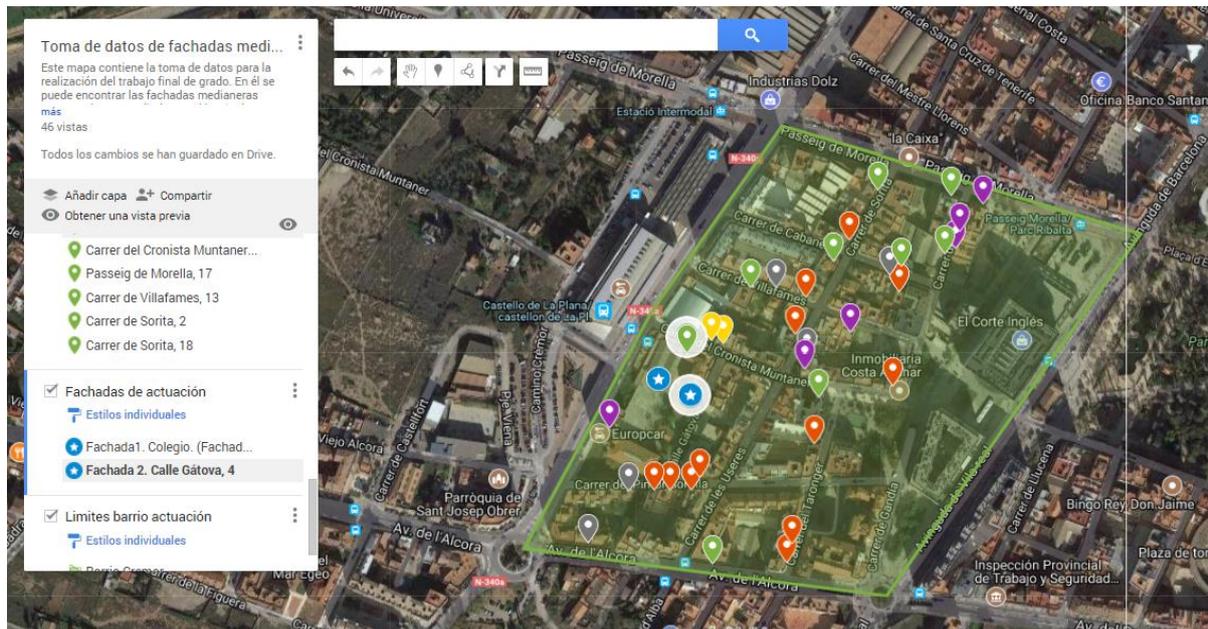


51. Foto aerea barrio de Cremor

En esta zona de Castellón nos encontramos con abundantes tipos de edificaciones dada la clasificación urbanística establecida en el PGOU de Castellón. Estas, de diferentes alturas y tipologías, propician que nos encontremos ante un elevado número de fachadas de medianera, de diferentes dimensiones, cuya estética está poco cuidada y cuya eficiencia energética se podría mejorar.

Tras haber recorrido y estudiado el barrio se han documentado y analizado las fachadas pertenecientes a treinta y seis edificios. Una vez realizado este proceso se descartan las fachadas que no reúnen las características para ser analizadas en detalle. Las características que se han tenido en cuenta para su comparación y discriminación son: orientación, superficie, exposición por sombreado, factores externos (servidumbres, etc.)

Identificación de edificios susceptibles de aplicación



52. Mapa interactivo

[Abrir Mapa Interactivo en el navegador](#)

Leyenda:	
	Fachadas descartadas por su orientación
	Fachadas descartadas por situarse junto a solar sin edificar
	Fachadas descartadas por sombreadamiento
	Fachadas descartadas por su superficie
	Fachadas aptas para aplicación de sistema vegetal
	Fachadas objeto de estudio

Para reflejar el trabajo realizado en la toma de datos, en el barrio de Cremor, se ha elaborado un mapa interactivo (Imagen 51) con la toma de datos fotográficos, información, localización de las fachadas analizadas, zona de actuación del proyecto con el fin de facilitar la lectura e interpretación del trabajo (se puede acceder a él pinchando en la imagen o en el hipervínculo inferior).

En el mapa se pueden encontrar diferentes capas en función del grupo en el que se ha incluido la fachada una vez estudiada. Aparte existe una capa con el ámbito ocupado por el estudio (Barrio Cremor).

Los grupos son los siguientes:

- Fachadas descartadas por su orientación
 - Toda fachada cuya orientación esté comprendida entre este y oeste enfrentada al norte ha sido descartada por la ausencia de exposición directa a los rayos solares.
- Fachadas descartadas por sombreado
 - Este grupo comprende las fachadas sobre las cuales el sombreado producido por elementos cercanos era excesivo.
- Fachadas descartadas por su situación junto a un solar por edificar
 - Este caso es delicado porque la posibilidad de edificación en un futuro en un solar colindante, podría suponer problemas si se iniciasen las construcciones en algún momento.
- Fachadas descartadas por su superficie (insuficiente)
 - Si la superficie ocupada por la fachada no es relevante se han descartado por motivos de viabilidad y amplitud del trabajo.
- Fachadas susceptibles de aplicación del sistema
 - Este grupo contiene las fachadas que no han sido descartadas y cuya viabilidad es aceptable y resulta interesante la aplicación del sistema.
- Fachadas de actuación
 - Fachadas finalmente escogidas para trabajar sobre ellas.

Los criterios principales establecidos para la elección del nivel de adecuación de la fachada con una solución de fachada vegetal son:

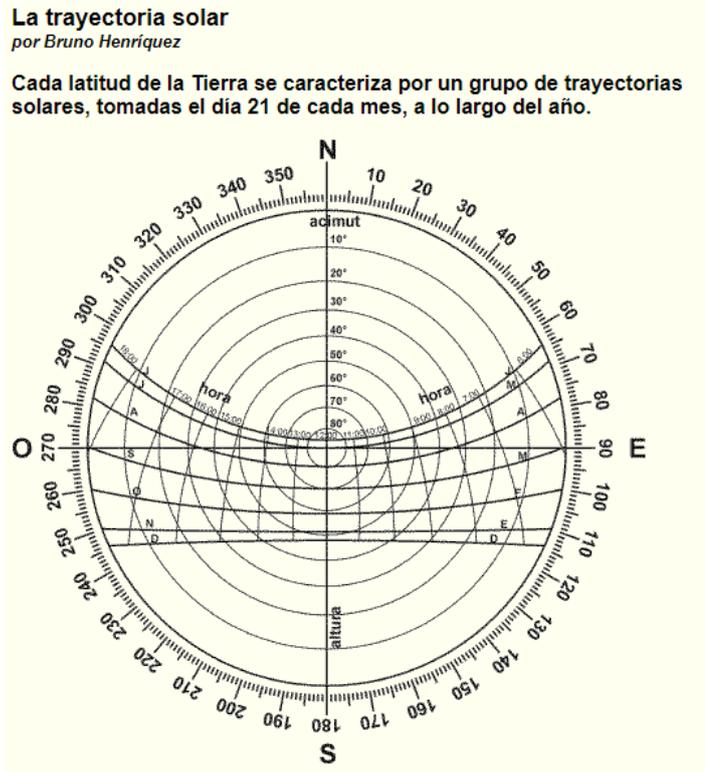
- Orientación



53. Recorrido solar hemisferio Norte

La orientación es determinante en la arquitectura para establecer la orientación de las edificaciones para optimizar la eficiencia energética de estos.

En España, situada en el hemisferio Norte, el Sol nace ligeramente por el Este y se pone ligeramente por el Oeste (dependiendo de la época del año). En la imagen imagen 52 se observa el recorrido solar, de lo que podemos concluir que las cachadas orientadas al norte y sus variantes no son buenas opciones para aplicar estos sistemas.



54. Trayectoria solar

- Sombreamiento

Parece obvio que, si se trata de una fachada vegetal como solución para mejorar la eficiencia energética, el interés de la aplicación del sistema reside en aplicarlo sobre una fachada con exposición solar suficiente en la que su atenuación resulte significativa. Por este motivo, las fachadas sobre las que otras edificaciones o arrojan sombras, han sido descartadas.

- Situación particular delicada

Cuando una fachada medianera es colindante con otro sin edificar, la actuación sobre esta podría resultar conflictiva si en un futuro el solar se edificase.

Selección de fachadas de actuación

Tras haber analizado al detalle el barrio de Cremor y sus fachadas susceptibles de renovación, atendiendo a la viabilidad del proyecto y los objetivos de este estudio, se decide actuar sobre dos fachadas determinadas y contiguas situadas entorno al Colegio Público Vicent Artero.



55. Zona de actuación, foto aerea Google Maps

Las fachadas escogidas por su interés pertenecen a dos edificios diferentes colindantes al colegio, una nave cuya entrada y fachada principal se encuentran en la calle Cronista Muntaner, 11; y una fachada lateral perteneciente al edificio cuya entrada se encuentra en la calle Gátova, 4. La orientación de ambas fachadas es sur-suroeste.



56. Fachadas de actuación



58. Fachada 1



57. Fachada 2

Las características que hacen particularmente interesante a esta fachada son:

Exposición: Al encontrarse las fachadas de actuación situadas junto a un colegio no nos encontramos ningún elemento que arroje sombra sobre ellas puesto que no se interponen entre la radiación solar y estas. Para que la utilización de una fachada vegetal sea adecuada y optimizar sus beneficios no deberá tener construcciones que sombreen dicha fachada. Este es uno de los factores más limitantes, dentro del barrio, para la implementación de estos sistemas.

Orientación: Otro factor especialmente importante es la orientación de las fachadas. Dado el recorrido solar (sol sale ligeramente por el este y se pone por el oeste) en la localización geográfica de Castellón la orientación de la fachada resulta bastante adecuada dado que, a excepción de las primeras y últimas horas de luz dado el pequeño ángulo entre el sol y la fachada, son muchas las horas de exposición solar.

Situación: Dado que se trata de técnicas y sistemas constructivos con los que la sociedad no está muy familiarizada, en este caso, la situación de ambas resulta realmente relevante. Ya que el proceso de concienciación es un proceso lento y que tiene mayor relevancia si se realiza desde edades tempranas implementar un sistema de fachada vegetal, no solo junto a un colegio, sino que, dentro de él, puede resultar una gran herramienta para este propósito. Más adelante entraremos en detalle en esta cuestión cuando tratemos la fachada posterior de las naves con entrada en calle Cronista Muntaner, 11.

Descripción de las fachadas

A continuación, describiremos con mayor detalle las fachadas escogidas para la aplicación de un sistema concreto de fachada vegetal y se ampliarán los criterios por los que han sido escogidas.

Fachada 1: Fachada lateral izquierda c/ Gátova, 4.



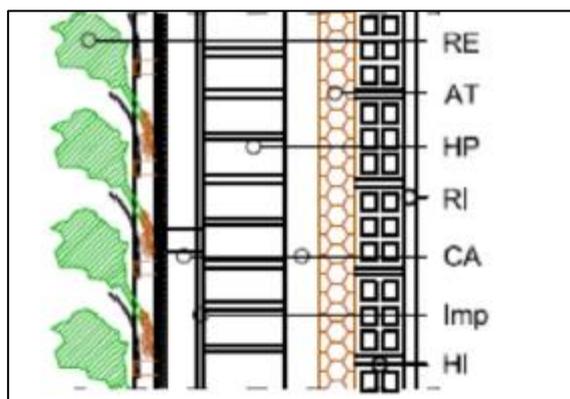
59. Alzado fachada 1

Esta fachada pertenece al edificio con entrada situada en la calle Gátova, 4, y consta de cinco plantas (incluida planta baja). Esta fachada es la más expuesta a la radiación solar de las tres del edificio por lo que, junto con la cubierta, es la superficie más expuesta y por donde más pérdidas energéticas pueden producirse (obviando huecos o puentes térmicos en otras fachadas) por lo que se convierte en la mejor fachada de este edificio para mejorar su eficiencia con una solución como las que se plantean.

Además, la superficie de la que consta esta fachada (320,25 m²) es suficientemente grande como para considerarla. De estos, 250 m² pertenecen al edificio y los 70,25 m² corresponden a la nave industrial situada en la parte posterior del edificio (considerando la entrada frontal como parte delantera del edificio). Estos últimos tienen menos relevancia a efectos de eficiencia energética dado que tiene muy poca altura (apenas 4 metros) y los elementos que se encuentran ante el (un árbol y un pequeño edificio del colegio) le proporcionan algo de sombreado, además no pertenecen a viviendas. Por lo que a efectos de este proyecto no se consideraran como superficie a revestir.

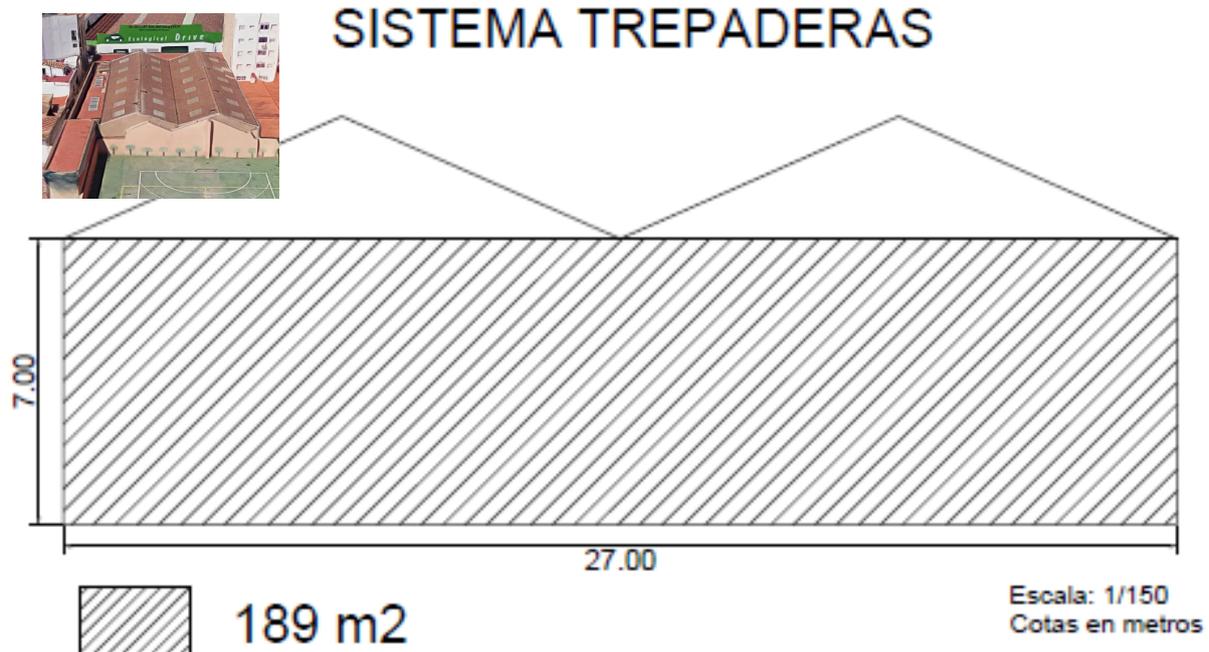
Para considerar la solución a emplear debemos conocer el soporte (fachada) sobre el que nuestra segunda piel vegetal irá anclada, para ello es importante conocer las características constructivas de esta. Según los datos consultados en la Sede electrónica de catastro, esta edificación es del año 1994 (Sede electrónica del catastro) por lo que, junto con la observación in situ, podemos deducir que la fachada estará formada por dos hojas separadas por un aislante térmico. La primera hoja se habrá resuelto con un ladrillo panal (perforado) de 24 cm x 12 cm x 9 cm aproximadamente y un guarnecido de cemento hidráulico. La segunda hoja, tras el aislante térmico, probablemente se habrá resuelto con un ladrillo hueco del 7 enlucido de yeso, y así lo consideraremos.

Para esta fachada, dadas las características constructivas del elemento existente, optaremos por una opción en el que la ligereza del conjunto jugará el papel más importante. Lo que reduce el grupo de sistemas constructivos susceptibles de aplicación.



60. Sección soporte considerado con solución esperada de fieltro geotextil. (Soria, 2013)

Fachada 2. Fachada posterior nave c/ Cronista Muntaner, 11.



61. Alzado Fachada interior colegio. Sistema educativo fachada tradicional

En este caso nos encontramos ante una fachada de apenas 230 m². Ésta pertenece a una nave almacén por lo que en este caso la eficiencia energética no es un objetivo principal. ¿Por qué entonces se propone la aplicación de un sistema de fachada vegetal en este caso?

Hemos comentado con anterioridad la importancia de la concienciación respecto a la sostenibilidad, los sistemas constructivos más eficientes, etc. y es eso lo que se pretende con esta propuesta.

Como se observa en la imagen 56, la fachada se encuentra en el interior del Colegio Público Vicente Artero por lo que se propone una solución simple para resolver fachadas vegetales para introducir y concienciar a los más pequeños en los temas mencionados. De este modo, a la vez que aprenden, juegan y participan en el proyecto toman consciencia de las nuevas técnicas y soluciones que forman parte de una nueva mentalidad que pretende cuidar el entorno en el que vivimos. Además, tendrían como ejemplo y motivación la fachada del edificio colindante.

Para todo ello, se propone utilizar un sistema sencillo que además no entre en contacto directamente con la fachada de la nave, con el fin de evitar afectar en mayor medida a terceros (ya que formaría parte de un proyecto educativo y estaría situado en el interior del colegio). Con estas características los únicos sistemas susceptibles de aplicación los tradicionales de doble piel, formados por una estructura auxiliar en la que se desarrollará la especie trepadora escogida. Este no cubrirá la totalidad de la fachada y para simplificarlo se montará una

estructura en la totalidad de la anchura de la fachada (27 m.) de 4 metros de altura, creando una superficie de 189 m² de tapiz vegetal.

Conclusiones

Sobre la fachada 1 se propone aplicar un sistema para mejorar la eficiencia energética de la fachada lateral del edificio con entrada en la calle Gátova, 4, y secundariamente mejorar su estética. La ubicación junto a un colegio ha sido determinante para escogerla como objeto de estudio. Por ello se ha propuesto la utilización de un sistema más simple dentro del colegio y junto a la fachada 2 como proyecto educativo y de concienciación en las nuevas generaciones.

Cabe destacar la dificultad de que estos proyectos se lleven a cabo por los implicados en el proceso y los medios necesarios.

Selección sistema constructivo

Tras haber escogido las fachadas sobre las que actuará el proyecto, después de haber analizado el barrio, debemos escoger un sistema constructivo para aplicar en cada fachada.

En el punto “sistemas constructivos actuales” de este trabajo analizamos los sistemas que podemos encontrar en el mercado para las fachadas vegetales. A continuación, se han elaborado unas tablas comparativas de los distintos sistemas a fin de facilitar la elección del sistema a aplicar.

En la Tabla 3 se comparan los datos, sobre la estructura portante, de cada sistema constructivo analizado.

En la Tabla 4 se comparan los datos, sobre la capa vegetal, de cada sistema constructivo analizado.

En la Tabla 5 se comparan los datos, del sistema de riego, de cada sistema constructivo analizado.

En la Tabla 6 se comparan los datos, de precios y peso propio, de cada sistema constructivo analizado.

Tabla 3. Comparación estructuras portantes de los diversos sistemas

TABLA COMPARATIVA ESTRUCTURAS PORTANTES						
TIPOLOGIA	MARCA		Periferia	ESTRUCTURA PORTANTE		
	Nombre Comercial	Casa		Tomillera	Mensura Anclaje	
Gaviones Metálicos	Babylon®	Vivers Ter	Guía de acero sobre fachada o perfil auxiliar (Opcional)	Fischer FBN	No	
	Fachada Natura®	Paisaje Vertical	Rastreles horizontales Aluminio	-	Solo si es necesaria estructura auxiliar	
	Eco Bin	SingularGreen	Ø 40x40x3 mm (aluminio)	Autotaladrante zincado y con arandela DIN 7301	Acero inoxidable AISI 304 dimensiones según sollicitaciones de viento	
Celdas Cerámicas	Leaf Box	SingularGreen	Ø 40x40x3 mm (aluminio)	Autotaladrante zincado y con arandela DIN 7301	Acero inoxidable AISI 304 dimensiones según sollicitaciones de viento	
	Sistema Sphagnum MSP90	Vertical	Omega 40x40x3mm (acero)	-	Acero inoxidable dimensiones según sollicitaciones de viento	
HIDROPÓNICO	Feltro Geotextil	F+P-Singular Green	SingularGreen	Ø 40x40x3 mm (aluminio)	Autotaladrante zincado y con arandela DIN 7301	Acero inoxidable AISI 304 dimensiones según sollicitaciones de viento
		F+P Mixito	SingularGreen	Ø 40x40x3 mm (aluminio)	Autotaladrante zincado y con arandela DIN 7301	Acero inoxidable AISI 304 dimensiones según sollicitaciones de viento
		Mixtos	Terapia Urbana	Cuadrado de 50x50, de acero estructural (montantes y travesaños)	Tomillo de 50mm de largo 5 mm de diametro y taco de nylon	-
Paneeles Modulares	Hidroponia PRV2	Vertical	Omega 40x40x3mm (acero)	-	Acero inoxidable dimensiones según sollicitaciones de viento	
	F+P Preplant	SingularGreen	Ø 40x40x3 mm (aluminio)	Autotaladrante zincado y con arandela DIN 7301	Acero inoxidable AISI 304 dimensiones según sollicitaciones de viento	

Tabla 4. Comparación capa vegetal de los distintos sistemas

TABLA COMPARATIVA CAPA VEGETAL								
TIPOLOGIA	MARCA		Densidad vegetal (U/m ²)	PIEL VEGETAL		Capa impermeabilizante		
	Nombre Comercial	Casa		Sustrato	Observaciones			
Gaviones Metálicos	Babylon®	Vivers Ter	100	-	El sustrato se instala dentro de las celdas de 10 x 10 cm de los gaviones metálicos, en sacos geotextiles	Requerida		
Celdas Plásticas	Fachada Natura®	Paisaje Vertical	-	-	Sacos de fieltro con sustrato se instalan en el interior de las celdas	No se especifica		
Caldas Cerámicas	Eco Bin	SingularGreen	Aprox. 90	SG-SPH Sphagnum	El sustrato a base de Sphagnum se deposita en recipientes a base de fibras vegetales.	Panel SG-P10. PVC espumado de 10 mm con anclajes sellados		
Paneles Modulares	Leaf Box	SingularGreen	20-40	Panel SG-P-LB formado por sustrato SG-SPH confinado mediante una rejilla metálica de acero galvanizado plastificado.	El panel vegetal va anclado mediante pletinas de acero galvanizado de 100x2mm de seccion con pestañas de anclaje	Panel SG-P10. PVC espumado de 10 mm con anclajes sellados		
Feltro Geotextil	F+P-Singular Green	SingularGreen	20-40	Sustrato Sphagnum MSP90. Gavion rejilla metálica	Panel estandar 800x800mm y despieces a medida.	Requerida		
Mixtos	F+P Mixto	SingularGreen	20-40	Geotextil SG-M500 y SG-SPH Sphagnum	En el sustrato organico se introduce, dentro de unos sacos del mismo feltros un sustrato a base de Sphagnum.	Panel SG-P10		
Fytotextile®	Terapia Urbana	SingularGreen	42-49	Modulos de fieltro con sacos destinados a recibir el sustrato	Este modulo esta compuesto por tres capas (impermeable, drenante y transpirables, ordenadas de interior a exterior)	Incorporada en el modulo		
Hidroponia PRV2	Verdtcal	SingularGreen	45	Feltro geotextil y Sphagnum	Feltro geotextil no tejido con saquitos para depositar sustrato, en este caso Sphagnum	No		
Paneles Modulares	F+P Preplant	SingularGreen	20-40	Panel SG-L50-100	Panel de Lana de roca de 100 kg/m ² de densidad (paneles de 100x60x4 cm)	Panel SG-P10		

Tabla 5. Comparación del sistema de riego en cada solución técnica

TABLA COMPARATIVA SISTEMA DE RIEGO										
TIPOLOGIA	MARCA		Casa	Tubería riego	SISTEMA DE RIEGO					
	Nombre Comercial				Lamina de redireccionamiento	Sistema de recogida				
HIDROPÓNICO	Caviones Metálicos	BabyJon®	Vivers Ter	Tubería UnibioLine cada 50 cm de altura	NO	No se especifica				
		Fachada Natura®	Paisaje Vertical	Entrada por la celda extrema superior del sistema y evacuación por una celda extrema inferior	SI	Canal en forma de U de acero inoxidable con punto de evacuación				
	Celdas Plásticas	Eco Bin	SingularGreen				SG-R16. Dos tuberías ø16 mm de caudal 0,4l/h	NO	Canal en forma de U de acero inoxidable con punto de evacuación	
		Celdas Cerámicas	Leaf Box				SingularGreen	SG-R16. Dos tuberías ø16 mm de caudal 0,4l/h	NO	Canal en forma de U de acero inoxidable con punto de evacuación
	Paneles Modulares		Sistema Sphagnum MSP90				Vertical	Riego exudante y conectores a medida	SI	Canal en forma de U de acero inoxidable con punto de evacuación
		Fieltro Geotextil	F+P				SingularGreen	SG-R16. Dos tuberías ø16 mm de caudal 0,4l/h	SI	Canal en forma de U de acero inoxidable con punto de evacuación
	Mixtos		F+P Mixto				SingularGreen	SG-R16. Dos tuberías ø16 mm de caudal 0,4l/h	SI	Canal en forma de U de acero inoxidable con punto de evacuación
			Fyotextile®				Terapia Urbana	Resgistrable	NO	No se indica
		Hidroponía PRV2	Vertical				Riego exudante y conectores a medida	NO	Canal dimensionado a medida	
	Paneles Modulares	F+P Preplant	SingularGreen				SG-R16. Dos tuberías ø16 mm de caudal 0,4l/h	SI	Canal en forma de U de acero inoxidable con punto de evacuación	

Tabla 6. Precios y peso propio

TABLA COMPARATIVA DE PRECIOS Y PESO PROPIO						
TIPOLOGIA		MARCA		Peso Propio (kg/m ²)		Precio* €/m ²
		Nombre Comercial	Casa	mínimo (seco)	máximo (saturado)	
SUSTRATO	Gaviones Metálicos	Babylon®	Vivers Ter	-	100	-
	Celdas Plásticas	Fachada Natura®	Paisaje Vertical	-	-	-
	Celdas	Eco Bin	SingularGreen	-	-	-
	Paneles Modulares	Leaf Box	SingularGreen	-	-	450
		Sistema Sphagnum MSP90	Verdtical	-	-	-
HIDROPÓNICO	Filtro Geotextil	F+P	SingularGreen	-	35	300
	Mixtos	F+P Mixto	SingularGreen	-	35 < Pp < 70	325
		Fytotextile®	Terapia Urbana	-	-	285,79
		Hidroponía PRV2	Verdtical	-	-	175
	Paneles Modulares	F+P Preplant	SingularGreen	-	>100	-
OTROS	Leaf Skin	SingularGreen	-	-	200	

* EL PRECIO OFRECIDO ES A PROFESIONALES Y SOLO CONTEMPLA EL SUMINISTRO MATERIAL

Criterios de selección

Una vez comparadas todas las características y reunidas en las tablas que se han mostrado anteriormente podemos establecer los criterios para la elección del sistema más idóneo para cada caso.

- Resistencia del sustrato

La resistencia del sustrato determinará la durabilidad del mismo, Con el paso del tiempo pueden saturarse de sales, perder su estructura, etc. Aunque es bastante difícil determinarla dada la poca información aportada por los fabricantes al respecto.

- Retención de agua y nutrientes

La retención de agua por parte del sustrato es importante para la supervivencia de la capa vegetal de ahí la importancia de este criterio. Determinados sistemas, como los puramente hidropónicos, sin sustratos de origen orgánico, no presentan la capacidad de retener excesivamente la humedad por lo que un fallo del sistema de riego automatizado y continuo pondría en riesgo la vida de la fachada. Del mismo modo, los nutrientes son transportados por el agua y retenidos por los sustratos orgánicos, de manera que si se interrumpe el riego en un sistema hidropónico (puro) no se retendrían estos nutrientes.

- Facilidad de sustitución de riego

- Sencillez del sistema de riego

- **Peso**

Este es tal vez uno de los factores más determinantes en un proyecto de renovación como el que se propone ya que, la fachada va a ser incorporada a una edificación preexistente.

Si además consideramos lo que indica Urbanarbolismo (SingularGreen) respecto a los sistemas de fieltros nos ayuda con la elección del sistema a aplicar en el caso de la fachada más grande, situada en Gátova, 4.

Urbanarbolismo dice al respecto:

“Desde nuestro punto de vista pensamos que el sistema de fieltro no tejido es recomendable para grandes superficies en climas que no sufran heladas muy prolongadas, donde el cliente esté dispuesto a asumir un control gestionado por la empresa instaladora. Podría recomendarse para aficionados en autoconstrucción y automantenimiento por el bajo precio de los materiales. [...] No es recomendable para pequeñas superficies por la elevada complejidad del sistema de riego que encarece significativamente el jardín y el mantenimiento.”

Teniendo en cuenta estos factores, principalmente el peso, la sencillez del sistema de riego y su sustitución se ha optado por la aplicación, para la fachada 1, c/ Gátova, 4, el sistema **F+P Mixto de SingularGreen**.

Aunque el factor económico siempre es uno de los factores más limitantes, el precio de este sistema, estimado en 325 €/m² no se aleja de la media de los precios conocidos y este coste extra puede suponer un ahorro a largo plazo, como explicaremos a continuación.

El sistema Mixto de F+P nos ofrece las ventajas de un sistema hidropónico en cuanto a ligereza se refiere y las ventajas de retención de humedad y nutrientes que proporciona un sustrato orgánico. Estas últimas, concretamente, nos suponen un ahorro a considerar en el riego y además nos proporciona un seguro en caso de fallo del sistema de riego automatizado ya que, el sustrato, en este caso Sphagnum, retendría la humedad y nutrientes salvando a la capa vegetal.

Prescripciones de ejecución de obra

Prescripción del fabricante para la ejecución de la fachada F+P Mixto de SingularGreen.

Normativa de aplicación

CTE-DB-HS. Salubridad, CTE-DB-SI. Seguridad en caso de incendio y CTE-DB-HE. Ahorro de energía.

Consideraciones previas del soporte

- Comprobar la planeidad, aplomado y verticalidad del soporte para verificar que sea correcta.
- Instalación de los elementos de recogida de aguas y desagüe antes de comenzar los trabajos.
- Si el soporte es especialmente sensible a la humedad se podrá aplicar una impermeabilización continua adicional.

Consideraciones previas de la instalación

Comprobación de la existencia de los siguientes servicios:

- Conexión a la red de agua en el punto de instalación del sistema de riego.
- Conducción de agua de polietileno 32 mm hasta pie de jardín vertical.
- Lugar protegido para la instalación de aparatos de control.
- Canalización de lixiviados.

Proceso de ejecución

Fases de la ejecución:

1. Replanteo de los paneles (panel impermeable SG-P10)
2. Colocación del remate inferior de la fachada
3. Colocación y fijación de la subestructura (rastrelado vertical separación entre montantes de 30 cm)
4. Colocación y fijación de paneles
5. Sellado entre paneles (con silicona de poliuretano)
6. Colocación y fijación de láminas de fieltro no tejido (mediante grapas de acero inoxidable)
7. Instalación del sistema de riego
8. Realización de pruebas de servicio
9. Remates
10. Colocación acabado vegetal (las plantas se colocan en sacos del fieltro con sustrato Sphagnum)

11. Pruebas de servicio finales

Condiciones de seguridad

- Se suspenderán los trabajos cuando:
 - Lluvia
 - Nieve
 - Viento superior a 50 km/h
- Se cumplirán las disposiciones habituales de seguridad e higiene en el trabajo y ordenanzas municipales
- Se tomarán las medidas de seguridad adecuadas cuando se trabaje en altura por cualquier motivo

Control de ejecución

El control de la ejecución de las obras se realizará de acuerdo con las especificaciones del proyecto, sus anejos y modificaciones autorizadas por la DF y las instrucciones del director de la ejecución de la obra, conforme a lo indicado en el artículo 7.3 de la parte I del CTE y demás normativa vigente de aplicación.

Los puntos de control más destacables son:

- Comprobar replanteo
- Comprobación de compatibilidad entre productos, elementos y sistemas constructivos.

Inspeccionar antes, durante y después de la ejecución los siguientes puntos:

- Colocación de las miras en las esquinas y tendido del hilo entre miras.
- Humedad de las piezas cerámicas en la parte inferior para control de fugas.
- Aberturas.
- Prueba de impermeabilización mediante el propio riego del sistema.
- Toma de coordenadas y cotas de todas las paredes.
- Repaso de las juntas y limpieza del paramento.

En caso de incumplimiento de los requisitos exigidos en el control de ejecución no se permitirá la reanudación de los trabajos hasta que se solucionen los defectos.

Control de obra acabada

Los puntos de control más importantes son:

- Inspección visual
- Inspección completa del sistema de riego
- Seguir los criterios indicados en el artículo 7.4 de la parte I del CTE durante el control.

Condiciones de terminación

- El conjunto será resistente, estable frente a las acciones.
- La fachada será estanca y tendrá buen aspecto
- El sistema de riego estará operativo y en funcionamiento

Conservación y mantenimiento

CONSIDERACIONES GENERALES DE CONSERVACIÓN

- Se protegerá durante las operaciones que pudieran ocasionarle manchas o daños mecánicos.
- Se evitará la actuación sobre el elemento de acciones mecánicas no previstas en el cálculo.
- Eliminación de los materiales acumulados por el viento y cualquier posible vegetación.
- Conservación en estado óptimo de los elementos existentes en el sistema.
- En caso de ser observado algún defecto de impermeabilización, deberá ser reparado por personal especializado, con materiales análogos a los empleados en la construcción original.
- No se recibirán sobre la fachada elementos que perforen el panel, dificulten el desagüe o perjudiquen el crecimiento de las plantas.
- Una vez totalmente enraizado el sistema, las proporciones de fertirrigación se llevan al mínimo necesario para crecimiento vegetativo aplazando lo máximo posible los periodos entre podas, espaciándose aproximadamente el periodo de entre 12 y 24 meses.
- El control de fertirrigación es totalmente automático y autónomo de manera que el mantenimiento consta de la revisión periódica de las instalaciones así como el rellenado de los depósitos de fertilizante, ácido y base.
- El control de riego incorporado en el sistema de hidroponía SG-A24 provee alarmas de control de caudal, es fundamental atender estas alarmas en un plazo máximo de 24h.
- Estos trabajos a futuro no necesariamente han de ser contratados a SingularGreen siendo el promotor del mismo al encargado de proporcionarlos siguiendo las directrices de los sistemas de SingularGreen.

62. *Cibservación y mantenimiento (Dosier técnico SingularGreen)*

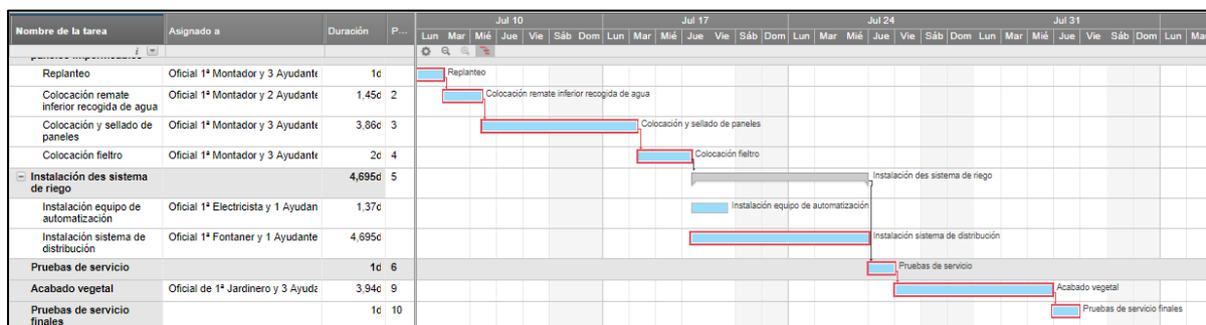
Diagrama de Gantt

Para estimar los tiempos y recursos empleados para la ejecución del sistema, se ha realizado un diagrama de Gantt con los rendimientos de operarios obtenidos del generador de precios de la construcción, online, de Cype ([Abrir versión en línea del diagrama](#)).

- Instalación de la estructura portante y paneles impermeables		8,31d	
Replanteo	Oficial 1º Montador y 3 Ayudante	1d	Rendimiento estimado a partir del rendimiento total de montaje del sistema de estructura completo con paneles y fieltro. Rendimiento oficial de 1º y ayudante de 0.878 l
Colocación remate inferior recogida de agua	Oficial 1º Montador y 2 Ayudante	1,45c	2 Rendimiento oficial 1º Montador 0.481 h/m y de ayudante 0.206 h/m
Colocación y sellado de paneles	Oficial 1º Montador y 3 Ayudante	3,86c	3 Rendimiento estimado a partir del rendimiento total de montaje del sistema de estructura completo con paneles y fieltro. Rendimiento oficial de 1º y ayudante de 0.878 l
Colocación fieltro	Oficial 1º Montador y 3 Ayudante	2c	4 Rendimiento estimado a partir del rendimiento total de montaje del sistema de estructura completo con paneles y fieltro. Rendimiento oficial de 1º y ayudante de 0.878 l
- Instalación des sistema de riego			
Instalación equipo de automatización	Oficial 1º Electricista y 1 Ayudante	1,37c	Rendimiento estimado del generador de precios cype en 10,985 h/unidad de electricista y ayudante
Instalación sistema de distribución	Oficial 1º Fontaner y 1 Ayudante	4,695c	Rendimiento estimado del generador de precios cype en 10,985 h/unidad de electricista y ayudante
Pruebas de servicio		1d	6 Estimación Propia
Acabado vegetal	Oficial de 1º Jardinero y 3 Ayudante	3,94c	9 Rendimientos de Oficial de 1º jardinero y ayudante de 0.505 h/m2
Pruebas de servicio finales		1d	10 Estimación Propia

63. Tareas, recursos y rendimientos para la instalación de la fachada propuesta

Según el desglose de tareas establecido, en función de las especificaciones del fabricante, siguiendo el orden de ejecución correcto y los rendimientos (orientativos) tomados de la base de datos de cype (generador de precios en línea) 20,315 días, es decir, 162,52 hora (jornada laboral de 8 horas).



64. Diagrama de Gantt para las tareas previstas

Precio estimado

En este apartado estimaremos coste de ejecución de esta fachada con los datos que hemos conseguido encontrar en la investigación.

Fachada hidropónica

Dado que no conocemos los rendimientos de los materiales de la partida no es posible realizar un presupuesto desglosado, como es habitual, por componentes del sistema, pero, por otra parte, con los precios y rendimientos de la mano de obra (obtenidos del generador de precios de cype online) y los precios de suministro de material podemos hacer una estimación de los costes necesarios.

Para calcular el presupuesto de sistema de riego, se ha considerado, que este, no está contemplado en el coste de material y se han tomado como referencia los valores del sistema de automatización y distribución del riego del sistema Terapia Urbana, tanto los rendimientos de la mano de obra, como los precios del sistema de riego y del sistema de distribución.

De estar contemplado en el precio proporcionado por el fabricante, el coste de ejecución material serial sensiblemente inferior, al obtenido.

Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio Unitario	Importe
m ²	Ajardinamiento vertical con cultivo Hidropónico Mixto en geoproductos, para exterior, sistema F+P Mixto de SingularGreen			
Ajardinamiento vertical con cultivo hidropónico mixto en geoproductos, para exterior, sistema F+P Mixto de SingularGreen con una superficie de 250 m ² ; compuesto por los siguientes elementos: subestructura de soporte: Montantes de aluminio anodizado de 40 x 40 x 3 mm separados 30 centímetros entre ellos fijados mecánicamente al soporte mediante ménsula de anclaje de acero inoxidable AISI 304 para cámara de aire de a partir de 40 mm y tornillo autotaladrante cincado DIN 7301; Capa impermeable Panel SG-P10 de PVC espumado de 10 mm de espesor anclado mecánicamente incluso sellado de juntas con masilla de poliuretano; Soporte vegetal: formado por un sustrato no tejido mineral de doble membrana, Geotextil SG-M500 , espesor 3,8 mm anclado mediante grapa de acero inoxidable, combinado con relleno de sacos en el fieltro mediante Sustrato SG-SPH formado por musgo sphagnum; Lamina SG-PE de polietileno para redireccionamiento de riego; sistema de regadía de aguas de acero inoxidable con punto de evacuación Incluso acabado vegetal escogido en función del clima, y el proyecto "in situ" a razón de 20-40 plantas/m ²				
Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio Unitario	Importe
Sistema de cultivo				
m ²	Ajardinamiento vertical con cultivo Hidropónico Mixto en geoproductos, para exterior, sistema F+P Mixto de SingularGreen.	250	325,00 €	81.250,00 €
Sistema de riego				
Mano de obra				
Montadores Estructura portante y paneles				
h	Oficial 1º montador.	0,878	17,82 €	15,65 €
h	Ayudante montador.	0,878	16,13 €	14,16 €
h	Ayudante montador.	0,878	16,13 €	14,16 €
h	Ayudante montador.	0,878	16,13 €	14,16 €
Instalació acabado vegetal				
h	Oficial 1º Jardinero	0,505	17,24 €	8,71 €
h	Ayudante jardinero	0,505	16,13 €	8,15 €
h	Ayudante jardinero	0,505	16,13 €	8,15 €
h	Ayudante jardinero	0,505	16,13 €	8,15 €
TOTAL				81.341,28 €
COSTES DIRECTOS COMPLEMENTARIOS (3%)				2.440,24 €
1. TOTAL COSTES DIRECTOS JARDÍN VERTICAL				83.781,51 €

65. Medición y presupuesto Instalación Jardín vertical F+P Mixto

Unidad	Descripción			
u	Sistema de riego SG-A24R de Singular Green			
Sistema de riego SG-A24R con consumo para clima mediterráneo en invierno de 1 l/m ² /día y de 5 l/m ² /día en verano. Distribución de riego mediante circuito cerrado de doble tubería SG-R16 de 16mm de diámetro con goteros integrados autocompensantes de caudal 0,4 l/h, separados 15 cm. y conectados a una tubería de 25 mm y tapa de tierra. El equipo de automatizado de fertirrigación se compone de depósito principal conectado a una centralita de abonado, un filtro tras el depósito y previa entrada al grupo de presión. Todo ello conectado al sistema automatizado de control.				
Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio Unitario	Importe
Sistema de riego				
u	Sistema de riego SG-A24R con consumo para clima mediterráneo en invierno de 1 l/m ² /día y de 5 l/m ² /día en verano. Desde equipo automatización hasta distribución de regado.	1	6.632,00 €	6.632,00 €
Mano de obra				
Instalación sistema distribuidor de riego				
h	Oficial 1º fontanero	37,559	17,82 €	669,30 €
h	Ayudante fontanero	15,024	16,10 €	241,89 €
Instalación automatización de riego				
h	Oficial 1º electricista	10,985	17,82 €	195,75 €
h	Ayudante electricista	10,985	16,10 €	176,86 €
			TOTAL	7.915,80 €
COSTES DIRECTOS COMPLEMENTARIOS (3%)				237,47 €
2. TOTAL COSTES DIRECTOS SISTEMA DE RIEGO				8.153,27 €

66. Medición y presupuesto Instalación de equipo automatizado de riego y distribución

Por otra parte, si queremos estimar también el coste total de ejecución material deberemos estimar los gastos indirectos derivados de los gastos no contemplados en este presupuesto como maquinaria o intermediarios, que estipularemos en un 10% del total de costes directos. De este modo, el Coste total de ejecución de contrata asciende a 101.128,27 €.

TOTAL COSTES DIRECTOS (1+2)		91.934,79 €
COSTES INDIRECTOS (10% de los CD)	10%	9.193,48 €
COSTE EJECUCION CONTRATA		101.128,27 €

67. Coste ejecución de contrata fachada vegetal F+P Mixta

Otras estimaciones

Sería interesante la realización de un informe de certificación energética para valorar la eficiencia de la aplicación del sistema, aunque sea de modo teórico. Esto no es una tarea fácil debido a la poca información concreta y detallada que hay al respecto del conductividad térmica y efecto aislante de los elementos de estos sistemas. Aun así, podemos hacernos una pequeña idea de cómo se comportará esta fachada, ya que, al fin y al cabo, es una fachada ventilada con la segunda piel constituida por un jardín.

DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE REVESTIMIENTO VEGETAL.	λ (W/ mK)	e (m)	R (m ² K/W) Expresión 5	R _T (m ² K/W) Expresión 4
FIELTROS GEOTEXTILES (FI)				
Panel de PVC espumado de 20mm.	0,0850	0,0200	0,2353	0,87
Dos capas de geotextil de 1,5mm + 1,5mm	0,0600	0,0030	0,0500	
Capa de vegetación.	0,1200	0,0700	0,5833	
Expresiones utilizadas en la tabla	Expresión 4 : $R_T = R_{st} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$; Expresión 5 : $R = \frac{e}{\lambda}$			

68.Tabla R_t de sistema vegetal de fieltro (en nuestro caso el panel es de 10 mm) [Soria, 2013]

Si tomamos en consideración las siguientes afirmaciones podemos determinar la afección de nuestra fachada en estos casos:

“Un edificio de 4 plantas (60m²) con una fachada portadora de este sistema filtra al año 40 toneladas de gases nocivos.” (Wolverton, 1986)

Dado que nuestra fachada tiene 250 m² de jardín, si lo que afirma Wolverton es cierto, nuestra fachada estaría filtrando 268.7 toneladas anuales.

Darlington (2001) afirma:

“Un edificio de 4 plantas con una fachada portadora de este sistema es capaz de atrapar y procesar 15 kg de metales pesados”

Si entendemos, como en el caso anterior que la fachada de 4 plantas consta de 60 m² de superficie, entonces, nuestra fachada, de 205 m² sería responsable del filtrado de 625 kg de metales pesados.

CONCLUSIONES

Conclusiones del trabajo

Tras la realización de este trabajo se trató de justificar la utilización de sistemas de fachadas vegetales para promover la renovación urbanística y contribuir a cumplir los objetivos propuestos por la organización sin ánimo de lucro WWF, en relación a las emisiones de CO₂. Son muchos los ámbitos en los que esto se está llevando a cabo y el sector que afecta a la construcción debería ser uno más. No debemos olvidar que el entorno que ocupamos, urbanizamos y transformamos, es el entorno en el que vivimos, ergo debemos cuidarlo.

En primera parte del trabajo, el marco teórico, se ha estudiado la relación de la vegetación con el ser humano y el entorno, desde la perspectiva de la evolución de la vegetación junto a la edificación, principalmente. Tras finalizar el análisis de los orígenes de las fachadas vegetales, como las conocemos actualmente, se observa que, el ser humano, siempre ha tratado de rodearse de elementos naturales, como la vegetación. No obstante, actualmente por el ritmo de crecimiento urbano y por la sobreexplotación que existe en el mundo, cada vez nos alejamos más de los entornos naturales. El alcance del problema es tal y la importancia de la naturaleza es tan alta, que en los entornos urbanos existen microclimas con temperaturas más elevadas y niveles de contaminación desmesurados.

Al analizar las ventajas del uso de fachadas vegetales se observa la cantidad de publicaciones que hay al respecto. Inequívocamente podemos afirmar, gracias a estas lecturas, que los sistemas analizados en este estudio, las fachadas vegetales, suponen significativos beneficios no solo para los edificios, sino sobre el entorno y las personas. Las conclusiones respecto a este punto son:

- Los estudios encontrados al respecto tratan principalmente las ventajas por lo que, se desconocen en cierta medida las desventajas
- Los datos obtenidos en cuanto a mediciones, térmicas principalmente, son de difícil interpretación debido a las distintas localizaciones, condiciones, orientaciones y sistemas analizados.
- La información respecto a la viabilidad de la utilización de estos sistemas es nula
- El uso de estos sistemas parece estar relegado a la aplicación en edificios singulares o públicos, de esto podemos deducir que su coste es elevado o la falta de conocimiento respecto a estas nuevas técnicas.
- Aunque se conoce su eficacia en la reducción de las temperaturas, es difícil cuantificar los datos de resistencias térmicas y transmitancias de, principalmente,

los elementos vivos (plantas) o materiales que cambian de estado (fieltro o lana de roca- mojado y seco)

- Las fachadas vegetales, en su mayoría, se comportan como fachadas ventiladas pero con las mejoras que supone la incorporación de vegetación, principalmente la evapotranspiración
- Son una buena herramienta de rehabilitación energética
- Podrían aumentar las zonas verdes de las urbes significativamente con los consiguientes beneficios
- La información respecto a su eficiencia como aislante acústico es imprecisa y escasa por lo que dificulta su comprensión en este aspecto

Una vez conocidas sus ventajas del trabajo se estudiaron las soluciones constructivas del mercado, para establecer una clasificación de ellos. Tanto la mayoría de publicaciones y lecturas al respecto, como las empresas distribuidoras coinciden en la clasificación de los sistemas con pequeñas discrepancias. La más significativa tras entender estos sistemas y aplicar los conocimientos constructivos adquiridos durante mis estudios, incluida la realización de este trabajo, es la utilización del término “muro vivo” el cual induce a confusión.

El número de tipologías constructivas que existen en el mercado es elevado teniendo en cuenta que estos sistemas son relativamente nuevos. Además, dentro de cada tipología hay diferentes marcas comerciales con una variedad significativa total de sistemas de cada tipología. Aunque si bien es cierto, el estudio se ha centrado en casas comerciales nacionales existe un amplio mercado internacional. De este apartado podemos remarcar:

- Existen unas tipologías constructivas claramente definidas en el mercado
- La información respecto a los precios, costes, mantenimiento es escasa y mal clasificada
- Las marcas se centran más en la parte comercial que en la parte técnica y constructiva
- Existen discrepancias entre la información obtenida en un mismo medio y sobre el mismo producto
- Los sistemas hidropónicos presentan ventajas en cuanto a ligereza pero presentan inconvenientes por dificultades técnicas
- Los sistemas tradicionales son los más lentos pero los que menos mantenimiento precisan y los más económicos por razones obvias

Antes de la segunda parte del trabajo, la propuesta para el caso práctico, se analiza la información relativa a la normativa respecto a estos sistemas y las conclusiones son tan pocas como la normativa al respecto. La normativa de aplicación es relativa a elementos constructivos y solicitaciones, como cualquier otro elemento, pero no hay ninguna normativa específica para fachadas vegetales únicamente las directrices de jardinería, Directrices para la construcción, planificación y mantenimiento de fachadas con plantas trepadoras, redactadas en Alemania en 1995 y revisadas en el año 2000 y en España una Norma Tecnológica sobre Ajardinamientos Verticales (NTJ-11V) de la Fundación de la Jardinería y el Paisaje, que sirve como referencia.

En la segunda parte del trabajo, el caso práctico de aplicación, se realiza el estudio de aplicación de un sistema de fachada vegetal como propuesta para la renovación estética y funcional (eficiencia energética) del edificio existente. Como finalidad secundaria del trabajo, tras el estudio comparativo de los sistemas existentes y la propuesta en el caso práctico, se propone la concienciación y educación social al respecto mediante la aplicación de un sistema más simple en el colegio público situado junto al edificio objeto de estudio en la fachada principal. Las conclusiones de este apartado son:

- De todas las fachadas de medianera halladas en el barrio de actuación (37) solo 11 eran susceptibles de aplicar la propuesta, entorno al 30%
- Las aplicaciones de estos sistemas en todas las fachadas susceptibles, supondría un aumento de las zonas verdes del orden de 2.750 m²(estimando una superficie media como la fachada de estudio de 250 m²)
- Dados los beneficios para el entorno y para la contribución a alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de CO₂ propuesta por WWF, se debería plantear la posibilidad de crear ayudas económicas para la aplicación de estos sistemas
- La dificultad para encontrar precios de estos sistemas dificulta la obtención de costes o precios fiables
- La falta de concreción de la información técnica dificulta la comprensión del alcance del producto (fachada vegetal) que se intenta valorar, medir para su presupuestado, etc.

En los años 80 en Alemania se llevó a cabo una campaña para favorecer las fachadas de enredadoras y trepadoras y 15 años después fue necesaria la redacción de la normativa reguladora (aunque en términos de jardinería) (Acosta. 2011), lo que nos indica que la promoción de este tipo de fachada puede tener un efecto positivo en la sociedad, si se llega a concienciar a la población.

Tras planificar las tareas mediante un diagrama de Gantt se observa que, del mismo modo que ocurre con los costes y precios, ocurre con los rendimientos y procesos constructivos de estos sistemas. Esta carencia de información al respecto, dificulta las tareas de los técnicos encargados de la gestión de obras en laboras de planificación de tiempo y recursos.

Conclusiones académicas

La motivación personal para la realización de este proyecto es mi implicación con el medio y mi conciencia respecto a la salud de mi entorno. Como futuro técnico mi preocupación es ampliar mis conocimientos respecto a sistemas más respetuosos con el medio ambiente y mis conocimientos globales sobre construcción y sostenibilidad para poder desarrollar mi profesión de un modo menos dañino. Del mismo pretendo buscar con ello un cambio en el mundo de la construcción y el desarrollo social y urbanístico hacia un camino menos agresivo con nuestras ciudades y nuestro planeta.

Tras finalizar el trabajo:

- He adquirido conciencia sobre la importancia en la arquitectura en lo que ocurre en el entorno y dado que, esta, depende del hombre, debemos actuar en consecuencia
- He recuperado, trabajado y aplicado conocimientos adquiridos durante mis estudios en diferentes materias:
 - Construcción
 - Materiales
 - Organización
 - Gestión económica
 - Eficiencia energética
 - Expresión gráfica
- Obtenido conocimiento sobre nuevas técnicas constructivas y nuevos conceptos con los que no estaba relacionado
- Aunado todos los conocimientos adquiridos en la titulación

Herramientas utilizadas

1. Google My Maps
2. Googel Académico: <https://scholar.google.es/>
3. Manual Normas APA
4. Buscadores de publicaciones
 - a. www.Monografias.com
 - b. <http://cataleg.uji.es/>
 - c. <http://www.tesisenred.net>
 - d. <https://dialnet.unirioja.es>
 - e. <https://www.zotero.org/>
 - f. <https://www.mendeley.com/>
 - g. <https://www.researchgate.net>
5. Medidor de distancias en mapas-<https://www.mapsdirections.info/>
6. Smarsheet para realizar el diagrama de Ganttter- <https://app.smartsheet.com>
7. Autocad 2018

Bibliografía

- Akbari, H., Davis, S., Dorsano, S., Huang, J., & Winnett, S. (1992). *Cooling our Communities. A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing*. Washington D.C.
- Allen, R., Pereira, L., Raek, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Roma.
- Arcia, M. E. (1 de Marzo de 2012). *Casas Ecológicas*. Obtenido de <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/casas-cesped-de-islandia-las-primeras-cubiertas-verdes>
- Carrera, Á. (2011). TFM: Sistemas vegetales verticales. Madrid.
- Casas, J. (1943). *La barraca de la huerta valenciana*. *Estudios Geográficos*, 4(10), 113.
- Fachadas. Fachadas de edificios. Ingeniería de Edificación. UEM*. (12 de Marzo de 2013). Obtenido de <https://fachadasuem.wordpress.com/2013/03/12/fachada-vegetal/>
- Fernández, R., Pérez, L., & Franco, A. (2013). Naturación urbana y jardinería vertical: de las fachadas verdes a los muros vegetales. *Parjap : Revista de la Asociación Española de Parques y Jardines Públicos*, 72, 6-11.
- García, M. M. (11 de Abril de 2015). *Arquitectura y Empresa*. Obtenido de <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/casas-cesped-de-islandia-las-primeras-cubiertas-verdes>
- Green Roofs for Healthy Cities & Green Screen. (Septiembre de 2008). Introduction to green walls technology, benefits & design.
- Köler, M. (mayo de 2008). Green façades- a view back and some visions.
- Manzanero, J. (s.f.). La fachada vegetal de Jean Nouvel. Obtenido de <http://ecoemas.com/la-fachada-vegetal-de-jean-nouvel/>
- Mediavilla, D. (2015). SOS: El Mundo se derrite. *Muy Interesante EXTRA*, nº26, 15-16.
- Navarro, J. (2013). TFM: Los Jardines verticales en la edificación. Valencia.
- Ochoa, J. M. (1999). *La vegetación como instrumento del control microclimático*. Barcelona.
- Oke, T. (1990). *Boundary layer climates*. Londres: Routledge.
- Pacheco-Torgal, F., Labrincha, J., Cabeza, L., & Goeran Granqvist, C. (2015). Eco-efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs: Design, Properties and Applications. *Número 56 de Woodhead Publishing series in civil and structural engineering*. Woodhead Publishing.
- Paisaje Vertical*. (s.f.). Obtenido de <http://www.paisajevertical.com/naturpanel.html>

- Pascholino, M. d., & Lourenço, J. M. (2017). Green façades and in situ measurements of outdoor building thermal behaviour. *Building and Environment*, 11-19.
- RAE. (s.f.). Diccionario español. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=TbYjNMb>
- Sala prensa UPC. (12 de Diciembre de 2012). Desarrollan un hormigón biológico para construir fachadas ‘vivas’ con líquenes, musgos y otros microorganismos. Obtenido de http://www.upc.edu/saladeprensa/al-dia/mes-noticies/desarrollan-un-hormigon-biologico-para-construir-fachadas-2018vivas2019-con-liquenes-musgos-y-otros-microorganismos?set_language=es
- Sede electrónica del catastro. (s.f.). Obtenido de <https://www1.sedecatastro.gob.es/OVCFrames.aspx?TIPO=CONSULTA>
- Sheweka, S., & Magdy, N. (2011). The Living walls as an Approach for a Healthy Urban Environment. *Energy Procedia*, 6, 592–599.
- SingularGreen. (s.f.). Dossier técnico.
- SingularGreen. (s.f.). Dossier Técnico.
- Soria, Y. (2013). TFM: Estudio del comportamiento acústico y térmico de fachadas verdes.
- Urbanarbolismo. (s.f.). Recuperado el 2017, de <http://www.urbanarbolismo.es/blog/10-formas-de-integrar-la-vegetacion-en-arquitectura>
- Urbanarbolismo. (2012). *Urbanarbolismo*. Obtenido de <http://www.urbanarbolismo.es/blog/comparativa-entre-sistemas-constructivos-de-jardines-verticales/>
- Wolverton. (1986).
- WWF. (2016). *Informe de Planeta Vivo. Riesgo y Resiliencia en el Antropocentro*.