

FACHADAS VERDES

ARQUITECTURA ALTERNATIVA Y SOSTENIBLE

APLICACIÓN Y CASO PRÁCTICO EN ESPAÑA



JAVIER GONZÁLEZ GONZÁLEZ

DICIEMBRE 2015

**Universidad Politécnica de Valencia
Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica**

Master en Arquitectura Avanzada, Paisaje, Urbanismo y Diseño

**FACHADAS VERDES.
ARQUITECTURA ALTERNATIVA Y SOSTENIBLE.
APLICACIÓN Y CASO PRÁCTICO EN ESPAÑA**

TRABAJO FIN DE MASTER

Javier González González

2015

**Universidad Politécnica de Valencia
Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica**

Master en Arquitectura Avanzada, Paisaje, Urbanismo y Diseño

**FACHADAS VERDES.
ARQUITECTURA ALTERNATIVA Y SOSTENIBLE.
APLICACIÓN Y CASO PRÁCTICO EN ESPAÑA**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Autor
Javier González González

Director
Luis Palmero Iglesias

Subdirección de Investigación, Doctorado y Postgrado

2015

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	9
1. PROBLEMA	10
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
2. OBJETIVOS	12
3. JUSTIFICACIÓN	13
4. MARCO DE REFERENCIA	14
4.1 MARCO TEÓRICO	14
5. METODOLOGÍA	19
5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	19
5.2 FUENTES DE INFORMACIÓN	19
5.3 POBLACIÓN	19
5.4 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	19
5.5 ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	19
6. CONTENIDO TEMÁTICO A SEGUIR	20
6.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS. HISTORIA DE LA ARQUITECTURA VEGETAL	20
6.1.1 La pared maciza	20
6.1.2 La revolución: la pared hueca	21
6.1.3 La evolución: la fachada colgada	23
6.2 FACHADAS VERDES CONTEMPORÁNEAS	23
6.2.1 Fachadas vegetales tradicionales	24
6.2.1.1 FV modular	24
6.2.1.2 FV estructural	28
6.2.1.3 FV de plantación a tierra	32
6.2.2 Fachadas de tipo hidropónicas	32
6.2.3 Fachadas de tipo modular	34
6.2.3.1 Enrejados modulares	34
6.2.3.2 Fachada vegetal modular	36
6.2.4 Fachadas de plantas trepadoras	37
6.2.5 Otros sistemas de fachadas verdes	39
6.2.5.1 Sistemas constructivos para muros vegetales plantados	39
6.3 SITUACIÓN Y CLIMATOLOGÍA	48
6.3.1 Efectos de las temperaturas en los edificios	48
6.3.2 Efectos de la temperatura y los asentamientos diferenciales sobre las estructuras	49
6.3.3 Efecto de la incidencia del viento sobre la edificación	50
6.3.4 Efecto sobre la contaminación ambiental y acústica	51
6.3.5 Efecto isla de calor urbano	52
6.3.6 Integración arquitectónica de la vegetación	55
6.3.6.1 La vegetación como filtro de contaminantes del aire	56

6.3.6.2 La vegetación como sistema de refrigeración	56
6.3.6.3 La vegetación como protección térmica	58
6.3.6.4 La vegetación como protección solar. Biosombras	61
6.3.6.5 La vegetación como sistema de depuración	61
6.3.6.6 La vegetación como estructura	62
6.3.6.7 El confort y la vegetación	63
6.4 ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LA INTEGRACIÓN DE SISTEMAS VEGETALES EN LA EDIFICACIÓN	63
6.4.1 Aislamiento e inercia térmica	63
6.4.2 Reducción de la temperatura por soleamiento	64
6.4.3 Enfriamiento por evapotranspiración	65
6.4.4 Reducción de la contaminación acústica	65
6.4.5 Tratamiento estético del edificio	65
6.5 INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO	66
6.5.1 Ejemplo de la incorporación de las fachadas verdes en la edificación - Beardon Eco-House 2011, Gabriel Beardon, Torrelodones (Madrid), 369,40 m ²	68
6.5.2 Ejemplo de la incorporación de las fachadas verdes en la edificación - Green ² House 2012, Shoeburyness, Essex. Reino Unido, 749,80 m ²	75
7. APLICACIÓN Y CASO PRÁCTICO	87
7.1 ESTUDIO PREVIO	87
7.2 CLIMATOLOGÍA	88
7.3 ESPECIES VEGETALES	89
7.4 FACHADA VERDE	90
7.4.1 Análisis del sistema soporte	90
7.4.2 Sistema de acabado fachada ventilada	91
7.4.3 Diseño del nuevo sistema de fachada vegetal	93
7.4.4 Descripción sistema de cultivo hidropónico	94
7.4.5 Sistema de riego	97
8. CONCLUSIONES	100
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CONSULTADAS	102

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Portada. Fachada verde Gaia B3 Hotel of Bogotá	
Figura 1. Fortaleza de Costesti	20
Figura 2. Especies vegetales alóctonas	24
Figura 3. Paneles forrados con geotextiles tejidos retenedores de agua	25
Figura 4. Jardín vertical Caixa Forum Madrid	26
Figura 5. Edificio Tabacalera Tarragona	27
Figura 6. Edificio Planeta Barcelona	29
Figura 7. Fachadas verdes	31
Figura 8. Sistema hidropónico en fachadas	32
Figura 9. Casa rural Dehesa de San Juan, en Navarra	37
Figura 10. Sistema Green Living Technologies	39
Figura 11. Sistema de paneles modulares de 60x60.	40
Figura 12. Patente Patrick Blank.	40
Figura 13. Sistema Drivable Grass modificado.	41
Figura 14. Sistema Elt. Elevated Landscape Technologies.	42
Figura 15. Paneles vegetados en celdas metálicas. Sistema creado por Intemper.	43
Figura 16. Sistema modular de paneles vegetados en caja metálica de G-Sky Plant Systems Inc.	43
Figura 17. Sistema G-Sky Modular	44
Figura 18. Sistema G-Sky Modular	44
Figura 19. Sistema Plantwall (Green Fortune)	45
Figura 20. Jardín vertical con materiales reciclados	45
Figura 21. Hormigón vegetal	46
Figura 22. Plantas trepadoras	47
Figura 23. Sistema Decorcable	47
Figura 24. Sistema Biowall	48
Figura 25. Helecho rizado y cintas (<i>Chlorophytum comosum</i>)	56
Figura 26. Aire acondicionado vegetal	57
Figura 27. TfL Edgware Road, London	58
Figura 28. Cubierta ajardinada	60
Figura 29. Jardín vertical	60
Figura 30. Biosombras	61
Figura 31. Sistema de fitodepuración	62
Figura 32. Distribución vivienda Beardon Eco-House, Madrid	69
Figura 33. Vivienda Beardon Eco-House, Madrid	70
Figura 34. Despiece de elementos arquitectónicos prefabricados	72
Figura 35. Vivienda Beardon Eco-House, Madrid	73
Figura 36. Vivienda Beardon Eco-House, Madrid	74
Figura 37. Distribución vivienda Green ² House, Reino Unido	76
Figura 38. Vivienda Green ² House, Reino Unido	79
Figura 39. Esquema de autosuficiencia energética (fotovoltaica + geotérmica) vivienda Green ² House, Reino Unido	81
Figura 40. Vivienda Green ² House, Reino Unido	84
Figura 41. Vivienda Green ² House, Reino Unido	85
Figura 42. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación (1C)	87

Figura 43. Plano de situación. Valencia ciudad	87
Figura 44. Localizacion edificio C1	89
Figura 45. Especies vegetales	89
Figura 46. Detalle sección vertical hoja interior fachada sur	91
Figura 47. TS700 - sistema de fijación vista con remaches a una subestructura metálica	92
Figura 48. Sección horizontal	92
Figura 49. Sección vertical	93
Figura 50. Diseño del nuevo sistema de fachada vegetal	93
Figura 51. Filtro, panel animoplástico	95
Figura 52. Sistema de anclaje	96
Figura 53. Sistema de riego	98
Figura 54. Sistema de riego	99

AGRADECIMIENTOS

No se podría iniciar este trabajo de fin de master de otra forma que no fuera agradeciendo a las personas que han colaborado y han hecho factible la realización de este estudio.

En primer lugar y antes que nadie y antes que nadie, me gustaría agradecer enormemente a mi coordinador de TFM. Arquitecto Luis Palmero Iglesias toda su dedicación en este proyecto. Debo agradecer sobre manera sus palabras y recomendaciones para conmigo y este trabajo. Sin duda su aporte en cada sesión de tutoría y en cada correo enviado me ha ayudado mucho de cara al desarrollo de este documento y si no hubiera sido por su correcta y excelente labor, habría sido imposible presentar este estudio.

Por otro lado, agradezco a la Universidad Santo Tomas de Aquino en Tunja por haber financiado parte de mis estudios de master otorgándome una beca a partir de la convocatoria del año 2014 para alumnos egresados de esta institución. También agradezco al padre rector de la universidad santo tomas, Fray. Ademar Valencia y a la decana de la facultad de arquitectura, arquitecta Carolina Galindo porque gracias a ellos puede realizar mis estudios master y por permitirme vivir una experiencia tan importante para mi formación.

Y, por supuesto, el agradecimiento más profundo y sentido va para mi familia. Sin su apoyo, colaboración e inspiración habría sido imposible llevar a cabo este proyecto. A mis padres, Vidermina y Jorge, por su ejemplo de lucha, su honestidad, tenacidad y superación.

INTRODUCCIÓN

La importancia que reviste en la actualidad la arquitectura como un mecanismo de avance y modernidad en muchas ciudades del mundo, ha sido quizá la motivación más importante que han tenido los profesionales que se han interesado en este tipo de actividades, toda vez que a través de sus propias creaciones y de las necesidades mismas de las urbes, pueden desarrollar todo tipo de propuestas y alternativas buscando darle una mejor visión con respecto al aspecto urbanístico y de diseño, pero atentado mejorar la calidad de vida de quienes lo habitan.

El aspectos constructivo por demás, ha empezado a percibirse mucho más interesante para quienes demandan de sus creaciones, teniendo en cuenta la infinidad de alternativas, diseños y posibilidades de incorporación de una serie de elementos y sistemas , generando proyectos modernos de acuerdo a las tendencias del entorno, pero más que ello, es propiciar ambientes que le proporcionen estabilidad física a las estructuras, mediando para evitar que aspectos como los medioambientales, alteren dicha estabilidad e incomoden, por llamarlo de alguna forma, a las personas en el desarrollo normal de sus actividades, especialmente en un país como España que enfrenta periodos climáticos severos por su misma ubicación.

Dentro de esas posibilidades, surgen la fachadas verdes, opciones modernas que mediante sistemas específicos y variados, proporcionan un equilibrio climático a los ambientes, logrando con ellos un equilibrio y armonía en los espacios de acuerdo a cada necesidad y en función de los materiales disponibles y que a gusto de las personas interesadas, se incorporen a cada diseño.

De esta manera, se busca el análisis de los procesos arquitectónicos basados en las fachadas verdes dentro de la arquitectura alternativa y sostenible, teniendo como caso práctico y de estudio a España, caracterizando las fachadas verdes contemporáneas de tipo tradicional, hidropónico, modular, de plantas trepadoras y fachadas verdes, profundizando en aspectos climáticos relacionados con los efectos de las temperaturas en los edificios, de la incidencia del viento sobre la edificación, la contaminación ambiental y acústica, isla de calor urbano, innovación y diseño medioambiental e integración arquitectónica de la vegetación, estudiando y analizando los efectos de la integración de sistemas vegetales en la edificación desde el aislamiento e inercia térmica, la reducción de la temperatura por soleamiento, el enfriamiento por evapotranspiración, reducción de la contaminación acústica, tratamiento estético del edificio y disuasión del vandalismo y graffitis en la fachada.

Aun cuando lo más importante, es el ahondar en aquella parte teórica, normativa y conceptual que se viene tomando en cuenta en el desarrollo de los conceptos modernos en materia paisajística y de urbanismo, demostrando la utilidad que día a día se brinda en entornos diversos y que proporciona las bases para crear diseños basados en lo medioambiental y con estructuras vegetales que mediante sistemas apropiados, ofrecen entornos agradables y que mantienen las condiciones ambientales ideales tanto para las personas como para los espacios.

1. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ciudad bioclimática se toma como un concepto relativamente nuevo para muchos, pero conocido para quienes tienen un aprecio especial por la arquitectura, los diseños y las construcciones, especialmente cuando se combinan con los ciclos ecológicos asociados a la energía, el agua, el aire, el suelo y todo aquello que encierra el concepto de sostenibilidad tan mencionado en el mundo.

La arquitectura no se podía quedar relegada de este concepto, dado que en los nuevos procedimientos y estilos, la sostenibilidad y el factor medioambiental, juegan un papel determinante a la luz de la importancia de mantener el equilibrio ecológico y su rigurosidad constructiva, identificando las posibles consecuencias derivadas de una falta de planeación y de responsabilidad social y que obviamente exige de estos diseños urbanos, el mayor compromiso de los arquitectos, trabajadores, estado y sociedad en general, para que definan mecanismos integradores que busquen las condiciones de obligatorio cumplimiento frente al tema medioambiental.

El urbanizar muchos territorios, plantea no solo interrogantes sino problemas a la hora de materializar cada construcción, pues de entrada siempre existirán problemas ambientales asociados con la falta de planeación, de conocimiento sobre la sostenibilidad, el consumo de los recursos naturales por parte de las personas, de compromiso y responsabilidad de los grupos de interés, entre otros muchos que demuestran la disfuncionalidad del sistema de los recursos naturales como tal frente a la necesidad de propiciar una mejor calidad de vida a los habitantes.

Entender el concepto de la arquitectura bioclimática, suena un tanto ambicioso pero no imposible dentro de un componente arquitectónico, máxime cuando se hace en muchas regiones del mundo, un uso irracional de los recursos, sin la previsión necesaria, pero ante todo, sin proyectar el despilfarro que a diario se hace de los recursos naturales. Aspectos que llaman la atención en el quehacer investigativo y que podrían generar respuestas frente a la denominada arquitectura vegetal, empleada desde hace algún tiempo, dentro de lo que se conoce como urbanismo bioclimático y que busca principalmente, la adecuación de las condiciones climáticas y territoriales a las necesidades de la sociedad en materia constructiva.

Es evidente que el desgaste actual, marca un nuevo camino para el arquitecto moderno en cuanto a sostenibilidad se refiere. Las políticas de los estados han ido en aumento en temas medioambientales, haciendo exigible una planeación responsable que determine la importancia de los recursos naturales como de supervivencia de todos y cada uno de los seres que habitan el territorio. Aunque no solo se trata del conocimiento que se pueda alcanzar, sino que además exige del compromiso de los grupos de interés no solo para definir los procedimientos constructivos basados en la sostenibilidad, sino en el buscar que las personas se vinculen con cada proceso y permitan la conservación de todos y cada uno de los recursos naturales que la conforman.

Profundizar en los pensamientos de la arquitectura bioclimática, es introducirse en temas de las fachadas verdes contemporáneas de tipo tradicional, hidropónico, modular, de

plantas trepadoras y fachadas verdes, explorando en los efectos de las temperaturas en los edificios, de la incidencia del viento sobre la edificación, la contaminación ambiental y acústica, isla de calor urbano, innovación y diseño medioambiental e integración arquitectónica de la vegetación, estudiando y analizando los efectos de la integración de sistemas vegetales en la edificación desde el aislamiento e inercia térmica, la reducción de la temperatura por soleamiento, el enfriamiento por evapotranspiración, reducción de la contaminación acústica, tratamiento estético del edificio y disuasión del vandalismo y graffitis en la fachada.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué procesos arquitectónicos basados en las fachadas verdes dentro de la arquitectura alternativa y sostenible, se han tenido en cuenta en España?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar los procesos arquitectónicos basados en las fachadas verdes dentro de la arquitectura alternativa y sostenible, teniendo como caso práctico y de estudio a España.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las fachadas verdes contemporáneas de tipo tradicional, hidropónico, modular, de plantas trepadoras y fachadas verdes.
- Profundizar en aspectos climáticos relacionados con los efectos de las temperaturas en los edificios, de la incidencia del viento sobre la edificación, la contaminación ambiental y acústica, isla de calor urbano, innovación y diseño medioambiental e integración arquitectónica de la vegetación.
- Estudiar y analizar los efectos de la integración de sistemas vegetales en la edificación desde el aislamiento e inercia térmica, la reducción de la temperatura por soleamiento, el enfriamiento por evapotranspiración, reducción de la contaminación acústica, tratamiento estético del edificio y disuasión del vandalismo y graffitis en la fachada.

3. JUSTIFICACIÓN

La arquitectura bioclimática en el contexto moderno de la construcción, ha sido empleada ampliamente en muchos proyectos europeos, logrando una gran admiración y reconocimiento de muchos expertos y defensores permanentes de los recursos naturales y del medio ambiente como tal.

En la actualidad, la arquitectura bioclimática o ecosostenible, ha planteado una serie de interrogantes relacionados con la conveniencia de adoptarla como una estrategia térmica, disminuyendo la utilización de los recursos naturales, o bien empleándola racionalmente en diferentes épocas del año y otras de orden estacional, que sirvan de ejemplo para el desarrollo de proyectos innovadores, económicos y que velen por la sostenibilidad del planeta.

Europa ha sido pionera a nivel mundial y desde hace mucho tiempo, en el desarrollo de este tipo de construcciones y utilización racional de los recursos naturales, generando investigaciones y estudios concretos que determinen la importancia de ellos, así como la conveniencia desde el punto de vista económico y funcional, cuando de proyectos constructivos se refiera y que le resulten de gran importancia para los inversionistas y arquitectos.

Concientes de ello, se estimó necesario adelantar una investigación que ahondara en el tema de la arquitectura bioclimática en una ciudad como Valencia donde predominan construcciones con procesos medioambientales que evidencian la importancia de estos proyectos, entendiendo la importancia de la sostenibilidad en los procesos de desarrollo de las ciudades.

De esta forma, se busca generar mayor conciencia con respecto a la utilización de este tipo de estrategias constructivas, definiendo temas como las fachadas verdes contemporáneas de tipo tradicional, hidropónico, modular, de plantas trepadoras y fachadas verdes, pero teniendo como base de análisis los efectos de las temperaturas las edificaciones, la incidencia del viento, la contaminación ambiental y acústica, isla de calor urbano, innovación y diseño medioambiental e integración arquitectónica de la vegetación, la integración de sistemas vegetales desde el aislamiento e inercia térmica, la reducción de la temperatura por soleamiento, el enfriamiento por evapotranspiración, reducción de la contaminación acústica, tratamiento estético del edificio y disuasión del vandalismo y graffitis en la fachada, entre otros muchos que llevan a la toma de decisiones.

Desde un punto de vista profesional, la investigación se asume como una oportunidad más para desplegar mediante la propia literatura, la importancia de la arquitectura y su componente medioambiental, logrando aportes concretos sobre las nuevas técnicas y procedimientos de diseño y construcción de los edificios, atendiendo los parámetros normativos y sirviendo de enlace entre la modernidad y los arquitectónico.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO TEÓRICO

Dentro de los muchos procesos sociales que hacen parte del desarrollo de los pueblos, es la arquitectura un componente básico estructural, en la medida que aporta conocimientos, estrategias, materiales, técnicas y procedimientos que permiten la integración con el factor humano, dentro de un diseño que le porta grandes ventajas a la solidez y a quien la habita.

“La arquitectura es un instrumento a través del cual se construye civilidad. No es el único, pero si uno determinante. Los asentamientos humanos, empezando por las ciudades, son la gran obra de la humanidad. Son expresión fidedigna de lo que hemos sido, somos y seremos. De la magnanimidad griega, de las extravagancias romanas, del recogimiento medieval, del despertar aventurero y mercantilista, de la imposición colonialista, de la revolución industrial, el bienestar y el consumismo. Una huella dactilar, mutable en el tiempo, de lo bueno y lo malo de la humanidad.

La arquitectura es fundamental en la medida que proporciona conocimientos y destrezas que llevan a la construcción de obras de infraestructura y viviendas que buscan satisfacer las necesidades de las personas en cuanto a habitabilidad o como un espacio urbanístico, que es evaluado, aceptado o cuestionado pero que de cierto modo debe estar caracterizado por la comodidad que ofrece, la innovación que presenta, el precio al cual se adquiere, el nivel de inversión tenido en cuenta por los constructores, los materiales empleados, la mano de obra especializada, la capacidad climática y de confort, sin dejar de lado el componente ambiental.

“Los cambios en el mundo han sufrido una aceleración desde que el medio ambiente se plantea como el principal problema de un planeta pequeño y limitado. Hoy el paradigma del desarrollo urbanístico debe ser reemplazado por el paradigma de la sostenibilidad del medio ambiente en arquitectura, mediante una edificación responsable con el mantenimiento de los recursos, que debe llevar a elaborar un modelo que incluya estos criterios en cualquier proyecto, sea de nueva construcción o de rehabilitación.

Arquitectos y urbanistas deben cambiar los paradigmas antiguos y trabajar en un nuevo escenario social y multidisciplinar innovador y cambiante. Diverso, participativo e interactivo, pero escenario de una reflexión de todos, cambiante y plural. La sostenibilidad de las ciudades depende de la sostenibilidad ambiental, social y económica de un sistema global que no es sostenible y que requiere de ingentes despilfarros para subsistir.

Por lo tanto, las arquitecturas del siglo XXI habrán de estar impregnadas de nuevas-viejas cuestiones, tratadas coherentemente bajo el nuevo paraguas global de la adecuación al propósito general de salvación del planeta. Este y no otro es el cambio fundamental al que nos enfrentamos hoy para saber si existe un criterio de edificación sostenible o no”¹.

¹ HERNÁNDEZ PEZZI, Carlos. La importancia de la calidad y la sostenibilidad en la arquitectura en la reinvención de las ciudades y el desarrollo sostenible [en línea]. Madrid: Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España, 2006. [citado el 29-04-15]. Disponible en: <http://www.euskomedia.org/PDFAnlt/congresos/16/16401405.pdf>

Las construcciones actuales como tendencia mundial, hacen exigible la observancia de los procesos medioambientales dentro de un lineamiento que permita mantener la estabilidad social y humana pese a la utilización de materiales, espacios y diseños, algunas veces aceptados y otros rechazados por la sociedad, dadas las implicaciones en los terrenos, en el mismo ambiente ya sea visual como otro que pueda afectar la salud de las personas.

“Según la definición de Louis Goffin, (La Problematique de l’environnement, Bruselas, F.U.L. 1984.) “Medio Ambiente es el sistema dinámico definido por las interrelaciones físicas, biológicas y culturales, percibidas o no, entre el hombre y los seres vivientes y todos los elementos del medio, ya sean naturales, transformados o creados por el hombre” en un lugar y tiempo determinados.

Partiendo de este concepto, el medio ambiente, aunque está integrado por todos los elementos y variables, puede dividir a su vez en:

- Medio ambiente natural: El cual incluye todos los elementos bióticos y abióticos en los que no interviene el hombre.
- Medio ambiente social o humano: El medio en el que se desarrolla el hombre y que incluye factores sociales, culturales, políticos, económicos, etc.
- Medio ambiente artificial: El que ha sido creado o modificado por el hombre.

El hombre interactúa constantemente con el medio ambiente, tanto con el natural, como con el social y el artificial, modificándolo constantemente, de ahí la vital importancia de un equilibrio en las interrelaciones con los medios.

El medio ambiente determina el comportamiento físico y psicológico del hombre, por lo que además se convierte en un factor clave, determinante en la salud, bienestar y confort del individuo”².

Desde que la sociedad empezó a relacionarse con el tema de la sostenibilidad y el desarrollo que es posible lograrse al integrar elementos y procesos responsables, muchos países, organismos, empresas, entidades y personas, se empezaron a mostrar altamente interesadas en el tema, dado que a partir de muchos de estas decisiones, su hábitat empezó a sufrir y soportar grandes cambios con serias afectaciones para su salud y supervivencia.

“La idea de la sustentabilidad ambiental es la de dejar a la tierra en las mejores condiciones posibles para las generaciones futuras, de modo que puedan encontrarla en mejores condiciones que nosotros. Por definición, las actividades humanas son ambientalmente sustentables cuando pueden ser desempeñadas o mantenidas indefinidamente sin agotar los recursos naturales o dañar el medio físico.

Debe tomarse en cuenta que:

² EADIC FORMACIÓN Y CONSULTORÍA. Tema 3: Arquitectura bioclimática [en línea]. Madrid: El autor, 2013. [citado el 02-05-15]. Disponible en: <http://eadic.com/wp-content/uploads/2013/09/Tema-3-Confort-Ambiental.pdf>

- El consumo de recursos debe ser mínimo.
- Los materiales utilizados deben estar hechos totalmente de materiales reciclados o producidos con material renovable (que fueron cosechados sin dañar al ambiente ni agotar la base de recursos).
- Debe reciclarse el mayor porcentaje del flujo de desechos.
- La energía debe conservarse, y el suministro de energía debe ser enteramente renovable y no contaminante (solar, eléctrica, eólica, biomasa, etc.)³.

La sostenibilidad ambiental enmarcado en la arquitectura, viene siendo tomado como elemento de diseño desde hace mucho tiempo, dada la importancia que tiene para el crecimiento y desarrollo de los pueblos, pues es y será determinante, asumir un compromiso claro con respecto a los esquemas que harán parte de esa sostenibilidad de la que tanto se hace mención en los procesos productivos y constructivos.

“Es importante mencionar que el comportamiento ambiental de la arquitectura fue tomado en cuenta en la antigüedad. Las edificaciones construidas por culturas de occidente y de oriente respondieron de un modo ingenioso a las variables ambientales y del contexto. Fue en la era moderna cuando se cambió de actitud al incorporar los nuevos avances técnicos al control general de las edificaciones, dejando de lado los recursos del diseño pasivo, el que permitía el aprovechamiento de las energías renovables. Para muchos arquitectos, el s. XX se caracterizó por el olvido de las técnicas naturales de control ambiental y por la incorporación, a pesar de grandes dificultades, de las nuevas técnicas energéticas y mecánicas, las cuales, a su vez, hicieron posible el desarrollo de una nueva forma de hacer arquitectura, donde las edificaciones son de estructuras muy ligeras, de escasa inercia térmica, con grandes superficies de vidrio y áreas de grandes dimensiones totalmente aisladas del exterior”⁴.

A esta combinación entre lo sostenible y lo arquitectónico, surge un término moderno a partir del cual muchos inversionistas y profesionales de la arquitectura, tienen el deber de diseñar proyectos ajustados a los procesos medioambientales, buscando cierto equilibrio y disminuyendo el impacto negativo para la sociedad. A esto suele conocerse como arquitectura bioclimática o ecoeficiente, plasmando la mejor forma de aprovechar los recursos y generar desarrollo a la vez.

Arquitectura ecoeficiente. “También denominada arquitectura sostenible o sustentable, arquitectura verde, eco-arquitectura, arquitectura ecoeficiente y arquitectura ambiental, es un modo de concebir el diseño arquitectónico, buscando aprovechar los recursos naturales de tal modo que minimicen el impacto ambiental de las edificaciones sobre el medio ambiente y sus habitantes.

Los principios de la arquitectura sustentable incluyen:

- La consideración de las condiciones climáticas, la hidrografía y los ecosistemas del entorno.

³ MANUAL DEL INSTALADOR DIGITAL. Arquitectura sustentable [en línea]. s.l.: El autor, 2014. [citado el 02-05-15]. Disponible en: http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-04-27_01-18-5298075.pdf

⁴ EL CONFORT [en línea]. s.l.: Tesis Doctorales en Red, s.f. [citado el 26-04-15]. Disponible en: http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6113/20ANEXO1_2.pdf

- La eficacia y moderación en el uso de materiales de construcción, primando los de bajo contenido energético.
- La reducción del consumo de energía para calefacción, refrigeración, iluminación y otros equipamientos.
- La minimización del balance energético global de la edificación, abarcando las fases de diseño, construcción, utilización y final de su vida útil.
- El cumplimiento de confort higrotérmico, salubridad y habitabilidad de las edificaciones”⁵.

El observar los principios anteriormente descritos, exige de las organizaciones mayor compromiso para planear y proyectar la estrategia medioambiental cuando de proyectos arquitectónicos se refiere. Involucrarse con el tema reviste una gran importancia toda vez que en la ideología actual y futura, se hace necesario valerse de los recursos naturales para generar todo tipo de construcciones. Sin embargo, al tomar en cuenta todos y cada uno de ellos, el arquitecto debe decidir entre cuáles materiales basarse, conservando la estabilidad medioambiental, o generar procesos de recuperación de ese sistema, teniendo como base de una disminución en el volumen de utilización de los mismos.

“La arquitectura bioclimática es un nuevo tipo de arquitectura donde el equilibrio y la armonía son una constante con el medio ambiente. Busca lograr un gran nivel de confort térmico teniendo en cuenta el clima y las condiciones del entorno para ayudar a conseguir el confort térmico interior mediante la adecuación del diseño, la geometría, la orientación y la construcción del edificio adaptado a las condiciones climáticas de su entorno. Juega exclusivamente con el diseño y los elementos arquitectónicos, sin utilizar sistemas mecánicos, que más bien se consideran como sistemas de apoyo. Se trata, pues de una arquitectura adaptada al medio ambiente, sensible al impacto que provoca en la naturaleza, y que intenta minimizar el consumo energético y con él, la contaminación ambiental.

La arquitectura bioclimática es una forma innovadora de entender la vivienda, utilizando tecnología convencional, suficientemente comprobada, sin aumentar los costes de ejecución, y aportando el valor añadido de unos materiales respetuosos con la salud de los ocupantes y con el medio ambiente. Este tipo de construcción desarrolla una arquitectura armónica y alternativa, en la línea de la sociedad ecológica en que todos estamos despertando, caracterizándose por una constante preocupación por la calidad de nuestras obras”⁶.

Ese confort térmico del que se habla en la teoría arquitectónica, involucra un ahorro energético de refrigeración e iluminación, generando una mejor habitabilidad de las edificaciones tal como lo plantean muchos autores y entendidos en el tema, pero sobre todo proporcionando mejores condiciones en espacio y otras de orden climático aun en épocas de gran aumento térmico o disminución del mismo.

⁵ ZANELLI VÁSQUEZ, Carlos Mario. Arquitectura sostenible - edificaciones sustentables [en línea]. Ontario, Canadá: Energy Efficient Export Alliance, 2013. [citado el 03-05-15]. Disponible en: <http://eeea.ca/wp-content/uploads/2013/09/PPT-Arquitectura-Sostenible-Arq.-Carlos-Zanelli.pdf>

⁶ DE LOS MOZOS MARTÍN, Pedro. Desarrollo, proyecto y estudio de un edificio bioclimático [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero en Organización Industrial. Madrid: Universidad Pontificia Comillas, 2009. [citado el 03-05-15]. Disponible en: <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/4aa7e1baae6c8.pdf>

Objetivos de la arquitectura bioclimática. “Por todo lo explicado con anterioridad, la arquitectura bioclimática fija 8 objetivos para la consecución de las premisas que marca:

- Menor demanda energética del edificio.
- Maximizar ganancias de calor y reducir pérdidas de energía del edificio en invierno.
- Minimizar ganancias de calor y maximizar pérdidas de energía del edificio en verano.
- Lograr la calidad del ambiente interior, es decir, unas condiciones adecuadas de temperatura, humedad, movimiento y calidad del aire.
- Contribuir a economizar en el consumo de combustibles, (entre un 50-70% de reducción sobre el consumo normal).
- Disminuir la emisión de gases contaminantes a la atmósfera (entre un 50-70%).
- Disminuir el gasto de agua e iluminación (entre un 30%-20% respectivamente)⁷.

⁷ Ibid. Disponible en: <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/4aa7e1baae6c8.pdf>

5. METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se busca manejar un tipo de investigación descriptiva -analítica en la medida que muestra una realidad actual con hechos y evidencias sobre la situación de las fachadas verdes, y que buscan ser analizadas de acuerdo al interés del autor y lo que se espera en materia metodológica e investigativa de orden profesional.

5.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

Fuentes primarias. Conformadas por las personas que han manejado el tema de la arquitectura bioclimática en Valencia, así como por quienes la han considerado como útil en muchos proyectos constructivos.

Fuentes secundarias. Las fuentes secundarias que podrían apoyar el estudio, se asocian con el material bibliográfico de muchos estudios relacionados con la sostenibilidad, con la arquitectura, el urbanismo, planeación, metodología de la investigación, entre otros documentos que permiten la construcción del estudio.

5.3 POBLACIÓN

La población que se tuvo en cuenta en el desarrollo de la presente investigación, estuvo conformada por los arquitectos de la ciudad de Valencia que han llevado a cabo proyectos contractivos bioclimáticos.

5.4 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Como instrumentos de recolección de información, se tienen entre otros:

- Visitas a proyectos constructivos
- Revisión bibliográfica
- Videos y fotografías
- Observación directa

5.5 ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Una vez recolectada la información, se procedió a su clasificación y análisis de acuerdo a los requerimientos propios de la investigación, buscando darle cumplimiento a los objetivos propuestos.

6. CONTENIDO TEMÁTICO A SEGUIR

6.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS. HISTORIA DE LA ARQUITECTURA VEGETAL

6.1.1 La pared maciza. Cuando se hace una retrospectiva sobre los antecedentes de los cerramientos pesados, hay que remontarse a épocas remotas en las que las cuevas naturales sustituyeron por “cuevas artificiales” hechas de piedra “a hueso”.

Un ejemplo es el Gallarus Oratory, iglesia paleocristiana del oeste de Irlanda; usando una técnica similar a la de las tumbas neolíticas, su construcción en forma de quilla invertida se realizó superponiendo las piedras sin argamasa una sobre otra, pero pese a ello el agua no penetra en el interior sean cuales sean las condiciones meteorológicas. Sin embargo, de entre los requisitos antes apuntados, estas construcciones aportaban poco más que la resistencia mecánica, y algo de control térmico y humedades.

Ya los griegos, sin alejarse de la misma concepción de aunar estructura y cerramiento, propusieron en el siglo VII a.C. los muros de dos hojas. El emplecton griego, y luego por ende romano, constaba de dos paramentos exteriores bien trabajados, con clara vocación QW estética, entre los cuales se insertaban mampuestos bastos y mortero, que asumían la misión resistente del conjunto. En todo caso, los romanos gozaron de una clara ventaja al contar con el cemento hidráulico (arena puzolánica mezclada con cal), que al combinarse con agua permitía obtener una masa aglomerante, resistente e impermeable. De este modo se solventaban los problemas de control de filtraciones de aire, control acústico y estética exterior e interior⁸.

Fortaleza de Costesti

Figura 1. Fortaleza de Costesti.



Fuente: CETATI DACICE. Objetivos arqueológicos [en línea]. Transilvania: Museo Nacional de Historia, s.f. [citado el 09-11-15]. Disponible en: <http://www.cetati-dacice.ro/es/sitios/costesti-cetatuie/objetivos-arqueol%C3%B3gicos>

El muro de inspiración helenística estaba dispuesto en la zona de sur-este de la fortaleza, llenando la fortificación con bastión de tierra desde aquí. El muro conectaba tres torres con "la base" hecha de bloques de piedra caliza, tenía pequeños contrafuertes en el lado de sur y estaba discontinuo en el lado de este. Otras tres torres fueron construidas en la

⁸ GÓMEZ JÁUREGUI, Valen. Fachadas con mucha historia [en línea]. en: Gremios. 2008, mayo. no. 73. [citado el 16-08-15]. Disponible en: http://www.tenseguridad.es/Publications/Fachadas_Con_Mucha_Historia_by_GOMEZ-JAUREGUI.pdf

misma técnica, dos situadas en el pendiente norte, donde no hay otros elementos de fortificación, y una en el sur-oeste, cerca del bastión de tierra.

Los muros de la fortaleza de Costesti respetan de la manera más fiel la técnica original de construcción, siendo considerados más bien muros helenísticos que muros dacios (*murus dacicus*). El muro está hecho de bloques de piedra caliza dispuestos en capas (filas horizontales sucesivas), en dos paramentos (filas longitudinales paralelas), unidos entre ellos con vigas transversales de madera, fijados a extremos en lugares especiales llamados "babe/soleras" talladas en los bloques de piedra caliza, teniendo entre ellos un **un emplecton** (relleno) de piedras y tierra compactado. Los bloques son moldeados (nivelados) en cinco de las seis caras, la del interior, desde hacia el emplecton, siendo sumariamente remodelada. De la construcción no faltan los bloques montados perpendicular en la dirección del paramento y que penetran profundamente en emplecton (**tizones**). Un muro construido de esta manera tenía anchura de aproximadamente 3 m, su altura excediendo probablemente 5 m. A la construcción de los muros han participado lo más probable maestros griegos.

La entrada en la fortaleza se hacía por el sur-este, donde son concentrados varios elementos de fortificación. El camino antiguo, que venía del valle, pasaba primero cerca de las torres situadas en el pendiente de norte de la colina, colocadas aquí sólo para controlar el acceso, pasando después por el bastión de tierra en forma de herradura, en la parte de este de la fortaleza. El camino iba más adelante hacia el sur, paralelo con el bastión, llegando a la zona de sur-este de la fortaleza donde se encontraba el muro de piedra, que tenía una puerta abierta cerca de la torre central.

En la meseta superior de la fortaleza se encontraban dos torres-vivienda: una dispuesta en la extremidad nórdica y otra en la extremidad de sur. Ambas tenían la planta baja construida con bloques de piedra caliza, continuando verticalmente con un muro de ladrillos ligeramente quemados, para el techo utilizando tejas macizas de arcilla quemada. Entre las dos torres estaban ubicados, probablemente, una torrecilla de observación y algunos barracones de madera⁹.

La etapa oscura de la Edad Media hizo que el uso del cemento cayera en el olvido, haciendo que las maravillas de la arquitectura romana dejaran paso a las obras de arte de la arquitectura románica, gótica y del renacimiento. Sin este recurso, tanto el esqueleto (pilares, dinteles y arcos) como la piel (fachadas, bóvedas y cúpulas) de los edificios, empezaron a depender principalmente de la calidad de la piedra y de su minucioso trabajo de elaboración.

Primaba también el grosor de las fachadas, siendo ésta otra de las características que definían su calidad y durabilidad.

6.1.2 La revolución: la pared hueca. A finales del siglo XIX, se planteó un nuevo sistema constructivo para la obra de fábrica, el 'cavity wall' o pared hueca, se dio un espaldarazo importante en favor de la corriente higienista de la época que preconizaba la salubridad

⁹ CETATI DACICE. Objetivos arqueológicos [en línea]. Transilvania: Museo Nacional de Historia, s.f. [citado el 09-11-15]. Disponible en: <http://www.cetati-dacice.ro/es/sitios/costesti-cetatuie/objetivos-arqueol%C3%B3gicos>

por medio de la ventilación y la aireación. Una nueva prestación se añadía a la lista de ellas que toda fachada debería ofrecer: la del control de humedades (incluyendo condensaciones), mejorando también ostensiblemente el aislamiento térmico.

En sus orígenes, la fachada de doble hoja o pared hueca constaba de una hoja interior sobre la que se apoyaban los forjados, es decir, con capacidad portante. Separada de ésta, había una hoja exterior a una distancia prudencial que determinaba la anchura de la cámara de aire, y que se unía a ella únicamente en los huecos (aberturas de ventanas y puertas) y mediante conexiones aisladas para estabilizarla horizontalmente.

El agua que pasaba al hueco interior, o que se condensaba en el mismo, era desalojado hacia fuera evitando la filtración de humedades en el interior del edificio.

No obstante, seguían surgiendo pequeños inconvenientes derivados de este sistema constructivo. La diferencia de temperaturas entre sendas hojas (agravado por el aislamiento térmico que supone una cámara de aire intermedia), así como la posibilidad de que se emplearan materiales diferentes para ambas, propiciaba movimientos diferenciales y comportamientos dispares que generaban conflictos en los puntos de contacto, como los marcos de huecos. Además, para edificios en altura, se hacía necesario que la fábrica exterior apoyara en los forjados, lo que se traduce en que éstos llegaban hasta el exterior y hacían de puente térmico pues atravesaban la cámara y la hoja interior.

La aparición de los aislantes, el corcho en primera instancia y luego toda la gama de poliuretanos, polietilenos, poliestirenos, etc., que conocemos ahora, sirvió de acicate para intentar solucionar algunos de estos problemas. La fachada convencional que hoy conocemos comparte los principios ya descritos pero incluye además una capa de aislante térmico adosada a alguna de las hojas. Los puentes térmicos se vienen solucionando independizando los forjados horizontales de la hoja exterior mediante la inclusión intermedia de bandas de dichos aislamientos en los cantos del mismo.

Además, la famosa media caña, ubicada sobre el forjado y entre las dos fábricas, ayuda a que la humedad se evacue hacia el exterior. Así todo, siguen existiendo patologías propias del sistema, como la aparición de fisuras en los paños exteriores en las zonas de contacto con forjados y pilares. Cuando la deformación propia de la estructura sobre la que se descansa la fábrica del cerramiento es mayor que la de éste, se produce una falta de apoyo homogéneo que conduce a que la fachada se agriete para adaptarse a la nueva geometría del esqueleto del edificio.

Una configuración alternativa es la que Ignacio Aparicio propone recientemente con su "fachada mediterránea". Se consigue evitar que la hoja exterior se pose sobre el forjado si sobre el mismo vuela en ménsula una alineación de piezas cerámicas huecas (para conseguir ventilar la cámara) sobre la que apoya a su vez dicho paramento exterior. La cámara de aire no pierde continuidad y el canto del forjado no llega a entrar en contacto con la cara superficial de la fachada.

Se entra aquí en un nuevo concepto que mejora las prestaciones de la cámara de aire: la fachada ventilada. En esta tipología no existe discontinuidad entre el espacio habilitado entre las dos hojas de la fachada, cosa que antes sí ocurría por la inclusión del forjado en

cada piso. Con la fachada ventilada se permite que el aire interior se regenere, gracias a la evacuación del aire caliente por convección, aumentando así el control térmico y reduciendo la aparición de condensaciones¹⁰.

6.1.3 La evolución: la fachada colgada. En la actualidad, y apreciando las bondades que tiene la fachada ventilada, así como las patologías propias de la fachada de dos hojas apoyadas en la estructura, la tendencia que mejor acogida está teniendo es la de independizar estructuralmente la hoja exterior de la hoja interior.

Con la fachada colgada se consigue que las características del cerramiento superficial sean tan versátiles como se quiera, con el mínimo requisito de soportar las acciones del viento o impacto, pues en algunos casos ya no es necesario si quiera que aguanten su propio peso. Esto se debe a que el sistema consta de una subestructura anclada o colgada puntualmente de la hoja interior o de la estructura, sobre la que se apoya o enclava el acabado exterior.

De este modo, dicho paramento, bien sean paneles, aplacados, piezas, lajas o láminas que configuran la cara exterior, es totalmente independiente y versátil, pudiendo ser confeccionada de cualquier material: hormigón, metal, madera, cerámica, vidrio, etc. Se consigue pues controlar dos prestaciones adicionales, protección frente a incendio y seguridad de utilización (limpieza, mantenimiento, reparación preventiva, sustitución,...).

Hoy en día, la calidad de los materiales, como el acero inoxidable, y la capacidad para conformarlo de manera precisa han permitido llegar a este estado del arte que sólo antes se había apuntado tímidamente con un sistema parecido aunque más arcaico: el 'balloon frame'. La principal diferencia con la fachada moderna es que ésta sustituye el entramado de madera del que se servía el 'balloon frame' por una subestructura auxiliar enganchada de los elementos resistentes. Mediante este bastidor en vuelo, o bien mediante anclajes puntuales, se consigue colgar e independizar la hoja estética de la hoja resistente, liberando la creatividad del arquitecto a la hora de configurar la capa cosmética de su edificio¹¹.

6.2 FACHADAS VERDES CONTEMPORÁNEAS

Las fachadas vegetales representan un concepto semejante al de las azoteas ajardinadas solo que adaptadas a los muros verticales. En si consiste en disponer una capa de sustrato (tierra) sobre un muro para permitir el desarrollo de vegetales. Con este procedimiento se puede lograr que un muro que normalmente se muestra sin vida, pueda albergar un jardín, y que lo habitantes tanto de la vivienda como de los alrededores de ella puedan disfrutar de las ventajas que aporta.

Existen diversas técnicas y procedimientos para lograr criar las plantas en vertical, permitiendo, la mayoría de ellas, la adaptación a distintas extensiones y formas de muros. No todo tipo de plantas se pueden cultivar en una pared vegetal, deberán ser especies de

¹⁰ GÓMEZ JÁUREGUI, Op. cit. Disponible en: http://www.tenseguridad.es/Publications/Fachadas_Con_Mucha_Historia_by_GOMEZ-JAUREGUI.pdf

¹¹ Ibid. Disponible en: http://www.tenseguridad.es/Publications/Fachadas_Con_Mucha_Historia_by_GOMEZ-JAUREGUI.pdf

pequeño porte y que cuenten con la capacidad de crecer o de adaptarse a crecer en vertical. Las elecciones más lógicas y populares son las plantas tapizantes de diversos géneros, ya que estas en su medio natural suelen crecer en terraplenes no horizontales.

En cualquier caso en la elección de especies adecuadas se tienen en cuenta aspectos tales como el clima, la disponibilidad de agua, la orientación concreta de la fachada en relación con su disponibilidad de luz solar, sus requerimientos de nutrientes, etc.

Siempre la mejor opción son las especies con las capacidades comentadas que sean autóctonas. Así se evita la siempre arriesgada introducción de especies vegetales alóctonas (de fuera del medio natural donde se realice la fachada) que pueden reproducirse de forma incontrolada en el medio natural y afectar o entrar en competencia con las especies locales. Adicionalmente también las plantas autóctonas serán las mejor adaptadas al medio ambiente ya que han evolucionado para ese medio en concreto.

Figura 2. Especies vegetales alóctonas.



Fuente: SITIOSOLAR.COM. Las fachadas vegetales [en línea]. España: El autor, 2013. [citado el 16-08-15]. Disponible en: <http://www.sitiosolar.com/las-fachadas-vegetales/>

6.2.1 Fachadas vegetales tradicionales. No existe una definición establecida, una clasificación clara para los diferentes tipos de Fachadas Verdes (FV), por lo que propongo una clasificación que engloba las muchas variables posibles en un campo en el que cada uno ha ido haciendo su propia escuela, puede ser:

- Fachada Verde (FV) Modular,
- Fachada Verde (FV) Estructural, y
- Fachada Verde (FV) Plantación a tierra.

6.2.1.1 FV modular. Es la modalidad más joven de las tres, atendiendo a su aspecto inicial y mantenimiento puede subdividirse a su vez en:

- Jardín Vertical (ej.: Patrick Blanc www.verticalgardenpatrickblanc.com)
- Ecológica (ej.: Alex Puig www.vivers-ter.com)

Ambas tienen en común:

- El precultivo en vivero con selección de especies adecuadas a la ubicación y orientación de la fachada.

- Requieren de estructuras portantes tipo “fachada ventilada” fijadas al edificio y creando un espacio entre el edificio y la FV. La vegetación no entra en contacto con el edificio.
- Están formadas por paneles, módulos o contenedores standard en los que alojar el sustrato ligero.
- Es un sistema apto tanto para edificios de nueva planta como en rehabilitaciones.
- Incorporan su instalación de riego en el diseño.

El *jardín vertical* usa paneles forrados con geotextiles tejidos retenedores de agua formando bolsas para sustentar un sustrato mínimo, con la premisa que si la planta recibe el agua y nutrientes de forma adecuada no aumenta el volumen de sus raíces y no requiere de más sustrato ni se convierte en amenaza para la misma fachada. Menor peso que el sistema ecológico.

Figura 3. Paneles forrados con geotextiles tejidos retenedores de agua.



Fuente: LLUÍS PUIG, Josep. *Fachada verde, tipologías* [en línea]. s.l.: Arquitectura + Ingenio, 2011. [citado el 16-08-15]. Disponible en: <http://arquitecturaplusingenio.blogspot.com.co/2011/07/fachada-verde-tipologias.html>

Luce gran variedad de especies, frondosidad y atrevimiento iniciales. El diseñador define todo el espacio a modo de tapete vegetal, requiere de un cuidado mantenimiento para no perder con el paso del tiempo la idea original, así como un control del riego y los nutrientes muy bien ajustados¹².

Caixa Forum Madrid. El Jardín Vertical de Caixa Forum Madrid es obra del botánico francés Patrick Blanc, que realizó el primero en 1.988 en el Museo La Villette de París, y que a día de hoy está presente en ciudades de medio mundo: Bruselas, Nueva York, Génova, Osaka entre otros. El de Madrid, es el primero instalado en España, y también es el más grande que ha hecho hasta la fecha.

Este sorprendente jardín vertical ocupa una fachada, sin huecos, con una superficie vegetal de 460 metros cuadrados, en una de las medianeras del espacio que compone Caixa Forum Madrid.

¹² LLUÍS PUIG, Josep. *Fachada verde, tipologías* [en línea]. s.l.: Arquitectura + Ingenio, 2011. [citado el 16-08-15]. Disponible en: <http://arquitecturaplusingenio.blogspot.com.co/2011/07/fachada-verde-tipologias.html>

Figura 4. Jardín vertical Caixa Forum Madrid.



Fuente: RAYO, Juan Carlos. Galería [en línea]. s.l.: Flickr, s.f. [citado el 09-11-15]. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/jcrayo/with/5684172806/>



Fuente: PARRA, Luis Miguel. Jardín vertical de Caixa Forum Madrid [en línea]. Madrid: El autor, s.f. [citado el 09-11-15]. Disponible en: <https://lmparra.wordpress.com/2011/01/09/jardin-vertical-de-caixa-forum-madrid>

El impresionante tapiz natural que recorre la pared está compuesto por 15.000 plantas de 250 especies diferentes que han transformado notablemente la pared. Las plantas no necesitan tierra, sólo agua, minerales, luz y dióxido de carbono. El resultado lo compone una sorprendente 'pintura viviente' multicolor que, más allá de su atractivo estético, actúa como un eficaz agente medioambiental, aísla del ruido y preserva la fachada recubierta de las inclemencias del tiempo¹³.

Está situado en el Paseo de El Prado, más precisamente en el edificio de CaixaForum. Es creación de Patrick Blanc, y es un verdadero espectáculo ver como más de 17000 plantas, armónicamente cultivadas poseen la capacidad de tapizar una superficie de esa magnitud y en vertical.

¹³ PARRA, Luis Miguel. Jardín vertical de Caixa Forum Madrid [en línea]. Madrid: El autor, s.f. [citado el 09-11-15]. Disponible en: <https://lmparra.wordpress.com/2011/01/09/jardin-vertical-de-caixa-forum-madrid/>

Son unos 450 m² que conforman un tupido muro verde. En la imagen de portada se aprecia una foto muy clara donde esta obra de arte luce en todo su esplendor. Pero, como en tantas cosas, nada mejor que un vídeo para observarlo. Este jardín es esplendoroso en toda época del año, los coloridos de primavera dejan lugar a los intensos verdes del verano y luego las tonalidades otoñales confirman un mosaico imposible de dejar de ver cuando estés en esa zona de Madrid¹⁴.

Depende de la densidad de hojas y de área de hoja para cumplir funciones como atenuador térmico y acústico por su mínimo sustrato concentrado en puntos. No crea un micro clima verde en la cámara que se forma entre los plafones ciegos y el edificio. Los plafones forrados de geotextiles generan sombras con independencia de la evolución de las plantas y forman una barrera que desaprovecha los beneficios derivados de la evapotranspiración de las plantas.

La fachada ecológica parte de unidades contenedoras del sustrato ligero confinado mediante gaviones con rafias, estructuras modulares de diferentes metales, de las que salen las plantas elegidas. Su filosofía es más sencilla, cede espacios para que la naturaleza acabe por definir el resultado final en función de las especies que mejor se adapten, pese a requerir también de riego automático aspira a ser más autosuficiente y cambiante estacionalmente. La fachada Ecológica puede convertirse en algo más que un elemento estético que colateralmente aporta otros beneficios (térmicos, acústicos, etc...), puede convertirse en parte de un proceso de depuración de aguas, la primera experiencia que conozco de este tipo se ha realizado en Tarragona ciudad, cerca del Serrallo, en las antiguas dependencias de Tabacalera¹⁵.

Figura 5. Edificio Tabacalera Tarragona.



Fuente: LLUÍS PUIG, Josep. *Fachada verde, tipologías* [en línea]. s.l.: Arquitectura + Ingenio, 2011. [citado el 16-08-15]. Disponible en: <http://arquitecturaplusingenio.blogspot.com.co/2011/07/fachada-verde-tipologias.html>

¹⁴ LA REVISTA. Jardín vertical en Madrid [en línea]. España: El autor, s.f. [citado el 09-11-15]. Disponible en: http://www.publispain.com/revista/seccion/jardineria/jardin_vertical_en_madrid_video.html

¹⁵ GÓMEZ JÁUREGUI, Op. cit. Disponible en: http://www.tenseguridad.es/Publications/Fachadas_Con_Mucha_Historia_by_GOMEZ-JAUREGUI.pdf



Fuente: HABLEMOS DE JARDINES. “Edificios con árboles”. Muro vegetal de la Tabacalera de Tarragona [en línea]. Colombia: El autor, 2012. [citado el 10-11-15]. Disponible en: <http://hablemosdejardines.blogspot.com.co/2012/05/edificios-com-arbres-muro-vegetal-de-la.html>

El jardín dispone de 11.000 m² de jardines de los cuales 3.000 m² corresponden a un gran muro vegetal que cubre toda la fachada correspondiente a la Avda. Vidal i Barraquer. El muro y los espacios que lo bordean son un ejemplo de jardinería sostenible utilizando especies autóctonas con pocas necesidades hídricas. El agua de riego proviene de la depuración de agua del alcantarillado. Todo el espacio está pensado no solo para el disfrute sino que tiene también una finalidad didáctica que se hace evidente por los diversos paneles explicativos.

El muro se ha realizado con la tecnología Babylon que permite la creación del tapiz vegetal en unos andamios que permiten tener un espacio suficiente entre estos y la edificación que ahorran humedades y permiten la distribución del riego. En el muro se observa una gran pantalla y junto a la tecnología hay un espacio para la existencia de nidos de pájaros murciélagos que crean vida sostenible. El autor del proyecto ha sido el arquitecto Aurelio Jiménez¹⁶.

6.2.1.2 FV estructural. Implica contar con la vegetación desde el inicio del proceso creativo y diseñar teniendo en cuenta dónde alojar el sustrato, la instalación para su riego y accesos para su mantenimiento. La vegetación se integra en el mismo edificio mediante jardineras, cubetas o huecos en la obra. Es la solución más comprometida con el efecto estético natural pues forma parte del edificio mismo.

Los otros sistemas son susceptibles de ser desmontados y sustituidos por otra piel (FV Modular) o cortados (FV de Plantación a tierra). Admite especies arbustivas y colgantes.

¹⁶ HABLEMOS DE JARDINES. “Edificios con árboles”. Muro vegetal de la Tabacalera de Tarragona [en línea]. Colombia: El autor, 2012. [citado el 10-11-15]. Disponible en: <http://hablemosdejardines.blogspot.com.co/2012/05/edificios-com-arbres-muro-vegetal-de-la.html>

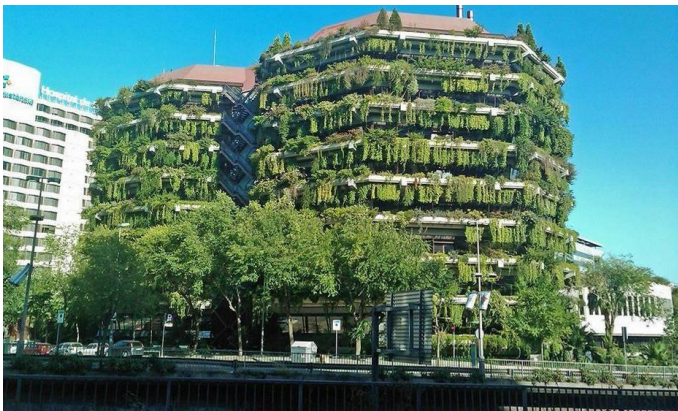
Requiere un mantenimiento importante de tipo intensivo. Un buen ejemplo es el edificio de Banca Catalana en Barcelona, actualmente Planeta, realizado en la Av. Diagonal de Barcelona en 1978, obra de los arquitectos Tous i Fargas y del botánico Jordi Aguilar¹⁷.

Edificio Planeta Barcelona

Figura 6. Edificio Planeta Barcelona.



Fuente: LLUÍS PUIG, Josep. *Fachada verde, tipologías* [en línea]. s.l.: Arquitectura + Ingenio, 2011. [citado el 16-08-15]. Disponible en: <http://arquitecturaplusingenio.blogspot.com.co/2011/07/fachada-verde-tipologias.html>



Fuente: GEOLOCATION. Edificio Planeta [en línea]. s.l.: El autor, s.f. Disponible en: <https://geolocation.ws/v/P/25324763/edificio-planeta/en>

¹⁷ GÓMEZ JÁUREGUI, Op. cit. Disponible en: http://www.tenseguridad.es/Publications/Fachadas_Con_Mucha_Historia_by_GOMEZ-JAUREGUI.pdf



Fuente: MARTÍNEZ RUIZ, Montse. El Primer jardín vertical en Barcelona [en línea]. Colombia: Botànic Serrat, 2015. [citado el 10-11-15]. <http://botanicmontserrat.blogspot.com.co/2015/02/el-primer-jardin-vertical-en-barcelona.html>

Hiedra (*Hedera helix*), olivilla (*Teucrium fruticans*), viburnos y algunas matas de Mesem. La plantación efectuada en 1978 y llevadas a cabo por empresas de jardinería que también se ocupaba de su mantenimiento, constaba de unas 76 especies diferentes, situadas en la orientación que precisaban y que florecían en cada una de las épocas del año. Hubo una replantación en el año 1994 y en la actualidad hay unas 12000 plantas de 46 especies vegetales.

El sistema hidropónico es un método para cultivar plantas usando disoluciones minerales, iones inorgánicos disueltos en el agua, en lugar de suelo, de modo que las raíces reciben nutrientes con todos los elementos químicos necesarios para su desarrollo sin tierra, es decir, en arena lavada, grava o perlita. La hidroponía, aplicada a la agricultura, produce vegetales de rápido crecimiento y ricos en nutrientes de forma sencilla, limpia y de bajo coste.

Fue construido en 1978, mucho antes de que el concepto de sostenibilidad formara parte de nuestro vocabulario.

El edificio, obra de Fargas y Tous, está situado en la confluencia de la avenida Diagonal y la Gran Vía Carlos III y consta de tres bloques octogonales de nueve pisos y un cuarto bloque de tres pisos, también octogonal, rodeados de unos cinturones de jardineras de acero separadas del edificio por un pasillo y que se extienden en una longitud de 3800 metros.

Las jardineras están pintadas de blanco para reflejar la luz y en su interior se colocaron ladrillos y una capa de grava volcánica para facilitar el drenaje. Se riegan mediante un sistema hidropónico desarrollado por los biólogos Jordi Aguilà y Xavier Martínez y la maquinaria para hacer posible este sistema de riego por goteo, junto con los tanques de fertilización, están situados cinco plantas bajo el suelo¹⁸.

La estructura de acero corten sustenta el sustrato, el sistema de iluminación y riego. Es accesible por los dos lados, importante para su mantenimiento.

¹⁸ MARTÍNEZ RUIZ, Montse. El Primer jardín vertical en Barcelona [en línea]. Colombia: Botànic Serrat, 2015. [citado el 10-11-15]. <http://botanicmontserrat.blogspot.com.co/2015/02/el-primer-jardin-vertical-en-barcelona.html>

Figura 7. Fachadas verdes.



Fuente: CERTIFICADOS ENERGÉTICOS. COM. Fachadas verdes para la eficiencia energética de los edificios en las ciudades [en línea]. España: El autor, s.f. [citado el 10-11-15]. Disponible en: <http://www.certificadosenergeticos.com/fachadas-verdes-para-la-eficiencia-energetica-de-los-edificios-en-las-ciudades>

El tipo de vegetación debe ser la adecuada al clima: tiene que ser vegetación autóctona, y la adecuada para la orientación de la fachada donde irá instalada, teniendo en cuenta sus necesidades de radiación solar. Hay que analizar la necesidad de riego de la planta, y la disponibilidad de agua para su mantenimiento. La elección del tipo de planta correcta puede evitar que el coste de mantenimiento de una fachada vegetal se convierta en algo inasumible por sus propietarios.

Las técnicas y procedimientos para lograr el crecimiento de las plantas en vertical y adaptarlas a las diferentes superficies y formas de muros, requieren de especies de pequeño porte con capacidad para crecer y adaptarse al crecimiento vertical. Además la elección lógica son las plantas tapizantes cuyo medio natural se terraplenes no horizontales.

Las fachadas vegetales funcionan como un sistema pasivo de mejora de la eficiencia energética, ya que actúan como aislamiento térmico, controlan la humedad y regulan la temperatura, al igual que lo hacen las cubiertas vegetales de las viviendas construidas con troncos en los países nórdicos, que funcionan como aislamiento térmico, e incluso evitan que entre el agua en el interior. Esta característica aporta un beneficio incalculable, si se utiliza también en las fachadas vegetales¹⁹.

¹⁹ CERTIFICADOS ENERGÉTICOS. COM. Fachadas verdes para la eficiencia energética de los edificios en las ciudades [en línea]. España: El autor, s.f. [citado el 10-11-15]. Disponible en: <http://www.certificadosenergeticos.com/fachadas-verdes-para-la-eficiencia-energetica-de-los-edificios-en-las-ciudades>

6.2.1.3 FV de plantación a tierra. Es el más antiguo de los tres, por su planificación distinguimos:

- Tradicional
- Diseñado

El Tradicional suele aparecer después de creado el edificio, habitualmente implantada por el usuario del edificio de forma intuitiva y en la mayoría de los casos un tanto inconsciente debido a que no se consideran los efectos que puede causar el crecimiento de las raíces o el acceso para delimitar el crecimiento. Es con diferencia el sistema más económico, de los tres, usa trepadoras que se auto sustentan por su plantación a tierra y por sus micro anclajes al edificio por mecanismos naturales de adhesión o anclaje, las plantas trepadoras disponen de estructuras vegetales especiales como raíces adventicias o zarcillos foliares como la hiedra o las parras, que les permiten fijarse directamente sobre muros de manera que no necesitan ningún soporte especial.

El Diseñado planifica la ubicación tanto de la plantación como del espacio que ocupará la vegetación en fachada guiándola por celosías, típicas de los patios andaluces, mallas metálicas o cableados inoxidable que favorecen la evolución de las trepadoras o enredaderas, tipo Central Elèctrica Enher²⁰.

6.2.2 Fachadas de tipo hidropónicas. El pionero de los jardines verticales hidropónicos es el biólogo francés Patrick Blanc que a partir de observar barrancos y taludes en el trópico creó un sistema de poco peso (30 Kg/M2) para lograr el propósito de cubrir paredes con vegetación.

Este tipo de sistemas consiste la instalación de unas láminas donde se propicia el crecimiento vegetal y un sistema de riego con agua totalmente automatizada y con capacidad de recirculación de agua.

Figura 8. Sistema hidropónico en fachadas.



Fuente: SCUDERIA_FANGIO. Como hacer Muros Verdes y Jardines verticales [en línea]. Italia: Taringa.net, s.f. [citado el 11-11-15]. Disponible en: <http://www.taringa.net/post/ecologia/17643832/Como-hacer-Muros-Verdes-y-Jardines-verticales.html>

²⁰ LLUÍS PUIG, Op. cit. Disponible en: <http://arquitecturaplusingenio.blogspot.com.co/2011/07/fachada-verde-tipologias.html>

Para la colocación de las láminas será necesaria la instalación de un enrastrelado de aluminio de 40x20x2 mm sobre la fachada previamente impermeabilizada. Dicho enrastrelado estará sujetado mediante tornillería galvanizada de 5 mm y taco posteriormente se colocará una capa de panel aminoplástico P-URB 750 de 10 mm de espesor sujeta mediante remaches de aluminio de alta tracción cada 40 cm y capa superior de polifiltro fitogenerante ph P-URB 700 de 3 mm de espesor. Sobre todo este conjunto se realizará la plantación de especies acorde al lugar y climatología local. Estos sistemas se sectorizan para el riego con un sistema completamente automatizado donde el agua se dejará caer en la parte superior del jardín e irá humedeciendo el soporte, escurriendo a una canaleta lineal de recogida.

Al final de la canaleta se colocará una cesta para recogida de impurezas y desde la canaleta conducirá el agua sobrante a un depósito enterrado desde donde un equipo de bombas (ubicados en un cuarto de instalaciones) recirculará el agua de riego a la plantación vertical. Funcionando todo el sistema mediante una recirculación no siendo necesario el aporte de agua Durante el proceso de recirculación las bombas peristálticas introducirán abono y fertilizante al agua de riego.

La reposición de agua en el sistema queda garantizada con el almacenamiento en otro depósito enterrado alimentado por un equipo de osmosis inversa conectado mediante acometida a la red pública de agua.

Ventajas

Ligereza: Estos tipos de sistemas son los más ligeros del mercado, aproximadamente el peso por metro cuadrado terminado de jardín vertical es de 30Kg/m², frente a los 150 Kg/m² de los otros sistemas es un gran avance.

Sustitución de la vegetación: Una gran ventaja respecto a los otros sistemas ya que son plantas independientes cada una de ellas ubicadas en una especie de bolsitas creadas en el fieltro permitiendo por tanto, la sustitución individual de cada una.

Innovación: La innovación principal de este sistema consiste en usar el sistema de cultivo hidropónico el cual se elimina la tierra de las plantas ya que estas son alimentadas mediante fertilizantes incluidos dentro del riego. Así mismo se evitan la aparición de insectos mediante la inclusión en el goteo de productos naturales que evitan la aparición de los mismos.

Comportamiento ambiental: Permite crear un entorno con gran similitud a entornos culturales.

Gran efecto de aislamiento térmico en invierno. En verano reducen la temperatura ambiente a través de procesos de sombra y de evapotranspiración. Las hojas, las raíces y los microorganismos asociados a ellas limpiar el aire al capturar de contaminantes atmosféricos. Ayudan a la gestión de las aguas pluviales al transformar superficies impermeables creadas por el hombre. Requieren menos agua que las plantas regadas por métodos tradicionales, ya que el riego se dirige directamente a las raíces de las plantas.

Protección del edificio: Al ser un cerramiento protector exterior, se evita el deterioro de la

fachada a causa de las radiaciones solares, evitando la aparición de casos patológicos comunes en sistemas constructivos tradicionales.

Estética: Esta es una de las principales ventajas del sistema puesto que permite emplear numerosas tipologías de plantas. Esto es así por que las raíces de las plantas tienen libertad para crecer a lo largo del sistema y no en un espacio limitado, como los sistemas de cajas modulares. Tener acceso a esa variedad permite muchas posibilidades de diseño y libertad artística.

Desventajas

Instalación: Requiere una cuidadosa instalación por parte de personal cualificado.

Inversión inicial: Este tipo de sistemas tienen un alto coste de implantación al ser sistemas bastante complejos que necesitan equipos de riego, depósitos, equipos de osmosis bombas de impulsión, etc.

Mantenimiento: Estos sistemas requieren de mucho mantenimiento.

Las plantas al alimentarse mediante cultivo hidropónico necesitan estar monitorizadas controlando los niveles del Ph y la conductividad para que permanezca equilibrio. El problema de estos sistemas es que si se produce un fallo eléctrico el sistema de goteo deja de funcionar siendo la vida útil de las plantas si estar alimentadas mediante el goteo aproximadamente dos días. Lo que implica el mantenimiento de una empresa especializada que sea capaz de actuar en estos²¹.

6.2.3 Fachadas de tipo modular

6.2.3.1 Enrejados modulares. Son módulos los cuales están formados por un sistema de tridimensional a base de perfiles y chapa de acero inoxidable, adecuándose a las tipologías de la fachada pudiendo acoplarse tanto en altura como en anchura fijándose dichos elementos a la fachada en cuestión.

Este sistema se compone de un sistema de macetero flotante (contenedor de la planta) que ancla con seguridad plantas a una fachada del edificio.

Los contenedores de las plantas son un gran sistema para lograr una cobertura vegetal duradera sin dañar la fachada como puede ocurrir con las fachadas tradicionales de hiedra.

Este sistema puede proporcionar una cobertura vegetal en las fachadas diez veces más rápidos que en las fachadas vegetales tradicionales donde la enredadera crece más lentamente.

Este sistema se compone de cinco elementos:

²¹ NAVARRO PORTILLA, Juan. Los jardines verticales en la edificación. Trabajo final de Máster en Edificación [en línea]. España: Universidad Politécnica de Valencia, 2013. [citado el 21-08-15]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33814/TFM%20JUAN%20NAVARRO.pdf>

Contenedores: Los tamaños de los mismos se pueden adaptar a cualquier tamaño o diseño.

Recipiente aislado: son contenedores aislados provistos de cables que proporcionan calor para que el cepellón de la planta no muera por congelación.

Mantenimiento: diseñado para el mantenimiento. Los contenedores se pueden montar directamente en la pared o en una pasarela de mantenimiento en situaciones muy altas de instalación.

Monitoreo remoto de riego y fertilización: sistema de riego por goteo computarizado vertical, con sensores de temperatura que permiten el monitoreo remoto de alta eficiencia 24/7 ya que solo se utiliza el agua necesaria.

Sistema de montaje. Diseñado para ser montado en cualquier tipo de estructura ya sea hormigón, de madera, vigas de acero, para fachadas muy altas se usa un sistema de pasarela en situaciones que permite la retirada de envases para la inspección, según sea necesario.

Antes de comenzar la instalación las enredaderas han adquirido un crecimiento óptimo en las instalaciones de la empresa. En es momento se instalan los módulos sobre los que ira este sistema a base de perfilería de acero que soporta dichos módulos, e instalando el riego por goteo y demás sensores para el control y monitorización del sistema. Este sistema permite la ejecución de aproximadamente 500 metros cuadrados de instalación dependiendo de la altura y accesibilidad.

Ventajas

Mantenimiento: Aunque hay que realizar una podas periódicas de las enredaderas, este sistema comparado con otros sistemas el mantenimiento es relativamente barato. Los sistemas incorporan el riego por goteo vertical, sensores y monitorización remota, que permite el riego automáticamente cuando es necesario. El sistema y los accesorios al estar realizados en materiales resistentes a la intemperie, y cuentan con una larga vida útil, por lo que su mantenimiento a priori es bajo.

Instalación: Las medidas de módulos pueden adaptar sus medidas por necesidades de diseño o tamaño. El sistema está diseñado para ser montado en estructuras de hormigón, madera o acero, permitiendo montar un sistema pasarelas en instalaciones a gran altura. Permite la eliminación de contenedores para su inspección, según sea necesario. Como los contenedores ya llevan instaladas plantas pre cultivadas y con un crecimiento ya avanzado no hay que esperar a que la planta crezca como en otros sistemas.

Costes de inversión: El coste de transporte e instalación es bajo. La relación entre el coste de implantación de dicho sistema comparado con los beneficios ecológicos que proporciona, son buenos. Comportamiento ambiental: Los beneficios ecológicos son tales como reducción de temperatura ambiente gracias a la sombra que provoca y de evapotranspiración, la captura de contaminantes atmosféricos y gestión de aguas pluviales. En el caso que empleemos plantas de hoja caduca permite la entrada de luz diurna en invierno.

Desventajas

Aislamiento térmico: Al igual que las fachadas vegetales tradicionales el efecto aislante y el incremento de inercia térmica es muy pequeño.

Protección de edificios: La protección contra los elementos atmosféricos no son tan pronunciados en este tipo de fachada verde.

Evolución de la cubrición de las plantas: Estamos ante la mayor desventaja puesto que las plantas necesitan un elevado número de años para la conseguir una cubrición total de la fachada. Este sistema mejora la situación con respecto a las fachadas tradicionales puesto que este sistema implanta ya plantas crecidas aun así para llegar a una cubrición total han de pasar bastantes años para llenar el vacío que ha dejado esa planta.

Estético: Existe una importante limitación en este tipo de fachadas vegetal en lo que respecta a la libertad artística y el uso de diferentes especies de plantas para crear patrones y diseños, puesto que las tipologías de las plantas están limitadas²².

6.2.3.2 Fachada vegetal modular. La fachada opaca prevegetada formada a partir de celdas drenantes es un sistema constructivo modular, concebido para ser utilizado como capa externa de fachada ventilada.

Los módulos vegetados en celdas drenantes están formados por paneles de polipropileno (52 x 260 x 480 mm) con una porosidad del 90%, que pueden ser machihembradas entre sí formando módulos del tamaño más conveniente para la adaptación del despiece al soporte.

Las oquedades se rellenan con sustrato cuya composición ha de ser específica para cada caso y clima, pudiendo variar las proporciones de turba, perlita, humus de lombriz, etc. El conjunto se envuelve con fieltro de poliéster (2 mm de espesor y 0.55 g/cm³ de densidad), obteniendo un paquete compacto colocado en paralelo a la fachada, de forma que la cara amplia del mismo quede vista.

Sobre esta cara se practican incisiones en el fieltro para introducir las especies vegetales. Las especies vegetales son elegidas en función del lugar y de un limitado desarrollo radicular, con el objetivo de que no requieran un importante mantenimiento. El inconveniente que puede tener la utilización de algunas plantas aéreas es relativo al peso, pudiendo llegar a tener demasiada agua almacenada en las hojas en comparación con su escasa raíz, debilitando así su fijación al panel.

Al estar el panel relleno de sustrato, la vegetación se desarrolla de forma natural: la planta se alimenta de los organismos y bacterias que se adhieren a sus raíces, captando la humedad e iniciando los procesos que proporcionan nutrientes a las plantas. A diferencia del cultivo hidropónico, cada planta se desarrolla hasta que las raíces colmatan los paneles, no siendo necesaria la poda de las mismas.

El sistema de irrigación es automático mediante circuito de riego por goteo. Los paneles

²² Ibid. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33814/TFM%20JUAN%20NAVARRO.pdf>

se pueden colocar sobre un soporte rígido que aguante el peso, o bien, sobre una subestructura fijada al elemento resistente. Los paneles prevegetados se apoyan sobre perfiles fijos, que pueden ser tanto puntuales como continuos. El vuelco se evita mediante pasadores verticales que permiten una sencilla y rápida colocación, así como el desmontaje o sustitución de cualquiera de los módulos.

Un módulo base (52 x 260 x 480 mm) vegetado y húmedo puede llegar a pesar hasta 6 kg, es decir, hasta 50 kg por metro cuadrado. Tras la primera capa vegetada se localiza una cámara ventilada. El flujo de aire disipa la humedad proveniente de los módulos vegetados y sustrae calor de la superficie posterior de los módulos por convección.

A pesar de estar protegido tanto del sol como de la lluvia directa, el interior del cerramiento debe ser hidrófugo o estar impermeabilizado²³.

6.2.4 Fachadas de plantas trepadoras. Hace ya mucho tiempo que se usa el recurso de cubrir muros exteriores con enredaderas trepadoras.

Casas antiguas y modernas se diferencian notablemente con el verde de las plantas vivas tapizando sus paredes, y más aún en primavera con las enredaderas florecidas.

Una de las plantas ideales para cubrir paredes exteriores es la enamorada del muro, debido a su aspecto compacto y contenido en una superficie de tapizado natural.

Algunas plantas avanzan más rápido que otras y cuelgan con mayor frondosidad, si usted elige cambiar el aspecto de su casa con estas plantas debe tener en cuenta el trabajo de jardinería que luego implica para mantener el crecimiento bajo control.

Figura 9. Casa rural Dehesa de San Juan, en Navarra.



Fuente: RODRÍGUEZ GODOY, Javi. Envueltas en hiedra [en línea]. s.l.: Escapada Rural, 2012. <http://www.escapadarural.com/blog/envueltas-en-hiedra/>

Desde el punto de vista estético, es un acierto en muchos casos. No se trata de jardines verticales, la nueva técnica de usar plantas en muros que gana cada vez más adopción y por motivos ecológicos, pero las trepadoras hacen un aporte al ambiente porque son parte del entorno natural.

²³ CHANAMPA, Mariana y otros. Tecnologías verdes como instrumentos de rehabilitación arquitectónica [en línea]. En: SB10mad Sustainable Building Conference. Memorias. [citado el 30-08-15]. Disponible en: <http://www.sb10mad.com/ponencias/archivos/a/A010.pdf>

Estas plantas crecen solas en casas abandonadas y también disciplinadas en viviendas urbanas rescatando el derecho a convivir con la vegetación natural, incluso en la ciudad densa.

Usted puede recurrir a una planta relativamente fácil de disciplinar que le asegura una cubierta bastante homogénea como la enamorada del muro y con un crecimiento controlable con tareas de poda espaciadas.

Los tonos que agregan estas plantas a las paredes y muros exteriores son de singular atractivo. Con distintas plantas en un jardín se crea una hermosa combinación cuando una pared hace de fondo.

Plantas trepadoras en las fachadas de las casas se agregan a posteriori, no suelen formar parte de los propósitos original del proyecto arquitectónico, generalmente son los propietarios que deciden cubrir las paredes con la intención cambiar el aspecto del frente o de los fondos en la propiedad.

Fachadas verdes hoy en día suele entenderse como ecológicas, fachadas con jardines verticales, esto es una tendencia, un movimiento, y también una moda. En las fachadas verdes hay una técnica por detrás para soportar las plantas en una superficie vertical, se usa el agua de lluvia y el conjunto con los soportes es un sistema.

Los diseñadores son los encargados de darle a las fachadas verdes un carácter estético y hasta artístico, estas superficies resultan del trabajo de verdaderos profesionales que hacen dibujos y combinan distintas plantas con diferentes tonos y aspectos finales.

Las enredaderas para muros usan como una extensión del verde del jardín sobre un sector de la casa, un cerco divisorio o alguna instalación exterior, por ejemplo una glorieta. Se eligen por los tonos, y muchas veces por las flores que dan en la temporada cálida.

Fachadas vegetales es un término genérico que ahora se usa más para indicar jardines verticales, no plantas trepadoras o enredaderas.

Los jardines verticales requieren de una técnica y método de soporte y nutrición para las plantas, la planta trepadora natural ya viene con sus recursos para adherirse a los distintos materiales de las paredes y sus raíces en el suelo la alimentan constantemente, en cambio la enredadera necesita de un soporte para avanzar que no puede ser liso.

La enamorada del muro (*phicus pumila*) siempre busca una pared sobre la cual crecer, avanza a un ritmo firme pero no demasiado rápido. Es la planta que mejor cubre y agrega textura a las paredes exteriores. Se planta junto al muro.

Plantas enredaderas suelen elegirse por sus flores que en primavera crean efectos muy bonitos, algunas tienen aromas como el jazmín del aire. Estas plantas se elevan porque buscan la luz y al no tener soporte propio lo toman prestado.

Hay plantas trepadoras anuales y de hoja perenne, algunas de estas segundas pueden

comportarse como anuales en zonas muy frías. Las hiedras tienen raíces aéreas, hay variedades de mayor y menor adherencia²⁴.

6.2.5 Otros sistemas de fachadas verdes

6.2.5.1 Sistemas constructivos para muros vegetales plantados

Sistema Green Living Technologies. El sistema “Green living technologies” está formado por paneles modulares de varios tamaños que se pueden solicitar en aluminio o acero inoxidable. El módulo estándar es de 24"x24"x3" (61×61×7,6cm) que se complementa con módulos de otros tamaños 12"x12"x3" (30,5×30,5×7,6cm), 12"x24"x3" (30,5×61×7,6cm) y piezas de esquina. Esta variedad de piezas permiten ejecutar formas complejas con mayor resolución que otros sistemas de paneles modulares.

Figura 10. Sistema Green Living Technologies.



Fuente: URBANARBOLISMO. Fachada vegetal. Sistemas constructivos [en línea]. España: El autor, 2012. [citado el 28-08-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-sistemas-constructivos/>

El sistema de plantación es sencillo, el sustrato se compacta en las celdas de los paneles y las especies vegetales se plantan mientras el panel permanece en posición horizontal. El sistema de riego por goteo se sitúa entre los paneles, el agua dreña a través de toda la fachada y se recoge en la parte inferior²⁵.

El sistema “Green living technologies” está formado por paneles modulares de varios tamaños que se pueden solicitar en aluminio o acero inoxidable. El módulo estándar es de 61×61×7,6cm y piezas de esquina. Esta variedad de piezas permiten ejecutar formas complejas con mayor resolución que otros sistemas de paneles modulares.

El sistema de plantación es sencillo, el sustrato se compacta en las celdas de los paneles y las especies vegetales se plantan mientras el panel permanece en posición horizontal.

²⁴ ZORRILLA, Héctor H. Fachadas de plantas trepadoras [en línea]. s.l.: Arquitectura de casas, 2015. [citado el 16-08-15]. Disponible en: <http://blog.arquitecturadecasas.info/2015/06/plantas-trepadoras-en-fachadas.html>

²⁵ URBANARBOLISMO. Fachada vegetal. Sistemas constructivos [en línea]. España: El autor, 2012. [citado el 28-08-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-sistemas-constructivos/>

El sistema de riego por goteo se sitúa entre los paneles, el agua drena a través de toda la fachada y se recoge en la parte inferior²⁶.

Sistema de paneles modulares de 60x60

Figura 11. Sistema de paneles modulares de 60x60.



Fuente: URBANARBOLISMO. Fachada vegetal. Sistemas constructivos [en línea]. España: El autor, 2012. [citado el 28-08-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-sistemas-constructivos/>

Sistema de paneles de 60x60cm de chapa perforada con o sin base de poliestireno extraído fijados a través de perfiles a un cerramiento existente, incluyen un sistema de riego automatizado. Los perfiles se solicitan con 4 meses de antelación ya que se suministran con las plantas enraizadas y crecidas²⁷.

Patente Patrick Blank

Figura 12. Patente Patrick Blank.



Fuente: URBANARBOLISMO. Fachada vegetal. Sistemas constructivos [en línea]. España: El autor, 2012. [citado el 28-08-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-sistemas-constructivos/>

²⁶ NOHANY. El bambú como nueva opción para muros verdes [en línea]. s.l.: Muros Verdes, 2012. [citado el 07-11-15]. Disponible en: <http://ideaparamurosverdes.blogspot.com.co/>

²⁷ URBANARBOLISMO, Op. cit. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-sistemas-constructivos/>

El Muro Vegetal de Patrick Blanc consiste en la superposición de diferentes elementos que garantizan el crecimiento y fijación a largo término de las raíces de las plantas; y esto sobre una superficie y no en un volumen, al contrario de los otros métodos de cultivo. La patente de Patrick Blanc se basa, pues, en esta novedosa técnica de cultura vertical que permite eliminar los problemas de peso del sustrato y, por lo tanto, asegurar la vegetalización de las superficies de los edificios, sea cual sea la altura. Según esta solución que ya ha demostrado su efectividad desde hace numerosos años, se grapán 2 capas de fieltro de poliamida sobre unas planchas de pvc expandido de 10mm de grosor (soporte estanco) y se fijan sobre una estructura metálica que asegura el aislamiento (cojín de aire) con el muro “portador”.

Sobre este elemento, de gran capilaridad y retención de agua, es donde se desarrollan las raíces de las plantas. Éstas se instalan en todas las alturas del muro, con una densidad del orden de una veintena por metro cuadrado. El riego se efectúa a partir de un conjunto de tubos regularmente agujereados, superpuestos a partir de la cima del muro vegetal. El sistema está programado por electroválvulas acopladas a un distribuidor de solución nutritiva poco concentrada. La simplicidad de esta técnica va unida a su fiabilidad a largo plazo. El mantenimiento es bajo ya que las malas hierbas no son capaces de invadir estas superficies verticales.

Sistema Drivable Grass modificado

Figura 13. Sistema Drivable Grass modificado.



Fuente: URBANARBOLISMO. Fachada vegetal. Sistemas constructivos [en línea]. España: El autor, 2012. [citado el 28-08-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-sistemas-constructivos/>

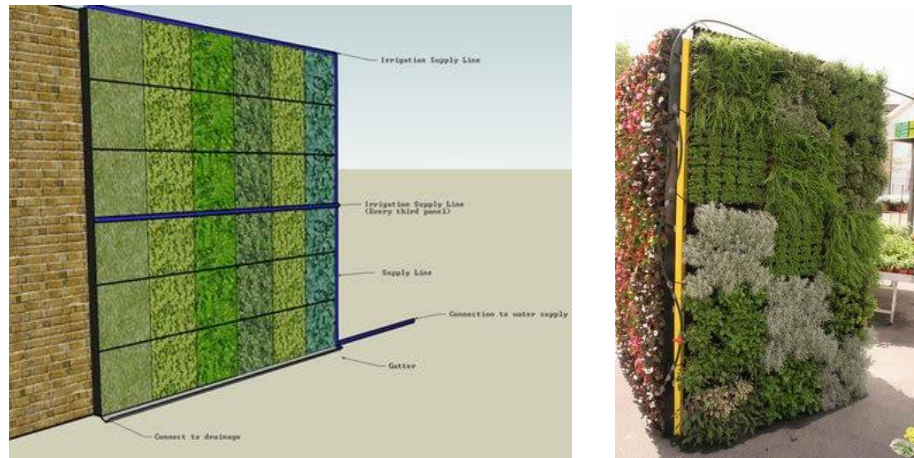
Utilizado en la Casa Verde en Pozuelo de Abalos y Herreros.

Drivable Grass. Con este nombre se presenta un novedoso producto que puede servir para crear *pavimentos permeables* de múltiples acabados. Está indicado para utilizarse en lugar de asfalto o pavimentos tradicionalmente ‘duros’ para calzadas, patios, áreas de estacionamiento... es una especie de alfombra de hormigón flexible y de fácil ajuste a superficies irregulares, una mini estructura prefabricada en forma cuadrada de 61x61x3,8cm, de unos 20kg de peso, con espacios intersticiales que permiten el crecimiento de **hierba**. Por su carácter permeable, hace que el agua filtre fácilmente y pueda controlarse la escorrentía del agua de lluvia.

Drivable Grass también puede rellenarse con otros materiales que no requieran agua, como por ejemplo arena, grava, tierra, césped artificial, los resultados siguen siendo sorprendentes. La instalación de este pavimento no es muy complicada, será suficiente una base y sub-base compactadas, con la opción de algún geotextil entre ambas, y capa de arena y tierra vegetal, o cualquier otro material de los antes mencionados²⁸.

Sistema EIt. Elevated Landscape Technologies

Figura 14. Sistema EIt. Elevated Landscape Technologies.



Fuente: URBANARBOLISMO. Fachada vegetal. Sistemas constructivos [en línea]. España: El autor, 2012. [citado el 28-08-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-sistemas-constructivos/>

El sistema de EIt. Elevated Landscape Technologies, consiste en módulos fabricados de HDPE 100% reciclado de paneles de 20x20x2.5 que sostienen el sustrato y las plantas. Otro sistema es el creado por GSky Plant Systems, Inc., que utiliza paneles de polipropileno con orificios circulares en cada una de sus caras, y en cuyo interior está el sustrato. Las plantas que utilizan son de carácter arbustivo y crecen a través de los orificios. El sistema de riego es por goteo, por encima de los paneles²⁹.

²⁸ WISCO. 'Drivable Grass': pavimento permeable [en línea]. España: is Arquitectura, 2010. [citado el 11-11-15]. Disponible en: <http://is-arquitectura.es/2010/02/14/drivable-grass-pavimento-permeable-de-hormigon/>

²⁹ ROMERO, Fernando. Vegetales en la #Arquitectura: sistemas vegetales verticales para edificios [en línea]. España: i-ambiente, 2015. [citado el 10-11-15]. Disponible en: <http://www.i-ambiente.es/?q=blogs/vegetales-en-la-arquitectura-sistemas-vegetales-verticales-para-edificios#sthash.cu5mDN6F.dpuf>

Figura 15. Paneles vegetados en celdas metálicas. Sistema creado por Intemper.



Fuente: ROMERO, Fernando. Vegetales en la #Arquitectura: sistemas vegetales verticales para edificios [en línea]. España: i-ambiente, 2015. [citado el 10-11-15]. Disponible en: <http://www.i-ambiente.es/?q=blogs/vegetales-en-la-arquitectura-sistemas-vegetales-verticales-para-edificios#sthash.cu5mDN6F.dpuf>

Figura 16. Sistema modular de paneles vegetados en caja metálica de GSKy Plant Systems Inc.



Fuente: ROMERO, Fernando. Vegetales en la #Arquitectura: sistemas vegetales verticales para edificios [en línea]. España: i-ambiente, 2015. [citado el 10-11-15]. Disponible en: <http://www.i-ambiente.es/?q=blogs/vegetales-en-la-arquitectura-sistemas-vegetales-verticales-para-edificios#sthash.cu5mDN6F.dpuf>

Sistema G-Sky Modular

Figura 17. Sistema G-Sky Modular.



Fuente: URBANARBOLISMO. Fachada vegetal. Sistemas constructivos [en línea]. España: El autor, 2012. [citado el 28-08-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-sistemas-constructivos/>

Otro sistema modular, es un panel de 12×12" de polipropileno montado sobre soportes de acero. Viene preplantado con el sustrato apropiado, filtro de malla y 13 plantas por panel. Se puede cubrir una superficie creando un patrón con paneles de distintas especies como un bitmap³⁰.

Figura 18. Sistema G-Sky Modular.



Fuente: LANDSCAPE + URBANISM. Living walls: systems approach [en línea]. Colombia: El autor, 2008. [citado el 09-11-15]. <http://landscapeandurbanism.blogspot.com.co/2008/07/living-walls-systems-approach.html>

Sistema Plantwall (Green Fortune). La aplicación vertical de la vegetación proporciona un poderoso impacto. Es casi como estar fuera de su interior. Hace posible tener mucha vegetación sin perder espacio en el piso. Además de la impresión de belleza, las plantas proporcionan oxígeno y humedad para mejorar la calidad del aire. Algunas plantas incluso tienen propiedades de limpieza de aire. Plantwall es también un hermoso silenciador.

³⁰ URBANARBOLISMO, Op. cit. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-sistemas-constructivos/>

El sistema de riego por goteo integrado hace que el riego muy suave. A través del sistema de riego por goteo, también de fertilizantes se distribuye dentro de la industria textil de cuatro capas de la pared. Este proceso es programado y se controla automáticamente³¹.

Figura 19. Sistema Plantwall (Green Fortune).



Fuente: GREEN FORTUNE. Plantwall. A vertical garden on autopilot [en línea]. USA: El autor, s.f. [citado el 10-11-15]. Disponible en: <http://www.greenfortune.com/plantwall.php>

Figura 20. Jardín vertical con materiales reciclados.



Fuente: JARDINES VERTICALES Y CUBIERTAS VEGETALES. Jardín vertical con materiales reciclados [en línea]. Colombia: El autor, [citado el 10-11-15]. Disponible en: <http://jardinesverticalesycubiertasvegetales.blogspot.com.co/2011/08/jardin-vertical-con-materiales.html>

Esta instalación de jardín vertical ya veterana, utiliza bolsas de plástico fundidas y mástiles de antena de televisión junto con 600 plantas. A veces importa más la densidad de las plantas que el sistema de plantación para conseguir un efecto visual interesante³².

³¹ GREEN FORTUNE. Plantwall. A vertical garden on autopilot [en línea]. USA: El autor, s.f. [citado el 10-11-15]. Disponible en: <http://www.greenfortune.com/plantwall.php>

³² JARDINES VERTICALES Y CUBIERTAS VEGETALES. Jardín vertical con materiales reciclados [en línea]. Colombia: El autor, [citado el 10-11-15]. Disponible en: <http://jardinesverticalesycubiertasvegetales.blogspot.com.co/2011/08/jardin-vertical-con-materiales.html>

Hormigón vegetal

Figura 21. Hormigón vegetal.



Fuente: URBANARBOLISMO. Fachada vegetal. Sistemas constructivos [en línea]. España: El autor, 2012. [citado el 28-08-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-sistemas-constructivos/>

Un grupo de investigación de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) ha desarrollado y patentado un hormigón biológico con el que construir fachadas «vivas». Paredes en las que crezcan líquenes, musgos y otros microorganismos que mejora el confort térmico de los edificios y reduce el CO₂ de la atmósfera.

Los investigadores han desarrollado este hormigón biológico a partir de dos materiales base del cemento: el hormigón convencional carbonatado, con el que obtienen un material con un ph sobre 8, y un cemento de fosfato de magnesio, que es un conglomerado hidráulico que no requiere ningún tipo de tratamiento para reducir el Ph, ya que este es ligeramente ácido.

El cemento de fosfato de magnesio se ha utilizado anteriormente como un material de reparación por su propiedad de rápido fraguado y también se ha empleado como biocemento en el ámbito de la medicina y la odontología, lo que indica que no tiene un impacto medioambiental adicional, según defienden los investigadores.

Una de las características de este innovador hormigón es que se comporta como una base biológica natural por el crecimiento y desarrollo de determinados organismos biológicos, sobre todo micro algas, hongos, líquenes y musgos.

El nuevo hormigón tiene tres capas, una de impermeabilización, otra biológica, y una tercera que ejerce de revestimiento y que permite la entrada del agua de la lluvia y la redirige a la capa biológica. Las fachadas que se construyan con este nuevo hormigón podrán reabsorber y reducir el CO₂ de la atmósfera, además de funcionar como un potente aislante térmico y de posibilitar la construcción de jardines verticales³³.

³³ EFE. Desarrollan un hormigón biológico para construir fachadas 'verdes' [en línea]. Barcelona: El autor, 2012. [citado el 11-11-15]. Disponible en: <http://www.elcorreo.com/innova/investigacion/20121213/hormigón-verde-201212131729-rc.html>

6.2.5.2 Sistemas constructivos para plantas trepadoras

Figura 22. Plantas trepadoras.



Fuente: URBANARBOLISMO. Fachada vegetal. Sistemas constructivos [en línea]. España: El autor, 2012. [citado el 28-08-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-sistemas-constructivos/>

Otra forma sencilla de lograr una fachada vegetal. Al contrario de lo que se piensa la vegetación protege el muro de las inclemencias externas y alarga su vida³⁴.

Sistema Decorcable

Figura 23. Sistema Decorcable.



Fuente: URBANARBOLISMO. Fachada vegetal. Sistemas constructivos [en línea]. España: El autor, 2012. [citado el 28-08-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-sistemas-constructivos/>

Sistema de cables de acero preparados para el crecimiento de plantas trepadoras. En la página web resulta difícil encontrar información³⁵.

³⁴ URBANARBOLISMO, Op. cit. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-sistemas-constructivos/>

³⁵ Ibid. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-sistemas-constructivos/>

Sistema Biowall

Figura 24. Sistema Biowall.



Fuente: URBANARBOLISMO. Fachada vegetal. Sistemas constructivos [en línea]. España: El autor, 2012. [citado el 28-08-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-sistemas-constructivos/>

Es un precioso sistema de cables para enredaderas³⁶.

6.3 SITUACIÓN Y CLIMATOLOGÍA

6.3.1 Efectos de las temperaturas en los edificios. Las propiedades del hormigón se ven sustancialmente modificadas por la exposición a altas temperaturas, incendios, debido a la aparición de micro y macrofisuras que afectan su estructura. El grado de alteración que se produce depende fundamentalmente del nivel de temperatura alcanzado, del tiempo de exposición y de la composición del hormigón.

Desde un punto de vista técnico-científico, los ascensos de temperatura afectan al hormigón en varios aspectos relacionados con:

- Deshidratación del gel de cemento, que conlleva pérdida de resistencia mecánica. Ocurre partir de 300°C
- Evaporación del agua, con efectos explosivos. Efecto “Spalling” que rompe la superficie y expone las armaduras al efecto del fuego. Especialmente en hormigones de alta resistencia poco porosos.
- Dilataciones diferenciales del hormigón que causan tensiones
- Cambios de fase de los componentes del hormigón.
- Calentamiento de las armaduras, con pérdida de resistencia mecánica, dilataciones.

Las estructuras de hormigón de los edificios deben aportar un tiempo de mantenimiento de capacidad resistente en caso de incendio durante un tiempo determinado. Esta estabilidad frente al fuego viene determinada en la formativa de aplicación de acuerdo a edificación e Industria.

Este tiempo de estabilidad frente al aumento de temperaturas oscila entre 30 y 180 minutos en general. Los elementos componentes de la estructura (pilares, vigas, forjados,

³⁶ Ibid. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-sistemas-constructivos/>

etc.) de hormigón deben ser diseñados en obra nueva con la adecuada Resistencia al Fuego.³⁷.

6.3.2 Efectos de la temperatura y los asentamientos diferenciales sobre las estructuras

Efectos del cambio de volumen. Los cambios de temperatura, la retracción por fraguado del hormigón, o la fluencia lenta del hormigón, producen (todos ellos) cambios de volumen.

- Si el cambio de temperatura es uniforme y la estructura es isostática o libre, no se originan tensiones.
- Si el cambio de temperatura no es uniforme o la estructura es hiperestática, se originan tensiones.
- Se lo puede visualizar imaginando que se quita el vínculo hiperestático, dando lugar a un movimiento libre (sin tensiones) y luego se aplica una fuerza que restituya la posición en el apoyo.

Efectos térmicos sobre las construcciones

- Un cambio de temperatura produce deformaciones en los materiales. Hay un cambio de longitud de los mismos.
- Un elemento de longitud L , frente a un cambio de temperatura Δt , se alarga ΔL . la deformación específica será:

$$c_T = \frac{\Delta L}{L} \quad \text{Y esa deformación depende del salto térmico en la forma: } c_T = \alpha \Delta t$$

- La constante α se denomina *coeficiente de dilatación térmica* y depende del material.

- * Estructura isostática: no se producen tensiones térmicas
- * Estructura completamente restringida: tensiones máximas
- * Estructura intermedia: tensiones intermedias

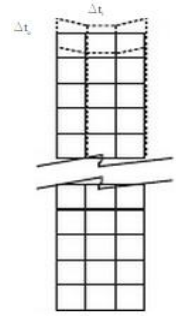
Ejemplo:



Se producen alargamientos térmicos en las columnas y en la regla. Debido a la vinculación hiperestática de ésta última se producirán deformaciones y tensiones en las columnas y en la viga.

³⁷ COLEGIO OFICIAL DE APAREJADORES, ARQUITECTOS TÉCNICOS E INGENIEROS DE EDIFICACIÓN DE MADRID. Efectos de las altas temperaturas en las estructuras de hormigón armado [en línea]. En: Gabinete Técnico. 2012, enero. no. 716. [citado el 23-08-15]. Disponible en: http://www.aparejadoresmadrid.es/archivos/asesoria/Tecnolog%C3%ADa/Efectos_de_las_altas_temperaturas_en_las_estructuras_de_hormigon_armado.pdf

Otro ejemplo: un edificio alto que debido a la climatización de sus ambientes tiene cambios de temperatura distintos para las columnas interiores que para las exteriores. Se producen también tensiones en columnas y vigas.



Además de las tensiones en la estructura, las distorsiones ocurridas - especialmente en los pisos superiores- deben ser controladas pues pueden inducir a daños en los elementos no-estructurales (revestimientos, cerramientos, etc.).

Según el Council on Tall Buildings and Urban Habitat:

- En edificios de hasta 10 pisos y que no excedan los 60 m de dimensiones en planta, la acción térmica puede ser despreciada. Tanto las tensiones en la estructura como las deformaciones que pueden afectar a elementos no estructurales, serán despreciables.
- Los edificios de entre 10 y 30 pisos requieren que se evalúe el efecto térmico, así como el de retracción y fluencia lenta.
- Edificios de más de 30 pisos requieren un análisis extensivo de los movimientos verticales debidos a temperaturas para evitar que afecten a la estructura o a elementos no estructurales.

Efectos de los asentamientos diferenciales. Frente a asentamientos diferenciales:

- Las estructuras muy flexibles se acomodan al suelo. Ejemplo: presas de tierra, pavimentos, etc.
- Las estructuras muy rígidas se mueven como cuerpo rígido (traslación y rotación). Ejemplo: silos, chimeneas, etc.
- Las estructuras intermedias en general sufren deformaciones (en estructuras hiperestáticas) y se producen esfuerzos que pueden llegar a ser importantes. Ejemplo: casas, edificios, etc³⁸.

6.3.3 Efecto de la incidencia del viento sobre la edificación. La fuerza del viento es compleja. El efecto del viento en un edificio depende de la interacción de muchas variables. Variables naturales incluyen la velocidad del viento, la altura del viento, características de la superficie del suelo y las propiedades del viento. Las variables de un edificio incluyen la forma, localización y propiedades físicas de la estructura. Juntos, estas variables crean diferencias en la presión que empuja y hala en las superficies exteriores de los edificios.

Levantamiento. Ocurre cuando el viento fluye por encima del techo. Similar al efecto de las alas de un aeroplano, el viento que fluye por debajo del techo empuja hacia arriba, mientras que el viento por encima del techo hala hacia abajo.

³⁸ SONZOGNI, Victorio E. Efectos de la temperatura y los asentamientos diferenciales sobre las estructuras [en línea]. s.l: Academia, s.f. [citado el 19-08-15]. Disponible en: http://www.academia.edu/11662568/Efectos_de_temperatura

Inclinación o deslizamiento. Ocurren cuando la presión del viento horizontal crea una acción de desgarre a lo largo de la base de la estructura.

Vuelco o rotación fuera de la base de la estructura. También puede resultar como una acción del desgarre cuando la estructura no puede inclinarse o deslizarse de la base de la estructura.

Una casa segura es diseñada para resistir estos tres efectos del viento. Las superficies exteriores de una casa interactúan para funcionar como el sobre del edificio. Piense que este sobre es un escudo protector contra los elementos del aire como el calor, la humedad y el tiempo de tormenta. Una protección más fuerte hace que una casa sea más segura y que los ocupantes estén más cómodos.

Los componentes estructurales del sobre de un edificio son la base de la estructura, las paredes y el techo. Un sobre seguro tiene una vía de carga continua. Esta vía conecta todas las partes estructurales del sobre de un edificio, así como el esqueleto humano brinda soporte y conecta partes de nuestro cuerpo.

Los componentes no-estructurales del sobre de un edificio incluye en ventanas, puertas, puertas de garaje y otras aberturas en los como ponentes estructurales. Estas partes protegen el interior de un edificio así como la piel protege nuestros órganos internos. La conexión más débil del sobre de un edificio es el punto donde muy probablemente fracase en una tormenta de viento. Cuando un huracán o un tornado azotan, una casa es solo tan fuerte, como la conexión más débil.

Una vez que la fuerza de los vientos crea una abertura en el sobre del edificio, el peligro de un fracaso estructural es mayor. La intrusión del agua es otro efecto dañino causado por el agua que cargan los vientos³⁹.

6.3.4 Efecto sobre la contaminación ambiental y acústica. El ruido ha sido siempre, y más en nuestros días, un agente perturbador de la vida ciudadana, especialmente en las grandes ciudades. Los niveles sonoros ambientales de Madrid difícilmente pueden afectar al sistema auditivo, aunque sí pueden dar lugar a otros efectos perjudiciales para los ciudadanos en la salud, en la economía, etc.

El ruido se considera contaminación acústica cuando implica molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza. En cuanto a los efectos adversos sobre la salud se suelen clasificar en efectos auditivos y efectos no auditivos.

Efectos auditivos. Los más conocidos son el trauma acústico, que se produce con ruidos impulsivos, de gran intensidad y corta duración (explosión) que pueden superar 140 dBA, y pueden ocasionar una pérdida auditiva permanente en todas las frecuencias, y la elevación temporal o permanente del umbral auditivo, que puede producirse con ruidos impulsivos de intensidad elevada y también con la exposición prolongada a ruidos de ruidos de intensidad moderada o alta (más de 80 dBA).

³⁹ RUPPERT, Kathleen C.; KNOWLES, Hal S. y LENFESTY, Karla A. ¿Cómo el viento afecta las casas? [en línea]. Florida, Estados Unidos: University of Florida, 2007. [citado el 30-08-15]. Disponible en: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/AE/AE42600.pdf>

Efectos no auditivos. El ruido es un estímulo que desde el nacimiento provoca reflejo de defensa y puede tener otros efectos perjudiciales en la salud de las personas a niveles muy inferiores a los de los efectos auditivos. En estos posibles efectos influyen, especialmente, además de los niveles la relación subjetiva entre las personas receptoras y la fuente de ruido.

El ruido además de los efectos perjudiciales para la salud, puede producir otros efectos adversos, tales como la pérdida de la privacidad y la depreciación de los inmuebles, especialmente los dedicados a vivienda⁴⁰.

De esa manera, los ruidos que constituyen contaminación acústica conllevan efectos e implicaciones que no son rápidamente perceptibles pero que afectan la salud y la calidad de vida. Hay efectos de la contaminación acústica que tienen directa incidencia sobre la audición del ser humano.

En general, se observan efectos del ruido sobre el organismo y es natural que el organismo se defienda frente a un ataque a su sistema, los ruidos que producen contaminación acústica son enemigos de los cuales debe cuidarse. Y que pueden producir:

- Alteraciones cardiovasculares
- Alteraciones hormonales
- Alteraciones respiratorias
- Alteraciones del sueño

También el ruido causa efectos psicológicos que ocasionan trastornos en la personalidad, cada persona percibe los ruidos de forma diferente. En ese sentido, no todas las personas reaccionan de la misma manera ante una situación de contaminación acústica. El malestar anímico, el estrés y las alteraciones en el aprendizaje suelen ser los efectos psicológicos más comunes⁴¹.

6.3.5 Efecto isla de calor urbano. El aire en zonas urbanas puede ser 2 - 5°C (3.6 - 9°F) más caliente que en las zonas rurales. Esto se conoce como el efecto isla de calor urbano. Es más evidente cuando hay poco viento. Una isla de calor urbano puede aumentar la temperatura y la duración de una ola de calor. Y el calor de la ciudad puede influenciar los estados del tiempo, cambiar en los patrones del viento, nubes y precipitación.

Hay muchos factores que pueden influenciar el efecto isla de calor urbano. Los cambios que se realizan en la superficie de la tierra en zonas urbanas tienen un gran impacto en cuanto a si se formará una isla de calor urbano o no. Por ejemplo, muchas ciudades tienen menos árboles que las zonas rurales circundantes. Los árboles sombrean la tierra, evitando que la radiación del Sol sea absorbida. Sin ellos, la superficie de la tierra se

⁴⁰ AYUNTAMIENTO DE MADRID. Efectos de la contaminación acústica [en línea]. Madrid: El autor, 2015. [citado el 02-09-15]. Disponible en: <http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/calaire/contAcustica/efectos.html>

⁴¹ SONOFLEX. El peligro de los ruidos molestos: efectos de la contaminación acústica en las personas [en línea]. Buenos Aires: El autor. s.f. [citado el 02-09-15]. Disponible en: <http://sonoflex.com/fonac/el-peligro-de-los-ruidos-molestos-efectos-de-la-contaminacion-acustica-en-las-personas/>

calienta. Los tejados y el pavimento oscuro también absorben más radiación. Los automóviles, que emiten calor de sus motores y escapes, también contribuyen al efecto de la isla de calor. Una menor cantidad de plantas también significa que habrá menos evapotranspiración, que es un proceso que refresca al aire.

Hoy, muchas ciudades están haciendo un esfuerzo para combatir el efecto isla de calor urbana. Están utilizando materiales blancos o reflectivos para los techos y caminos. Se están plantando árboles a lo largo de las calles de las ciudades. Y en muchas áreas se están instalando azoteas verdes, es decir, plantas vivas en los tejados⁴².

Isla de calor urbana es el nombre que se usa para describir el calor característico tanto de la atmósfera como de las superficies en las ciudades (o áreas urbanas) comparadas con sus entornos no urbanizados. La isla de calor es un ejemplo de modificación climática no intencional cuando la urbanización le cambia las características a la superficie y a la atmósfera de la tierra.

Hay tres tipos de islas de calor:

- Isla de calor de la capa de dosel (ICCD)
- Isla de calor de la capa de perímetro (ICCP)
- Isla de calor de superficie (ICS)

El aire caliente forma una cúpula o pluma sobre la ciudad. Las dos primeras se refieren a un calentamiento de la atmósfera urbana; la última se refiere al calor relativo de las superficies urbanas. La capa de dosel urbana (CDU) es la capa de aire de las ciudades que está más cercana a la superficie, la cual se extiende hacia arriba aproximadamente hasta la altura media de las edificaciones. Por encima de la capa de dosel urbana se encuentra la capa de perímetro urbana la cual puede ser de 1 kilómetro (km) o más de espesor durante el día, y encogerse a cientos de metros o menos durante la noche⁴³. La ICCP es la que forma una cúpula de aire más caliente que se extiende en dirección del viento más allá de la ciudad. El viento a menudo le cambia la forma a la cúpula por una forma de pluma.

Los tipos de isla de calor varían en cuanto a su forma espacial (forma), características temporales (relacionado con el tiempo), y algunos de los procesos físicos subyacentes que contribuyen a su desarrollo. Los científicos miden las temperaturas del aire para la ICCD y la ICCP directamente usando termómetros, mientras que la ICS es medida con sensores remotos instalados sobre satélites o aviones^{44,45}.

⁴² VENTANAS AL UNIVERSO. Efecto isla de calor urbano [en línea]. s.l.: El autor, 2009. [citado el 05-09-15]. Disponible en: http://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/urban_heat.html&lang=sp

⁴³ OKE, T.R. The heat island characteristics of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects. In: CERMAK, J.E. *et al.* (eds). *Wind Climate in Cities*. Netherlands: Kluwer Academic, 1995. p. 81-107.

⁴⁴ ROTH, M., OKE, T.R. and EMERY, W.J. Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. In: *International Journal of Remote Sensing*. 1989. vol. 10, p. 1699-1720.

⁴⁵ VOOGT, J. A., and OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban areas. In: *Remote Sensing of Environment*. 2003. vol. 86, p. 370-384.

Características de las islas de calor

Forma espacial general (forma) de la isla de calor. Las isotermas, o líneas de igual temperatura, forman un patrón que es semejante al de una "isla" que sigue aproximadamente la forma de la región urbanizada, rodeada por zonas más frías. A menudo hay un aumento intenso de la temperatura del aire en la capa de dosel, en el límite entre áreas rurales y suburbanas, seguido por un aumento lento y a menudo variable hacia el núcleo de la ciudad donde ocurren las temperaturas más altas. Las islas de calor de la capa de perímetro muestran mucho menos variabilidad que los otros tipos de islas de calor, y un corte transversal muestra que su forma se parece a una simple cúpula o pluma, donde el aire más caliente es transportado con el viento fuera de la ciudad.

Intensidad de la isla de calor. El calor solar incrementa las temperaturas de la superficie. La intensidad de la isla de calor es una medida de la fuerza o magnitud de la isla de calor. Por la noche la intensidad de la isla de calor de la capa de dosel típicamente se encuentra en un rango de entre 1° y 3°C, pero bajo condiciones óptimas, intensidades de hasta 12°C han sido registradas⁴⁶. La ICCP tiende a mantener una intensidad de isla de calor más constante tanto durante el día como en la noche (~1.5° a 2°C). La ICS es generalmente más definida durante el día cuando el fuerte calentamiento solar puede llevar a mayores diferencias de temperatura entre las superficies secas y aquellas mojadas, sombreadas o con vegetación.

Características de la superficie y la isla de calor. Superficies secas y oscuras absorben más luz solar. El tipo de superficie es un factor importante en cuanto a los patrones espaciales de las capas de temperatura del aire superficial y de dosel en la ciudad. Las temperaturas son más altas en aquellas zonas con mayor densidad de construcción, y son más bajas cerca a parques o zonas más abiertas. Las temperaturas de la superficie son especialmente susceptibles a las condiciones de la superficie: durante el día las superficies secas y oscuras que absorben luz solar fuertemente se vuelven muy calientes, mientras que las superficies más claras y/o mojadas son mucho más frías^{47,48}. El sombreado de la superficie también ayuda a controlar la temperatura.

Forma temporal de la isla de calor. Todas las islas de calor se forman debido a las diferencias en las tasas de calentamiento y enfriamiento de las ciudades con relación a sus entornos.

Las tasas de calentamiento y enfriamiento afectan las islas de calor.

- ICCD: la intensidad de la isla de calor aumenta con el tiempo, partiendo desde la puesta del sol hasta un máximo entre un punto unas pocas horas después de la puesta del sol y las horas previas a la madrugada. Generalmente durante el día la intensidad de la ICCD es bastante débil, y a veces es negativa (una isla fría) en algunas partes de la ciudad donde altos edificios u otras estructuras proveen sombra extensa, y donde

⁴⁶ OKE, T.R. Urban climates and global change. In: PERRY, A. and THOMPSON, R. (eds). Applied climatology: principles and practices. London: Routledge, 1997. p. 273-287.

⁴⁷ ROTH, OKE and EMERY, op. cit., p. 1699-1720.

⁴⁸ VOOGT and OKE, Op. cit. p. 370-384.

hay una carencia de calentamiento debido al almacenamiento de calor en los materiales de construcción.

- ICS: es fuertemente positiva tanto durante el día como durante la noche debido a superficies urbanas más calientes. La ICS diurna es generalmente mayor puesto que la radiación solar afecta las temperaturas de las superficies.

ICCP: es generalmente positiva tanto en el día como en la noche pero mucho menor en magnitud que la ICCD o la ICS.⁴⁹.

Las cubiertas vegetales ecológicas proporcionan numerosos servicios ecosistémicos, entre ellos la amortiguación del efecto isla de calor. La vegetación de las cubiertas retienen las partículas de polvo en suspensión. Además absorbe el dióxido de carbono generando a cambio oxígeno, mejorando en consecuencia la calidad del aire, limpiándolo. Por otra parte la incidencia de los rayos solares sobre las cubiertas vegetales evita que éstos sean reflejados y absorbidos por el hormigón, acumulan esa energía recibida invirtiéndola en procesos como la fotosíntesis y la transpiración.

Otro de los problemas generados por el efecto isla de calor es, como ya hemos comentado, que se hace necesaria una mayor y más costosa refrigeración de los edificios. Pues bien, las cubiertas vegetales funcionan además como amortiguadores de la temperatura con respecto a los edificios donde están instaladas. Actúan como aislantes térmicos tanto en verano, evitando la insolación directa en el tejado, como en invierno.

Además de los múltiples servicios que proporciona como hemos podido ver la instalación de estas cubiertas, creemos que es imprescindible replantearse el modelo de urbanización. Si efectivamente queremos vivir en ciudades, tenemos el deber de garantizar a las generaciones futuras un ecosistema digno y habitable, donde se pueda seguir respirando. Asimismo tomar conciencia y tener presente el devolver de alguna manera a la tierra el suelo “robado” producto de la urbanización.

Éste es precisamente el objetivo que perseguimos desde el proyecto de cubiertas ecológicas *Greening Roofs*. Actualmente estamos en pleno proceso de instalación de una cubierta vegetal ecológica en *Ésta Es Una Plaza* (C/ Doctor Fourquet, 24) donde pronto comenzaremos el estudio sobre ciertas especies vegetales. El objetivo del experimento es saber qué especies autóctonas son las más autosuficientes en las hostiles condiciones que presentan los tejados de la ciudad de Madrid. Queremos diseñar e instalar el modelo de cubierta ecológica más autosuficiente posible que permita proporcionar esos servicios ecosistémicos que paliarían el efecto isla de calor⁵⁰.

6.3.6 Integración arquitectónica de la vegetación. Tradicionalmente la vegetación en arquitectura se ha utilizado como elemento decorativo o para recrear fragmentos de naturaleza de una manera controlada, sin embargo, en Urbanarbolismo pensamos que la utilidad la vegetación va mucho más allá, este es un resumen de nuestras principales líneas de trabajo en este sentido:

⁴⁹ OKE, T.R. *et al.* Simulation of surface urban heat islands under “ideal” conditions at night. Part 2: Diagnosis of causation. In: *Boundary-Layer Meteorology*. 1991. vol. 56, p. 339-358.

⁵⁰ URBANISMO Y TRANSPORTE. La isla de calor (2ª parte de la serie “Cubiertas vegetales” [en línea]. s.l.: El autor, 2015. Disponible en: <http://urbanismoytransporte.com/la-isla-de-calor-2a-parte-de-la-serie-cubiertas-vegetales/>

6.3.6.1 La vegetación como filtro de contaminantes del aire. La utilización de plantas interior en las viviendas de una manera adecuada puede proporcionar muchas ventajas: la vegetación crea un entorno más agradable visualmente, absorbe CO₂, libera oxígeno, evapotranspira reduciendo la temperatura ambiente y limpia el aire de sustancias contaminantes producidas por el mobiliario y el edificio.

Este sistema arrastra el aire a través de las raíces de las plantas y devuelve el aire purificado a la habitación. En oficinas y casas se pueden encontrar muchas sustancias químicas (como el formaldehído, el benceno, el tricloroetileno o el monóxido de carbono) que son causa de problemas de salud diversos.

Figura 25. Helecho rizado y cintas (*Chlorophytum comosum*).



Fuente: URBANARBOLISMO. 10 formas de integrar la vegetación en arquitectura [en línea]. España: El autor, s.f. [citado el 06-09-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/10-formas-de-integrar-la-vegetacion-en-arquitectura/>

El síndrome del edificio enfermo producido por la recirculación del aire en el interior del edificio con el objetivo de ahorrar energía produce una acumulación de estos contaminantes en el aire. Los purificadores de aire más modernos utilizan filtro de zeolita o de carbono para absorber estos contaminantes, sin embargo la compra de estos filtros y su mantenimiento resultan extremadamente caros si los comparamos con la eficacia de las plantas.

En general una planta o dos por habitación basta para lograr el efecto deseado. Gran parte del proceso de limpieza de aire ocurre en las raíces así que es recomendable mantener el sustrato aireado evitando regarlas demasiado⁵¹.

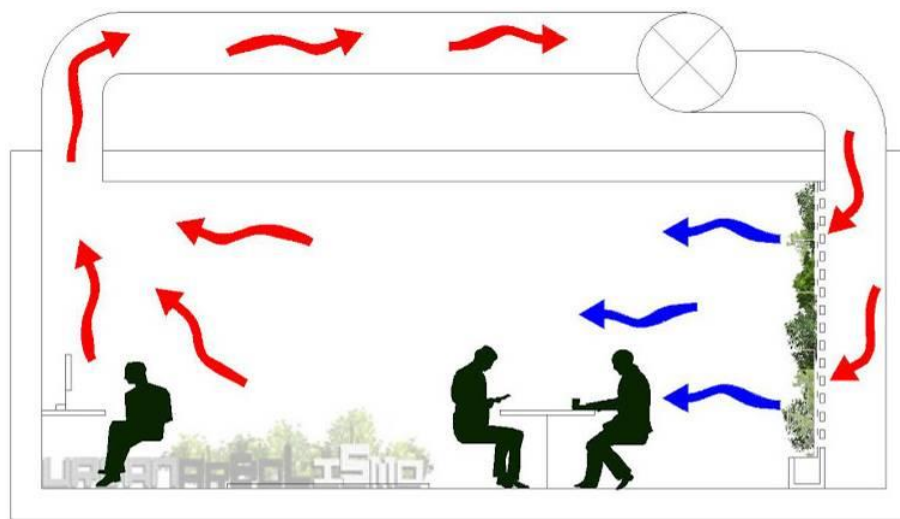
6.3.6.2 La vegetación como sistema de refrigeración. Las plantas evaporan agua para disminuir su temperatura y hacer frente al calor, en este proceso no sólo se refrigeran a si mismas sino que también enfrían su entorno. La vegetación posee una gran capacidad

⁵¹ URBANARBOLISMO. 10 formas de integrar la vegetación en arquitectura [en línea]. España: El autor, s.f. [citado el 06-09-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/10-formas-de-integrar-la-vegetacion-en-arquitectura/>

para refrigerar el ambiente: un haya adulta (*fagus silvatica*) tiene una potencia de refrigeración de 1000 megajulios/día, cada litro de agua evaporada por la vegetación produce 2300 kJ (0.64kWh) de enfriamiento. La capacidad del hombre para aprovechar esta energía ha sido limitada dado que la mayor parte de la refrigeración producida por la vegetación no repercute en la climatización de la arquitectura y se pierde. En urbanarbolismo trabajamos con distintos sistemas que permiten canalizar esta energía para que repercuta en el confort de los usuarios de los edificios.

La vegetación como aire acondicionado a pequeña escala. Desde Urbanarbolismo hemos lanzado al mercado un nuevo sistema de fachada vegetal que refrigera y purifica el aire: el aire acondicionado vegetal⁵².

Figura 26. Aire acondicionado vegetal.



Fuente: URBANARBOLISMO. 10 formas de integrar la vegetación en arquitectura [en línea]. España: El autor, s.f. [citado el 06-09-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/10-formas-de-integrar-la-vegetacion-en-arquitectura/>

Cada litro de agua evaporado por la vegetación produce 0,64 Kwh de enfriamiento en el aire y es la manera natural que utilizan las plantas para refrigerarse. De este proceso

El aire acondicionado vegetal utiliza este potencial de refrigeración proporcionado por las plantas, además de servir como filtro de contaminantes del aire. Dos en uno. En un sistema de aire acondicionado convencional parte de la humedad que contiene el aire se condensa en el aparato, el aire seco que sale de éste reseca las mucosas y es realmente incómodo e insano. En el sistema del aire acondicionado vegetal el aire se recircula a través de un jardín vertical lo que provoca en las plantas una gran evapotranspiración, ya que necesitan enfriarse a sí mismas. Así, de manera natural, se refrigera todo el aire necesario para mantener la estancia a una temperatura adecuada y, además, existe un aporte de humedad al aire, por lo que se genera un ambiente saludable.

⁵² Ibid. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/10-formas-de-integrar-la-vegetacion-en-arquitectura/>

Este sistema de aire acondicionado posee una gran capacidad de fijar dióxido de carbono y liberar oxígeno. Más aún, algunas especies vegetales absorben contaminantes específicos producidos por objetos cotidianos. En oficinas y casas se pueden encontrar muchas sustancias químicas (como el formaldehído, el benceno y el tricloroetileno) que son causa de problemas de salud diversos, como irritación de ojos y nariz, dolores de cabeza, diversas alergias, somnolencia, además de monóxido de carbono. Es lo que se conoce como síndrome del edificio enfermo, producido por la recirculación del aire en el interior del edificio, que acumula contaminantes. Por eso, cada vez más, se están utilizando purificadores de aire. Sin embargo, es mucho más barato colocar y mantener plantas⁵³.

6.3.6.3 La vegetación como protección térmica. La vegetación produce un efecto de ralentización de la convección del aire que mejora el comportamiento térmico de los edificios de la misma manera que el pelo en los animales, existen varios estudios como este de la Universidad Complutense de Madrid sobre el ahorro energético en cubiertas ecológicas que demuestran esta eficacia⁵⁴.

Figura 27. TfL Edgware Road, London.



Fuente: MÁRQUEZ PRIVADO, Javier. La vegetación como aislante térmico en fachadas [en línea]. Unión Europea: UNAUS, 2012. [citado el 11-11-15]. Disponible en: <http://www.unaus.eu/blog/31-la-vegetacion-como-aislante-termico-en-fachadas>

Aspectos funcionales de la vegetación como aislante térmico. Para estudiar la capacidad de regulación térmica que puede ofrecer la vegetación sobre una fachada hemos de tener en cuenta los diversos factores y aspectos funcionales que contribuyen e intervienen directamente. Básicamente estos son el aislamiento térmico, la interacción con la radiación solar, es decir la sombra, el enfriamiento evaporativo, y la variación del efecto del viento sobre la edificación.

Aislamiento térmico:

- Densidad del follaje
- Modificación del aire de espacio intermedio

⁵³ ECOLOGÍA VERDE. Aire acondicionado ecológico [en línea]. s.l.: El autor, s.f. [citado el 11-11-15]. Disponible en: <http://www.ecologiaverde.com/tag/vegetacion/>

⁵⁴ URBANARBOLISMO, 10 formas de integrar la vegetación en arquitectura, Op. cit. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/10-formas-de-integrar-la-vegetacion-en-arquitectura/>

- Sustrato / espesor, densidad, contenido de humedad
- Tipo de aislante del edificio

Interacción con la radiación solar – sombra:

- Densidad del follaje
- Tipo de sistema empleado

Enfriamiento evaporativo:

- Tipo de planta
- Clima seco / húmedo
- Velocidad del viento
- Sustrato / espesor, densidad, contenido de humedad

Variación del efecto del viento sobre la edificación:

- Densidad del follaje
- Orientación de la fachada
- Dirección y velocidad del viento⁵⁵

La vegetación como protección del viento. Este efecto de ralentización del aire puede utilizarse a pequeña escala. Para mejorar su comportamiento térmico se utiliza la plantación de tres tipos de bosque autóctono con el objetivo de desviar el viento por encima de la edificación:

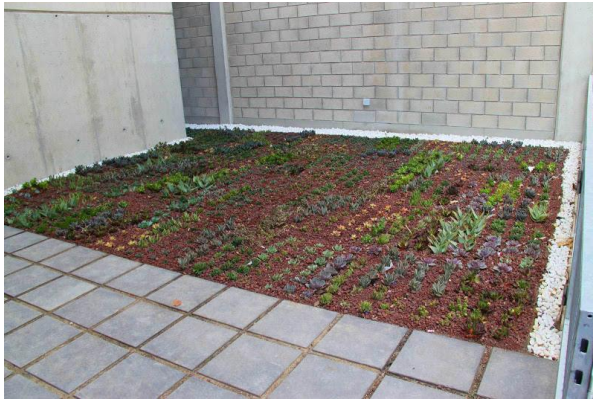
- El más alejado es el primero que entra en contacto con el viento y está constituido por un ecosistema fayal-brezal formado principalmente por arbustos y árboles de poca estatura. Su función es elevar el viento hasta el bosque tipo 2.
- El bosque situado en el núcleo de la cuña de reforestación está formado por especies de laurisilva. Aunque la laurisilva no es propia de esta altitud: 1400m ya que solo se sitúa entre los 500 y los 1200m podemos conformar el núcleo de la reforestación a partir de especies de este tipo gracias al aporte extra de agua fitodepurada proveniente de la vivienda. Hemos elegido este tipo de bosque debido a que se trata de un sistema forestal muy tupido constituido tanto por monte bajo, como por árboles de gran tamaño lo que lo convierte en una excelente barrera contra el viento.
- El bosque más cercano a la casa está constituido por pino canario, además de ser la especie autóctona predominante en la zona puede alcanzar una gran altura y de esta manera proteger la casa rural del viento. Este tipo de bosque no tiene apenas especies de monte bajo⁵⁶.

⁵⁵ MÁRQUEZ PRIVADO, Javier. La vegetación como aislante térmico en fachadas [en línea]. Unión Europea: UNAUS, 2012. [citado el 11-11-15]. Disponible en: <http://www.unaus.eu/blog/31-la-vegetacion-como-aislante-termico-en-fachadas>

⁵⁶ URBANARBOLISMO, 10 formas de integrar la vegetación en arquitectura, Op. cit. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/10-formas-de-integrar-la-vegetacion-en-arquitectura/>

Las cubiertas y los jardines verticales como aislante térmico. En Urbanarbolismo estamos investigando y desarrollando nuevos sistemas de cubiertas ajardinadas más eficaces en el uso del agua aprendiendo de las situaciones donde se generan espontáneamente cubiertas ecológicas.

Figura 28. Cubierta ajardinada.



Fuente: URBANARBOLISMO. 10 formas de integrar la vegetación en arquitectura [en línea]. España: El autor, s.f. [citado el 06-09-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/10-formas-de-integrar-la-vegetacion-en-arquitectura/ra/>

La efectividad como aislamiento térmico de vegetación en cubiertas ajardinadas está en relación directa con la densidad de la vegetación y la altura de la misma manera que el pelo en un animal funciona mejor en la medida en que es capaz de retener el aire estático.

Las trepadoras de muro constituyen también una manera de ganar un aislamiento suplementario utilizando este mismo recurso, más abajo podremos ver su utilidad añadida como biosombras.

Figura 29. Jardín vertical.



Fuente: URBANARBOLISMO. 10 formas de integrar la vegetación en arquitectura [en línea]. España: El autor, s.f. [citado el 06-09-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/10-formas-de-integrar-la-vegetacion-en-arquitectura/ra/>

Los jardines verticales constituyen un paso más en esta clase de protección, la densidad vegetal de un jardín vertical es muy alta por lo que supone una ralentización de la convección del aire en el entorno del edificio superior al que proporciona una pantalla de enredaderas, además la elevada evapotranspiración que se genera crea una barrera adicional contra el calor en verano⁵⁷.

6.3.6.4 La vegetación como protección solar. Biosombras. Los sistemas de parasóles de diversos materiales utilizados para la protección solar de la edificación resultan caros e ineficaces si la comparamos con el coste y los beneficios de la utilización de trepadoras y árboles caducifolios.

Figura 30. Biosombras.



Fuente: URBANARBOLISMO. 10 formas de integrar la vegetación en arquitectura [en línea]. España: El autor, s.f. [citado el 06-09-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/10-formas-de-integrar-la-vegetacion-en-arquitectura/ra/>

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 parthenocisis tricuspidata son especialmente eficaces en la cubrición de muros sin generar un sobrepeso excesivo⁵⁸.

6.3.6.5 La vegetación como sistema de depuración. Las fito-depuradoras utilizan un proceso de tratamiento de agua mediante vegetación, sin consumo energético y con bajo mantenimiento. Su funcionamiento se basa en los procesos biológicos que se desarrolla

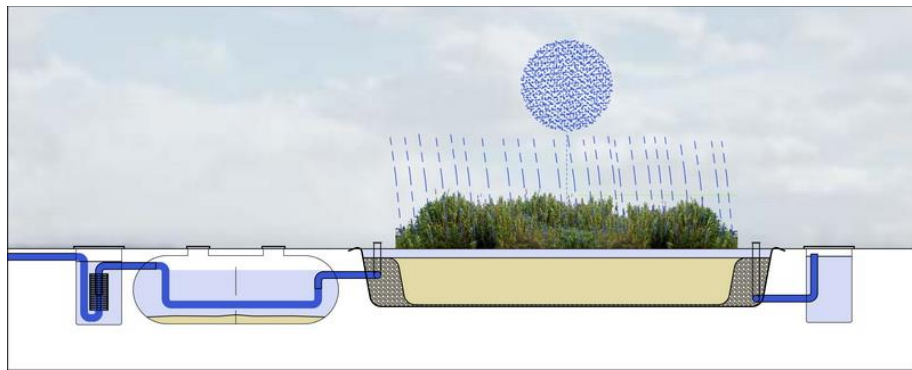
⁵⁷ Ibid. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/10-formas-de-integrar-la-vegetacion-en-arquitectura/>

⁵⁸ Ibid. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/10-formas-de-integrar-la-vegetacion-en-arquitectura/>

en el movimiento del agua a través de un medio filtrante (normalmente grava y arena) con la ayudas de plantas acuáticas y semiacuáticas incluidas en el medio filtrante o en la misma agua residual.

Existen varios sistemas de fitodepuración que se dividen en dos grupos principales: aquellos donde el agua a tratar está en contacto con el aire (flujo superficial) y aquellos donde el flujo de agua permanece enterrado, lo que evita la presencia de malos olores e insectos. Los sistemas de flujo enterrado permiten su ubicación muy cerca de viviendas y núcleos urbanos, creando así una zona verde que integra perfectamente con el jardín o el espacio público.

Figura 31. Sistema de fitodepuración.



Fuente: URBANARBOLISMO. 10 formas de integrar la vegetación en arquitectura [en línea]. España: El autor, s.f. [citado el 06-09-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/10-formas-de-integrar-la-vegetacion-en-arquitectura/ra/>

Un ejemplo de integración de un sistema de fitodepuración en un entorno urbano es el proyecto eco.acequia para la rehabilitación de la ladera del Vinalopó. La propuesta consistió en proporcionar al agua del río la calidad suficiente para generar recorridos en contacto con las personas a lo largo de todo el parque⁵⁹.

6.3.6.6 La vegetación como estructura. Uno de los territorios que le queda por conquistar a la arquitectura y en el que se están realizando avances asombrosos en los últimos años es la utilización de la vegetación viva como estructura. Existen una gran variedad de proyectos en los que distintos tipos de especies de árboles se utilizan para configurar y soportar espacios habitables:

- Los puentes de ficus en la india. con una antigüedad de más de 200 años son las estructuras vivas más antiguas.
- Fab tree hab desarrollado por Mitchell Joachim y terreform hereda toda la sabiduría de la arbol-escultura y la arquitectura vegetal.
- Fab tree hab desarrollado por Mitchell Joachim y terreform hereda toda la sabiduría de la arbol-escultura y la arquitectura vegetal.
- Baubotanik de la universidad de Stuttgart es el grupo de investigación que ha realizado los avances más interesantes en la construcción mixta de acero y sauce.

⁵⁹ Ibid. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/10-formas-de-integrar-la-vegetacion-en-arquitectura/>

- Naturbauten es el nombre que agrupa a varias empresas alemanas pioneras de la construcción con sauce y que han realizado múltiples proyectos con este tipo de estructuras.

6.3.6.7 El confort y la vegetación. La vegetación es capaz de conformar una superficie confortable y agradable al tacto de la piel, las ventajas que ofrece como material son múltiples, entre ellas la que consideramos más interesante es la autorregeneración, un sillón de césped se auto repara. Varios diseñadores han realizado propuestas en este sentido⁶⁰.

6.4 ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LA INTEGRACIÓN DE SISTEMAS VEGETALES EN LA EDIFICACIÓN

6.4.1 Aislamiento e inercia térmica. Los elementos vegetales pueden actuar como protecciones contra las ganancias excesivas de calor provocadas por los rayos solares, ya que la vegetación obstruye, filtra y refleja la radiación solar. En algunos casos se puede llegar a evitar del 50 al 90% de la radiación incidente. Algunos ejemplos son los de las parras y enredaderas sobre las paredes, que ofrecen sombra y disminuyen las ganancias de calor tanto por radiación como por conducción.

Esto es debido a que se evita el impacto de la radiación directa y a la vez se reduce la temperatura del aire adyacente al muro. Por otro lado, en invierno, las especies perennes protegen la pared de las pérdidas de calor, y el efecto aislante podría llegar a ser de un 30%.

Resulta interesante el uso de vegetación de hoja caduca para proteger las ventanas o aberturas, ya que entonces en verano las hojas convierten el alero en una estructura opaca, y proveen de sombra, y al caer en invierno dejan pasar la luz (a diferencia de los aleros fijos). En ventanales que dan a balcones o terrazas, los aleros pueden adoptar la forma de pérgolas o porches y crear así espacios sombreados y frescos para estar⁶¹.

Durante los meses de verano las plantas pueden dar sombra a las fachadas con sol y proporcionar una refrigeración de los edificios debido a la evapotranspiración. Esto conduce a una reducción en la temperatura máxima de la pared, que a su vez ayuda a reducir el sobrecalentamiento edificio solar. Esta es más efectiva cuando las plantas se utilizan en las fachadas orientadas al sur que están en el sol durante la mayor parte del día, y las del oeste con exposición de tarde.

En el invierno, las plantas pueden proporcionar aislamiento mediante el mantenimiento de una capa de aire entre la planta y la pared, lo que reduce la convección en la superficie de la pared. La eficacia del aislamiento térmico proporcionado por las plantas está relacionada con el espesor y cobertura del crecimiento. La reducción de la humectación de la pared, en ciertos tipos de pared, también puede disminuir la cantidad de enfriamiento por evaporación en la superficie de la pared⁶².

⁶⁰ Ibid. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/10-formas-de-integrar-la-vegetacion-en-arquitectura/>

⁶¹ NAVARRO PORTILLA, op. cit. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33814/TFM%20JUAN%20NAVARRO.pdf>

⁶² ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE CUBIERTAS VERDES. Generalidades de las fachadas verdes [en línea]. Barcelona: El autor, s.f. [citado el 09-09-15]. Disponible en: <http://www.asescuve.org/fachadas-vegetales/>

6.4.2 Reducción de la temperatura por soleamiento

Plantación de árboles de hoja caduca. Resulta interesante el uso de vegetación de hoja caduca para proteger las fachadas y ventanas de la radiación, ya que en verano las hojas mitigan la radiación incidente proporcionando sombra, y al caer en invierno dejan pasar la luz y por lo tanto el calor.

En zonas a nivel con el terreno, la vegetación puede adoptar la forma de pérgolas o porches y crear así espacios sombreados y frescos. Este sistema sería el del tradicional emparrado con vid, aunque se podría emplear cualquier enredadera, incluso ornamentales. Ejemplos de especies de hoja caduca que podrían ser adecuadas, dependiendo de las condiciones particulares de cada caso, podrían ser: Agriaz, Ailanto, Almez, Árbol de la seda, Cercis, Fresno de flor, Fresno de hojas estrechas, Morera o Tilo de hoja ancha entre otras.

Envoltura vegetal. La envoltura vegetal consiste en la incorporación sobre la fachada de elementos vegetales que le aporten sombra y mitiguen así los efectos de la radiación solar. Algunos ejemplos como las parras y enredaderas sobre las paredes, que ofrecen sombra y disminuyen las ganancias de calor tanto por radiación como por conducción, reduciendo la temperatura de la zona adyacente al muro.

Las enredaderas pueden llegar a cubrir fachadas enteras. Las de crecimiento más vigoroso pueden crecer de 3 a 4 metros en un año. Algunas se encaraman por las fachadas y otras para su crecimiento necesitan soportes tipo celosía, cables, tensores o estructuras similares. Esto permite también guiarlas y controlar las zonas donde no se desea que lleguen. Existen sistemas en los que ya no es preciso esperar a que crezcan las plantas, pues se comercializa el soporte con enredaderas cubrientes incluidas a punto para ser plantadas.

Conviene escoger plantas adecuadas a la climatología del lugar, para así facilitar su mantenimiento y evitar el sufrimiento por exceso de calor o heladas, de modo que la fachada verde siempre luzca un buen aspecto. Además de su capacidad de cobertura, las combinaciones de coloraciones de follaje y las distintas floraciones convertirán la fachada en un atractivo variante con las estaciones. Algunas enredaderas clásicas son la vid, la hiedra, las clematis o la madreselva.

Se recomienda, que al proyectar un sistema de este tipo, si se prevé utilizar un soporte para la vegetación, se deje un espacio de unos centímetros entre el soporte de las plantas y el muro para permitir la circulación del aire.

Al instalar este tipo de mecanismos sobre la fachada habrá que tener en cuenta el peso y sujeción de la vegetación: se calcula que, según la especie y el crecimiento, el peso puede variar entre 1 y 50 kg/m². La presencia de rocío, lluvia o nieve puede duplicar el peso de una planta caduca y triplicar el de una perenne. También se debe considerar la fuerza del viento y del propio crecimiento de las plantas⁶³.

⁶³ GENERALITAT VALENCIANA. Cómo ahorrar energía colocando vegetación en el exterior como protección solar [en línea]. Valencia, España: El autor, 2012. [citado el 06-09-15]. Disponible en: <http://www.five.es/calidadentuvivienda/ahorrar-energia-en-tu-vivienda?id=72>

6.4.3 Enfriamiento por evapotranspiración. Las fachadas verdes aportan aislamiento térmico adicional en el edificio. Gracias a la evapotranspiración y al efecto de aislamiento térmico, regulan la temperatura. Durante los meses de verano las plantas pueden dar sombra a las fachadas con sol y proporcionar una refrigeración de los edificios debido a la evapotranspiración. Esto conduce a una reducción en la temperatura máxima de la pared, que a su vez ayuda a reducir el sobrecalentamiento edificio solar. Esta es más efectiva cuando las plantas se utilizan en las fachadas orientadas al sur que están en el sol durante la mayor parte del día, y las del oeste con exposición de tarde. Humidifican el ambiente en climas secos en verano, ya que expulsan humedad en el proceso de fotosíntesis.

En el invierno, las plantas pueden proporcionar aislamiento mediante el mantenimiento de una capa de aire entre la planta y la pared, lo que reduce la convección en la superficie de la pared. La eficacia del aislamiento térmico proporcionado por las plantas está relacionada con el espesor y cobertura del crecimiento. La reducción de la humectación de la pared, en ciertos tipos de pared, también puede disminuir la cantidad de enfriamiento por evaporación en la superficie de la pared⁶⁴.

6.4.4 Reducción de la contaminación acústica. Los ruidos se han convertido en un componente habitual de la convivencia en las sociedades modernas, creando un ambiente ruidoso que se extiende prácticamente a todos los espacios de convivencia.

¿Cómo actúa la fachada verde? Las hojas de las plantas atenúan el sonido en forma de energía acústica en pequeñas cantidades. Por lo que ayudan a absorber el eco rebotado en los edificios y a amortiguar ciertos sonidos fuertes típicos de las ciudades modernas. Esto es posible gracias a que el sonido que llega a las hojas, es amortiguado mediante reflexión, refracción y absorción de esta energía acústica. Una parte de la energía acústica, es reflejada y difractada alrededor de la hoja. Indican también que el índice de reducción del ruido es proporcional al número de plantas presentes⁶⁵.

Toda esta vegetación desempeña un papel muy importante por la reducción de la contaminación atmosférica con su capacidad de filtrar hasta el 85% de las partículas del aire produciendo a nuestro alrededor una ventilación más limpia y rica de oxígeno favoreciendo nuestro bienestar.

Esta barrera verde es un buen elemento para la reducción de la contaminación acústica, las plantas ayudan a reflejar y absorber los ruidos permitiéndonos así un ambiente con más tranquilidad dejando afuera lo que son los ruidos de la ciudad⁶⁶.

6.4.5 Tratamiento estético del edificio. La vegetación ayuda también a suavizar y disimular el impacto ambiental de la citada fecha prevalentemente de asfalto y cemento. Una oportunidad más de aumentar las áreas verdes aún que sean también en posición

⁶⁴ XALOC GRUPO. Fachadas y cubiertas vegetales [en línea]. Barcelona: El autor, s.f. [citado el 02-08-15]. Disponible en: <http://www.xalocgrupo.com/fachadas-y-cubiertas-vegetales/>

⁶⁵ VICUÑA CASTILLA, Francisca Belén. Fachadas verdes en Chile: impacto urbano [en línea]. s.l.: Prezi, 2014. [citado el 02-08-15]. Disponible en: <https://prezi.com/Igfc5a325fnx/copy-of-fachadas-verdes-en-chile/>

⁶⁶ ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN. Porque son de utilidad las fachadas verdes [en línea]. Santo Domingo, República Dominicana: El autor, 2015. [citado el 03-08-15]. Disponible en: <http://www.icas.com.do/porque-son-de-utilidad-las-fachadas-verdes>

vertical dándonos una sensación que se acerque siempre más a la naturaleza favoreciendo el hábitat natural que a veces puede hacernos falta.

La gran expansión de las ciudades, hacen que, los espacios verdes se siempre más limitados y estrictos cerrándonos en una caja de cemento, las fachadas verdes son una buena alternativa para mejorar nuestro estilo de vida ciudadano.

En contra de las creencias, ayudan a proteger los muros de los edificios, de agentes como la lluvia, granizo y también, de las radiaciones ultravioletas.

Es buena regla, tomar en consideración las fachadas verdes, sobre todo por grandes edificios, de manera que, se pueda disfrutar de todas esas ventajas útiles, para el nuestro bien vivir y de respeto del medio ambiente⁶⁷.

6.5 INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

El proceso de instalación de la fachada vegetal seguirá el siguiente proceso constructivo:

1. Replanteo e instalación de las estructuras metálicas de acero que definen los parasoles de las ventanas.
2. Replanteo e instalación de los rastreles de aluminio en T 50x40mm.
3. Replanteo e instalación de los canales de recogida de agua.
4. Replanteo e instalación de la instalación de saneamiento y recogidas de aguas de la fachada.
5. Pruebas de funcionamiento del saneamiento.
6. Instalación de las conducciones eléctricas para la iluminación del jardín vertical.
7. Replanteo e instalación de los paneles de aislamiento de poliestireno extruido.
8. Replanteo e instalación de la lámina nodular de HDPE.
9. Fijación de los paneles de PVC a los rastreles de aluminio y sellado con silicona antifúngica.
10. Fijación de los rastreles de aluminio en doble T
11. Instalación de los ramales de riego y cableado de los sensores.
12. Fijación de los paneles de lana de roca.
13. Instalación de los tubos exudantes de riego.
14. Fijación de la doble capa de no tejido mediante tornillos autorroscantes.
15. Fijación de la perfilería de aluminio que separa las distintas zonas de plantación.
16. Pruebas de riego.
17. Plantación, bien sea planta a planta o mediante fijación de tepes.
18. Fijación de alambres de acero inoxidable para trepadoras.
19. Plantación de trepadoras.
20. Instalación de la iluminación.
21. Instalación de las planchas de acero corten troquelado.

Proceso de construcción de las instalaciones y construcciones del sótano:

1. Demolición de forjado existente y tabiquería.
2. Construcción de la nueva escalera.

⁶⁷ Ibid. Disponible en: <http://www.icas.com.do/porque-son-de-utilidad-las-fachadas-verdes>

3. Ejecución tabiquería, puertas, accesos.
4. Ejecución de arquetas de bombeo.
5. Instalación de saneamiento.
6. Preinstalación para incluir agua de lluvia en el sistema de jardín vertical.
7. Instalación del depósito.
8. Ejecución de la instalación de fontanería y riego.
9. Ejecución de la instalación eléctrica.
10. Pruebas de riego.

Cuadro 1. Características y consumo de agua de los distintos elementos del jardín vertical.

Sistema de jardín vertical	Superficie	Vegetación	Tipo de plantación	Mantenimiento	Consumo de agua estimado
Jardín vertical para colonizar	134 m ²	Musgos y plantas hepáticas	Colonización espontánea	Sin mantenimiento	3 l/m ² /día
Humedal vertical	148,46 m ²	Prados húmedos mediterráneos: <i>Scirpoides holoschoenus</i> , <i>Cyperus longus</i> , <i>Carex mairii</i> , <i>J. maritimus</i> , <i>J. acutus</i> , etc. <i>Cirsium monspessulanun</i> , <i>Tetragonolobus maritimus</i> , <i>Lysimachia ephemerum</i> , etc.	Plantación manual una a una	Mantenimiento normal con podas anuales	5 l/m ² /día
Patchwork vegetal	368,77 m ²	Variedades de Sedum y gramíneas: <i>Bromus erectus</i> , <i>Avenochloa vasconica</i> , <i>Carex humilis</i> , <i>sedum album</i> , etc.	Plantación de tepes preplantados	Mantenimiento mínimo, no necesita podas ni control de malas hierbas	1,4 l/m ² /día
Huerta vegetal	4,82 m ²	Tomates, lechugas, repollos, pimientos, acelgas decorativas, etc.	Plantación manual una a una	Mantenimiento elevado con ciclo de la huerta según las estaciones	4 l/m ² /día
Bosque vertical	265,93 m ²	<i>Ribes alpinum</i> , <i>Sorbus aria</i> , <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Prunus spinosa</i> , <i>Erica vagans</i> , <i>Genista occidentalis</i> , <i>Globularia nudicaulis</i> , <i>Teucrium pyrenaicum</i> , <i>Bromus erectus</i> , <i>Avenochloa vasconica</i> , <i>Carex humilis</i>	Plantación manual una a una	Mantenimiento normal con podas anuales	3 l/m ² /día
Parasol vegetal	402 m ²	Trepadoras: <i>Parthenocissus tricuspidata</i> , <i>Parthenocissus quinquefolia</i> , etc.	Plantación manual una a una	Mantenimiento normal con podas anuales	2 l/m ² /día

Fuente: URBANARBOLISMO. Proyecto de ejecución de obras de acondicionamiento térmico y acústico de las fachadas sur, este y norte, mediante una solución vegetal, del palacio de congresos Europa, sito en la Avenida Gasteiz Nº 85, En Vitoria-Gasteiz [en línea]. España: El autor, s.f. [citado el 09-08-15]. Disponible en: <http://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/http/contenidosEstaticos/adjuntos/es/71/07/47107.pdf>

La media diaria del consumo de agua del jardín vertical será de 3,28m³/día. Será inferior en invierno y superior en Verano⁶⁸.

⁶⁸ URBANARBOLISMO. Proyecto de ejecución de obras de acondicionamiento térmico y acústico de las fachadas sur, este y norte, mediante una solución vegetal, del palacio de congresos Europa, sito en la Avenida Gasteiz Nº 85, En Vitoria-Gasteiz [en línea]. España: El autor, s.f. [citado el 09-08-15]. Disponible en: <http://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/http/contenidosEstaticos/adjuntos/es/71/07/47107.pdf>

6.5.1 Ejemplo de la incorporación de las fachadas verdes en la edificación - Beardon Eco-House 2011, Gabriel Beardon, Torrelodones (Madrid), 369,40 m², 495.800 euros

Objetivos más importantes

- Realizar una vivienda 100% sostenible, que sirva de referente en arquitectura sostenible y un modelo para las generaciones venideras.
- Realizar una vivienda con elevado nivel bioclimático, capaz de calentarse por sí misma, en climas muy fríos.
- Realizar una vivienda desmontable, pero al mismo tiempo con elevada inercia térmica. Todos los componentes de la vivienda deben ser extraíbles, reparables y reutilizables.
- Realizar una vivienda con ciclo de vida infinito.
- Realizar una vivienda con una envolvente completamente vegetal, es decir, con cubiertas y fachadas vegetales (verticales, inclinadas y horizontales invertidas).
- Realizar una vivienda con autosuficiencia de energía, y consumo energético casi cero, en un entorno urbano (utilizando una combinación de energía solar fotovoltaica y energía geotérmica).

Solución arquitectónica. La vivienda se ubica en la urbanización “Torreclub” de Torrelodones, en Madrid. Las temperaturas son extremas (mucho calor en verano y mucho frío en invierno), y con poca humedad.

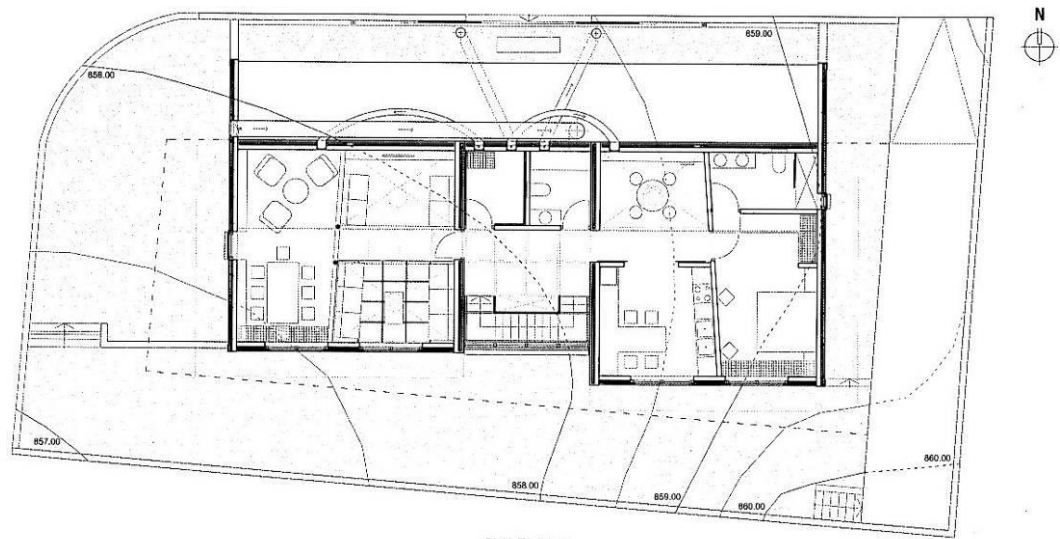
La parcela es muy pequeña y esta perfectamente orientada al sur, coincidiendo con las mejores vistas, además tiene una fuerte pendiente al norte. La vivienda tiene tres niveles. El sótano alberga dos locales de actividades y la sala de máquinas. La planta baja alberga un salón, un distribuidor, una sala de máquinas, un aseo, la cocina, la sala de desayunos, y una habitación para invitados con baño incorporado. La planta primera dispone de un dormitorio, con vestidor y baño, dos dormitorios sencillos, una sala, y un baño.

A la vivienda se accede por un jardín inclinado, que confunde el terreno con la planta baja, hasta llegar a la primera planta directamente. La planta baja, a su vez, está integrada con el terreno del jardín sur. De este modo la vivienda se articula como dos planos a modo de extensión de los dos niveles del terreno circundante a la vivienda.

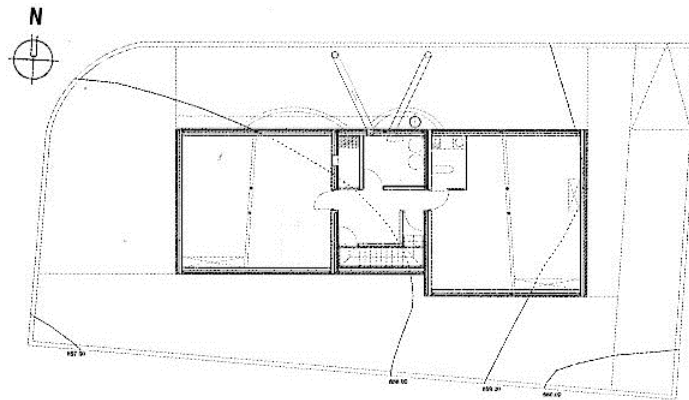
La estructura de la vivienda es tripartita, con un patio central cubierto, que en invierno es un potente invernadero, y en verano es un eficaz elemento para generación de corrientes de aire fresco.

La característica más importante de la vivienda es que parece esculpida en la vegetación, ya que absolutamente toda su envolvente arquitectónica es completamente vegetal, es decir, dispone de cubiertas vegetales y fachadas vegetales (verticales, inclinadas y horizontales invertidas). Y ello ha sido posible gracias a un efectivo y económico sistema de “muro-cortina vegetal”, algo sin precedentes en el escenario arquitectónico global.

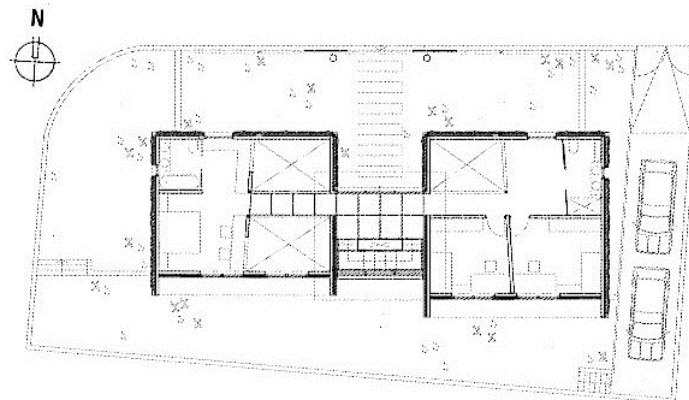
Figura 32. Distribución vivienda Beardon Eco-House, Madrid.



PLANTA BAJA



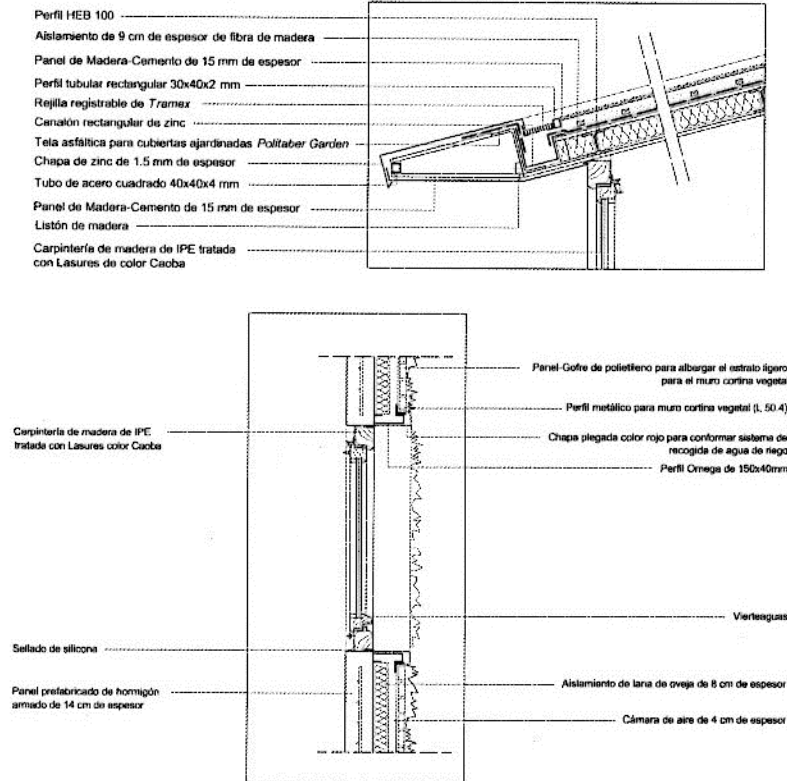
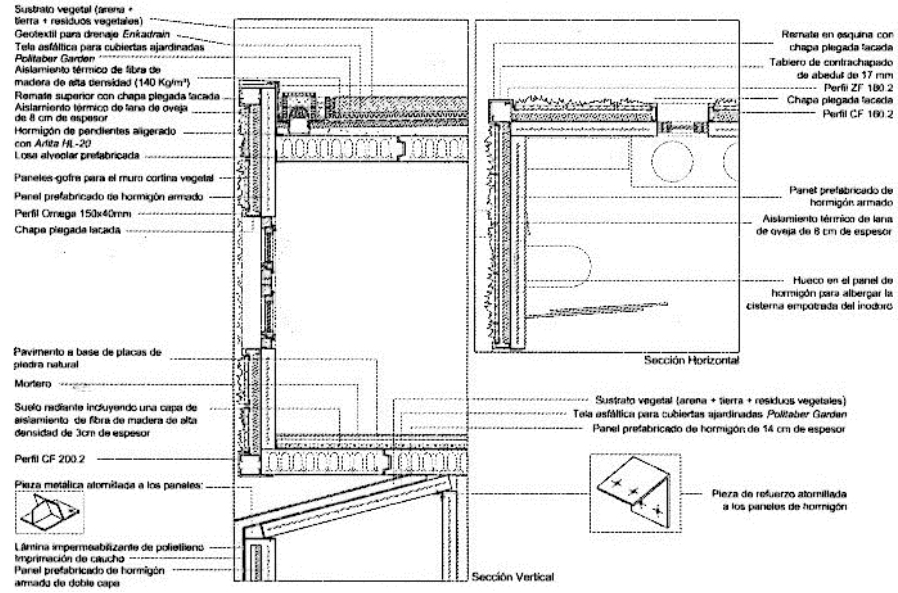
PLANTA SOTANO

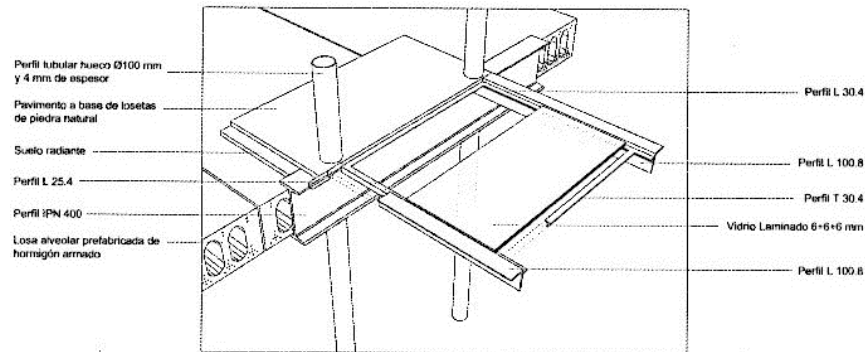


PLANTA PRIMERA

Fuente: DE GARRIDO, Luis. Un nuevo paradigma en arquitectura. Barcelona: Monsa, 2012, p. 467-468.

Figura 33. Vivienda Beardon Eco-House, Madrid.





Fuente: DE GARRIDO, Luis. Un nuevo paradigma en arquitectura. Barcelona: Monsa, 2012, p. 468-469.

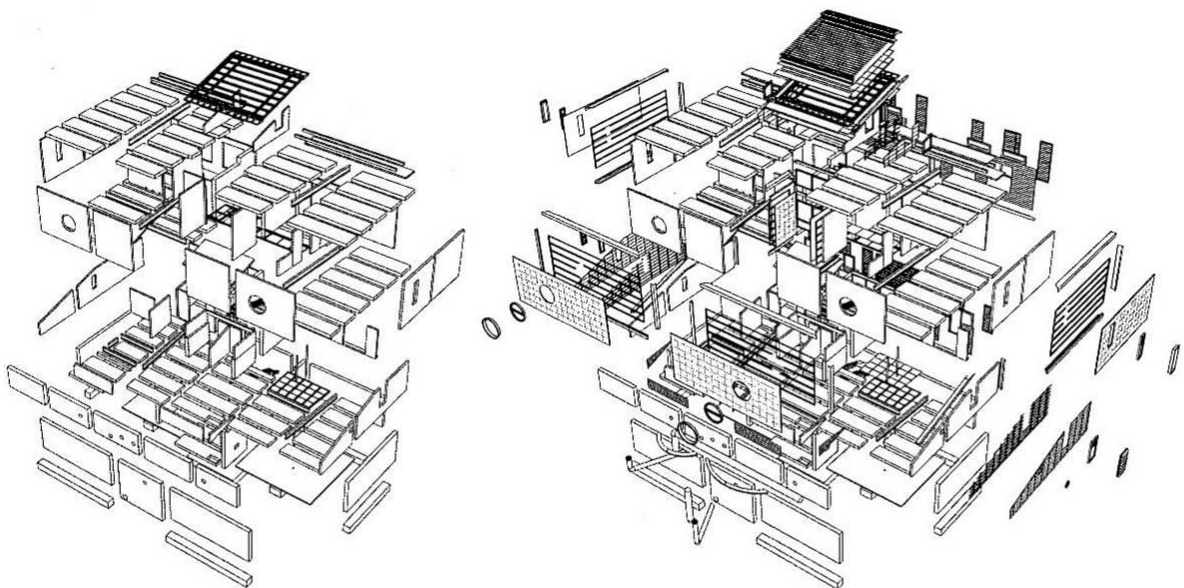
Innovaciones más destacadas

- Tipología arquitectónica de alto nivel bioclimático, que permite la autorregulación térmica de la vivienda, tanto con temperaturas muy altas, como con temperaturas muy bajas. De hecho, el sistema geotérmico incorporado tiene una potencia mínima, y solo se pondrá en marcha en situaciones extremas, o cuando el usuario desee un mayor confort extra.
- Sistema de calefacción y enfriamiento por suelo radiante alimentado por una bomba de calor geotérmica, alimentada con energía eléctrica fotovoltaica.
- Vivienda autosuficiente de agua. Es decir, no necesita conectarse a los sistemas de suministro de agua municipales (aunque se han mantenido con el fin de tener una fuente alternativa de agua, en caso de necesidad).
- Eliminación absoluta de residuos. Los componentes de la vivienda han sido realizados en fábrica, sin generar residuo alguno. Del mismo modo, se monta sin generar residuos, y se desmonta sin generar residuos. Las claves del logro son: la industrialización absoluta, el diseño de los sistemas de ensamblado, y el sistema compositivo empleado en el diseño del conjunto arquitectónico.
- Ciclo de vida infinito. Todos los componentes de la vivienda han sido diseñados para montarse en seco a base de tornillos, clavos y por presión. De este modo se pueden extraer fácilmente del edificio, para poder ser reparados, reutilizados o restituidos. De este modo, el edificio puede perdurar hasta el infinito, con muy bajo consumo energético.
- Transportabilidad. Por piezas independiente. El conjunto de elementos de la vivienda (incluso el jardín inclinado y el jardín vertical) ha sido diseñado para que se pueda montar y desmontar fácilmente, y de forma indefinida. Por este motivo, estos elementos se pueden transportar a cualquier lugar, para montarse fácilmente (en menos de una semana) tantas veces como sea necesario.
- Flexibilidad extrema. Debido a su diseño, la vivienda puede ampliarse, reducirse, o incluso adoptar otros tipo de configuración arquitectónica. Del mismo modo, su interior es prácticamente diáfano, y ha sido diseñado para adoptar cualquier distribución posible de compartimentación y reconfiguración espacial.

- Industrialización total. Todos los componentes de la vivienda han sido realizados en fábricas diferentes. Estos componentes se han ensamblado en la ubicación del edificio, obteniendo el edificio. Ni un solo componente se ha realizado “in situ”. Por supuesto, esto obliga a la realización de un buen proyecto arquitectónico.

* *Muro-cortina vegetal desmontable y transportable por módulos.* El jardín vertical se ha construido utilizando un innovador sistema de “muro-cortina vegetal”, capaz de combinar superficies acristaladas, paneles compuestos y jardines verticales, en un mismo sistema. El muro cortina vegetal no solo proporciona un versátil sistema de anclaje, sea cual sea el material que utilice, sino que integra en su propio sistema de perfiles metálicos el sistema de riego para el jardín vertical.

Figura 34. Despiece de elementos arquitectónicos prefabricados.

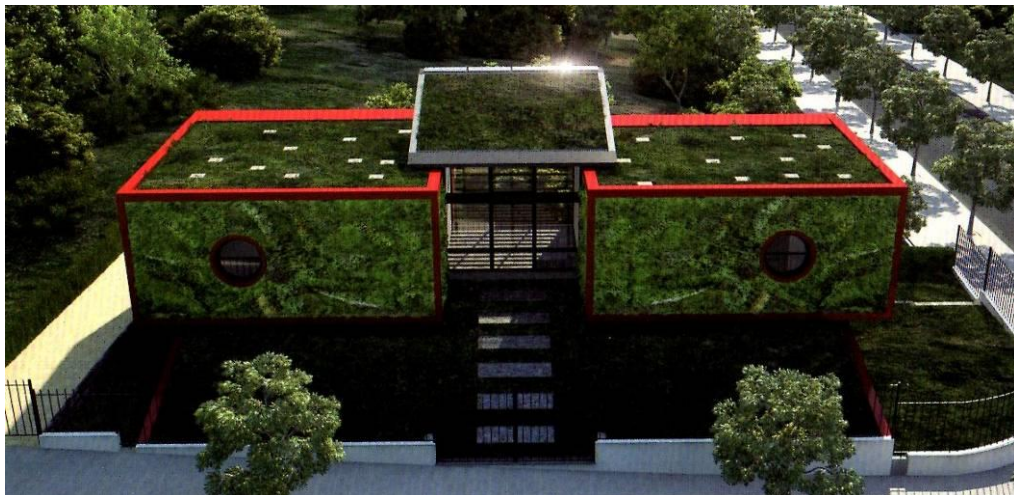


Fuente: DE GARRIDO, Luis. Un nuevo paradigma en arquitectura. Barcelona: Monsa, 2012, p. 470.

El muro-cortina vegetal dispone de un sistema de estrato ligero por lo que tiene muy poco consumo de agua, y apenas necesita reposición de plantas. El sistema se construye por medio de un entramado de perfiles metálicos (con una doble función de anclaje y de sistema de riego), que forman una retícula alrededor del edificio. En cada retícula se incorpora una lámina posterior de polietileno, un saco rectangular muy delgado (4 cm de espesor) relleno de estrato vegetal, y una malla frontal rígida, que anda el saco a la estructura del muro-cortina vegetal. De este modo, se puede conseguir un jardín vertical desmontable, ya que se puede extraer cada panel vegetal del edificio, con el fin de trasladarlo a otro lugar, repararse y reutilizarse, tantas veces como se desee⁶⁹.

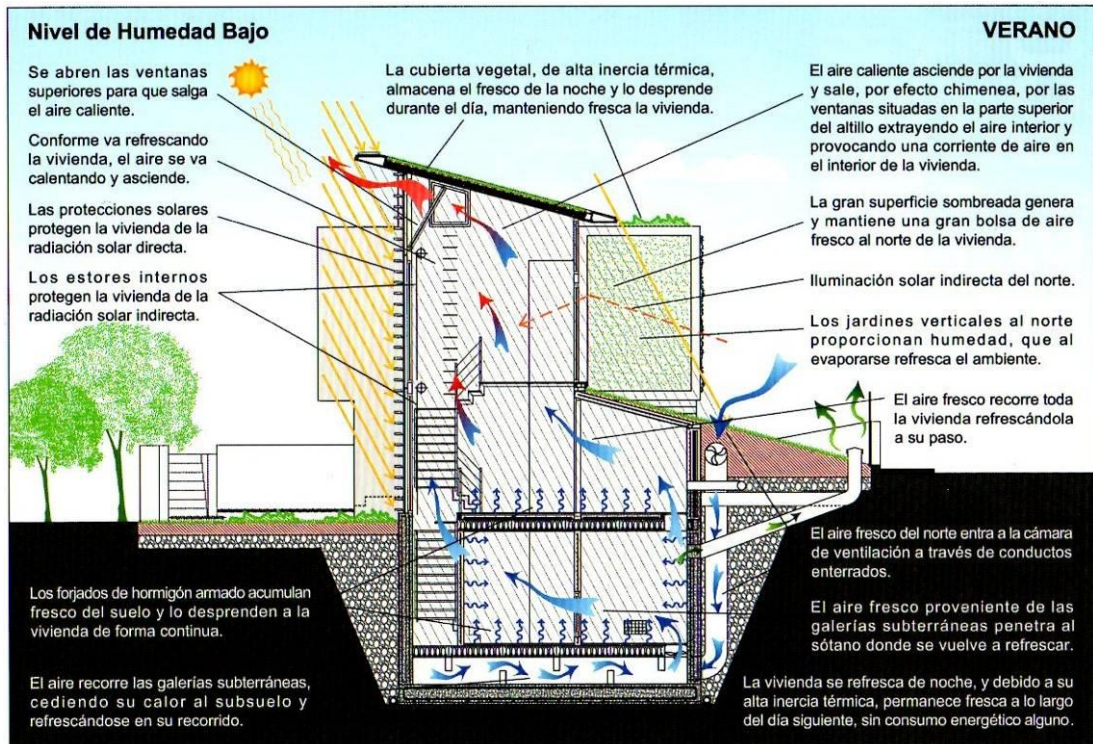
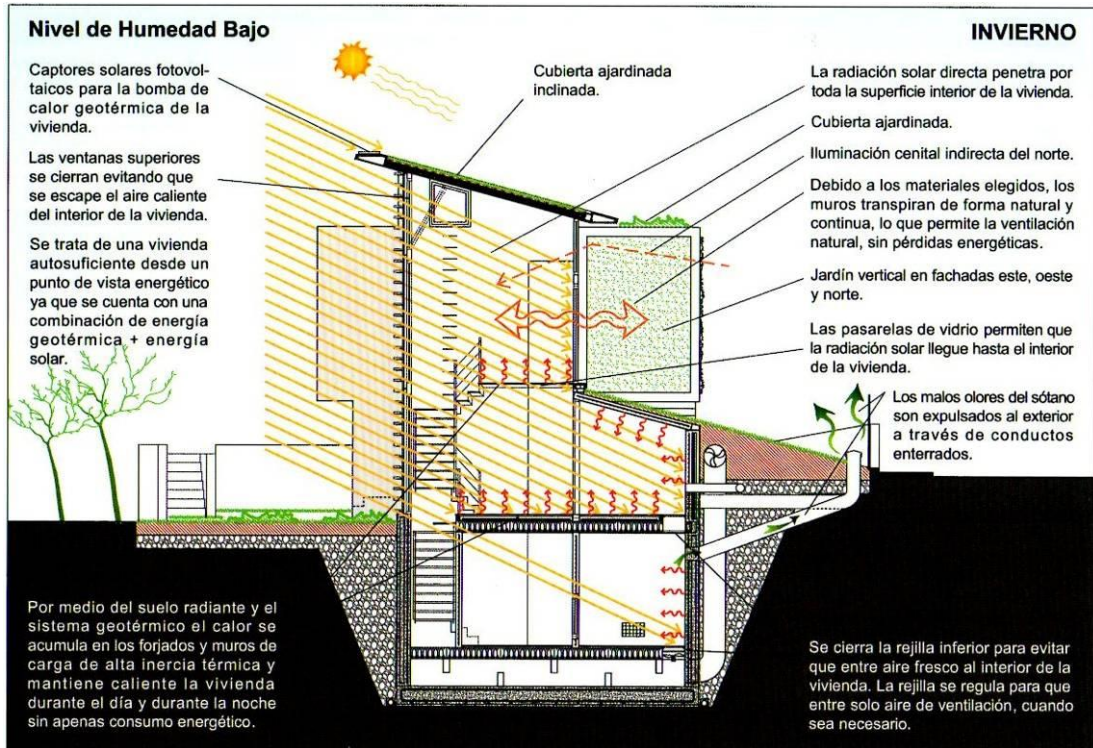
⁶⁹ DE GARRIDO, Luis. Un nuevo paradigma en arquitectura. Barcelona: Monsa, 2012, p. 466-471.

Figura 35. Vivienda Beardon Eco-House, Madrid.



Fuente: DE GARRIDO, Luis. Un nuevo paradigma en arquitectura. Barcelona: Monsa, 2012, p. 468, 469 y 471.

Figura 36. Vivienda Beardon Eco-House, Madrid.



Fuente: DE GARRIDO, Luis. Un nuevo paradigma en arquitectura. Barcelona: Monsa, 2012, p. 470-471.

6.5.2 Ejemplo de la incorporación de las fachadas verdes en la edificación - Green²House 2012, Shoeburyness, Essex. Reino Unido, 749,80 m², 985.800 euros

Objetivos más importantes

Formalizar una tipología arquitectónica de alto nivel bioclimático. Se pretende formalizar una tipología arquitectónica de alto nivel bioclimático capaz de generar un elevadísimo aprovechamiento de la radiación solar para que la vivienda se caliente por sí misma en invierno (por efecto invernadero básicamente), y al mismo tiempo, que se auto-proteja de la misma en verano con el fin de mantenerse fresca. Todo ello sin necesidad de utilización de artefactos mecánicos, y sin consumo energético alguno.

Utilización arquitectónica de la vegetación. Se pretende investigar sobre las posibilidades de la vegetación como un elemento arquitectónico más. En este sentido se ha experimentado con la utilización de la vegetación integrada en varias componentes arquitectónicas, tales como muros interiores, muros exteriores, cubierta, y ornatos varios.

Autosuficiencia de energía. La vivienda proyectada debe consumir la menor cantidad posible de energía, y esta energía debe generarla por sí misma (geotérmica y solar).

Autosuficiencia de agua. La vivienda debe consumir la menor cantidad posible de agua, y además debe obtenerla por sus propios medios, tanto de la naturaleza (agua de lluvia y agua subterránea), como de sus propios residuos (aguas negras y grises).

Ciclo de vida infinito. La vivienda ha sido diseñada a base de componentes que pueden ser fácilmente extraíbles, reparables, reutilizables, reemplazables y reciclables, para garantizar que pueda permanecer en pie de forma indefinida.

Fácil biodegradabilidad. A pesar de que la vivienda tiene un ciclo de vida infinito, todos sus componentes son fácilmente biodegradables. De este modo, cuando un componente ya no pueda ser reparado y reutilizado, se pueda biodegradar con facilidad, y pueda ser asimilable fácilmente por la naturaleza.

Alta eficiencia energética y alto nivel bioclimático. El edificio debe tener el menor consumo energético posible, como consecuencia de su especial y elaborado diseño arquitectónico bioclimático.

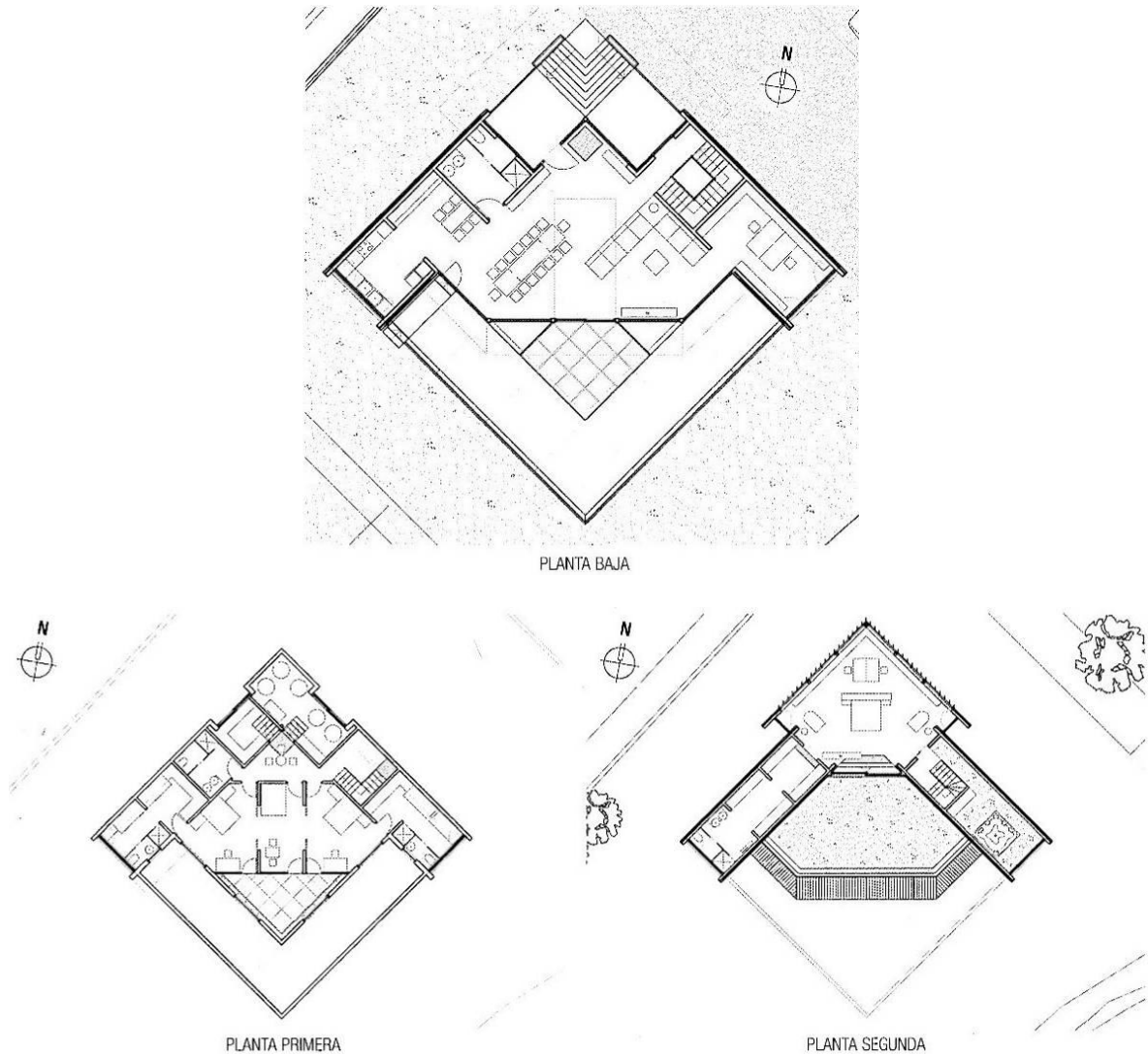
Eliminación de residuos y emisiones. La construcción y la utilización del edificio deben generar la menor cantidad posible de residuos. Y los pocos residuos que pudieran generarse deben tratarse y reutilizarse en el propio edificio. Por otro lado, el edificio no debe generar ningún tipo de emisiones.

Industrialización total. Todos los componentes del edificio deben realizarse en fábrica, con lo se garantiza el consumo óptimo de recursos, el menor consumo energético y la máxima reducción de residuos y emisiones.

Transportabilidad. Todos los componentes del edificio se pueden montar y desmontar fácilmente, de forma continua e indefinida. Como consecuencia, estos elementos se pueden transportar a cualquier lugar, para montarse fácilmente tantas veces como sea necesario.

Mejorar la salud y calidad de vida de los ocupantes. El edificio debe garantizar el bienestar, la calidad de vida y la salud de sus ocupantes.

Figura 37. Distribución vivienda Green²House, Reino Unido.



Fuente: DE GARRIDO, Luis. Un nuevo paradigma en arquitectura. Barcelona: Monsa, 2012, p. 481-482.

Solución arquitectónica. Green²House es una vivienda diseñada para un afamado escritor inglés de reconocido prestigio, en Shoeburyness, en un entorno paradisíaco en la desembocadura del río Támesis.

Green²House tiene una estructura arquitectónica muy singular y es el resultado de un optimizado proceso de diseño inspirado en un variado conjunto de elementos denotativos de la personalidad, logros, aspiraciones y simbolismo del propietario. El proceso de diseño utilizado garantiza además la perfecta integración de la vivienda en la naturaleza.

La decisión más acertada es la forma de libro abierto con orientación sur de la vivienda, ya que con ello se consigue el mayor nivel de aprovechamiento de la radiación solar en invierno, y al mismo tiempo, el mayor nivel de protección solar en verano. El libro se abre en dirección al mar, desplegando y mostrando su interior, en paralelismo simbólico a la labor narrativa y divulgativa de su propietario. Las estancias de la vivienda quedan protegidas de forma lateral, y a su vez, proyectadas al exterior en dirección sur. Por este mismo motivo la vivienda proporciona un enorme nivel de protección e intimidad, lo que favorece la obtención de una caja de resonancia para la felicidad de sus ocupantes.

La planta semisótano alberga dormitorios para invitados y las salas de máquinas. La planta baja alberga el gran salón central (con parte de su superficie a doble altura), la cocina y un estudio-biblioteca. La planta primera alberga dormitorios de invitados, volcados al espacio central de doble altura. La segunda planta alberga el dormitorio principal, que a su vez incluye un gran estudio-biblioteca, dos vestidores y dos salas de baño.

La vivienda está rodeada por una piscina cuadrangular a la cual se tiene salida desde el interior a través de una terraza con suelo a base de lamas perforadas de madera y vidrio, que permite la iluminación de un patio inferior, al cual se articulan los dormitorios de la planta semisótano.

Características bioclimáticas

- Sistemas bioclimáticos de generación de calor y fresco

* *Sistemas de generación de calor.* La vivienda se calienta por sí misma, de dos modos:

1. Evitando enfriarse: debido a su alto aislamiento térmico, y disponiendo grandes superficies vidriadas solo al sur. En invierno la vivienda se calienta por efecto invernadero durante el día, y acumula el calor generado en los componentes arquitectónicos de alta inercia térmica. Durante la noche el calor permanece en el interior de la vivienda debido al elevado nivel de aislamiento de la misma, y a la existencia de la doble piel de vidrio perimetral.

2. Debido a su cuidadoso y especial diseño bioclimático, y su perfecta orientación norte-sur, la vivienda se calienta por efecto invernadero, por la radiación solar directa, y mediante un sistema complementario de calefacción por suelo radiante solar (apenas es necesario este complemento unos cuantos días en invierno). La vivienda permanece caliente durante mucho tiempo, debido a su alta inercia térmica interna, y el elevado nivel de aislamiento externo.

* *Sistemas de generación de fresco.* La vivienda se refresca por sí misma, de tres modos:

1. Evitando calentarse: la vivienda no se calienta en verano ya que los muros laterales ajardinados protegen todas las superficies acristaladas de la vivienda. Además se han incorporado protecciones solares verticales en los extremos acristalados de estos laterales, y protecciones solares horizontales en las cristaleras de la zona central de la vivienda. Las protecciones solares han sido cuidadosamente calculadas para proteger al

máximo a la vivienda de la radiación solar directa. La protección solar indirecta no llega a calentar la vivienda en verano.

2. Refrescándose: mediante un sistema de enfriamiento arquitectónico de aire, utilizando el semisótano para almacenar una bolsa de aire fresco en verano. Por otro lado, debido a la alta inercia térmica del edificio, el fresco acumulado durante la noche, se mantiene durante la práctica totalidad del día siguiente. De noche se introduce aire fresco en el interior, capaz de refrescarla por dentro, y se acumula en los forjados y muros de carga de alta inercia térmica. Durante el día este fresco no llega a escaparse debido al adecuado aislamiento externo.

3. Evacuando el aire caliente al exterior de la vivienda, a través de las ventanas superiores del patio cubierto central acristalado. El patio central acristalado potencia la convección natural y proporciona un efectivo “efecto chimenea” para extraer el aire caliente del interior de la vivienda.

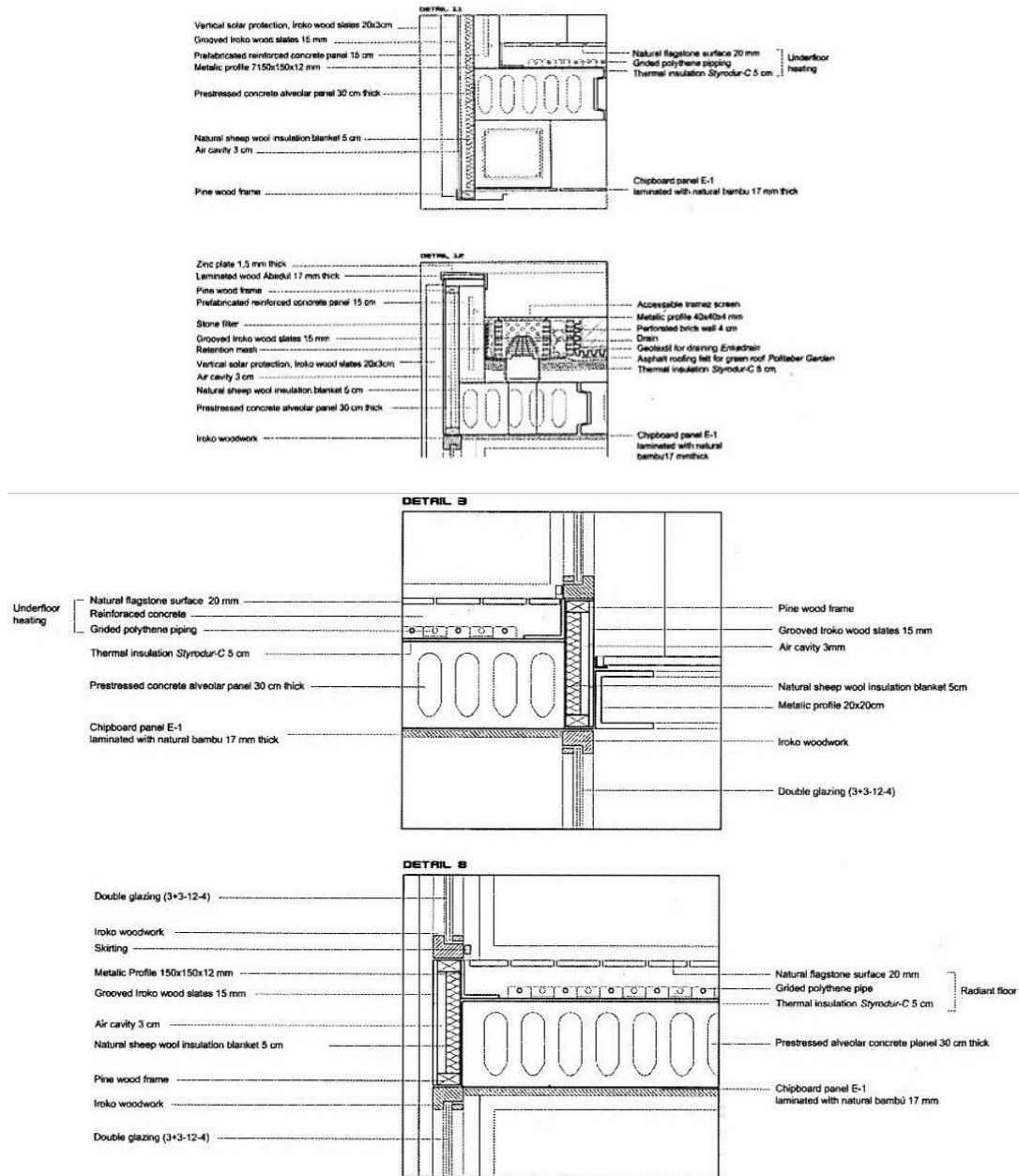
- **Sistemas de acumulación (calor o fresco).** El calor generado durante el día en invierno se acumula en los forjados y en los muros de carga de hormigón prefabricado de alta inercia térmica, manteniendo caliente la vivienda durante la noche. Del mismo modo, el fresco generado durante la noche en verano se acumula en los forjados y en los muros de carga, manteniendo fresca la vivienda durante el día. La cubierta ajardinada de alta inercia térmica, refuerza este proceso.

- **Sistemas de transferencia (calor o fresco).** El calor generado por efecto invernadero y radiación natural se reparte en forma de aire caliente por todo el edificio a través del patio central. Del mismo modo, el sistema de calefacción por suelo radiante se extiende por toda la vivienda. El calor acumulado en los muros de carga se transmite a las estancias laterales por radiación.

El aire fresco generado en las galerías subterráneas se reparte por la vivienda por medio de un conjunto de rejillas repartidas en el forjado de la vivienda, y de patio central. Esta corriente de aire refresca todas las estancias de la vivienda.

- **Ventilación natural.** La ventilación del edificio se hace de forma continuada y natural, a través de los propios muros envolventes, lo que permite una ventilación adecuada, sin pérdida energética. Este tipo de ventilación es posible ya que todos los materiales utilizados son transpirables (cerámica, aislamientos naturales, paneles de hormigón, paneles de madera-cemento, pinturas orgánicas).

Figura 38. Vivienda Green²House, Reino Unido.



Fuente: DE GARRIDO, Luis. Un nuevo paradigma en arquitectura. Barcelona: Monsa, 2012, p. 485-486.

Innovaciones más destacadas

* *Autosuficiencia energética.* La vivienda es autosuficiente de energía. Es decir, no está conectada a los sistemas de suministro de electricidad municipales.

Esta autosuficiencia energética se ha conseguido mediante un conjunto de estrategias complementarias:

1. Se ha realizado un óptimo diseño bioclimático para reducir al máximo la necesidad de energía. La forma de la vivienda en forma de libro abierto permite el máximo aprovechamiento de la radiación solar en invierno (para que la vivienda se caliente por efecto invernadero), y el máximo nivel de protección solar (para evitar que la vivienda se caliente en verano). Además, en el diseño de la vivienda se han utilizado todo tipo de estrategias bioclimáticas para conseguir que consuma la menor cantidad posible de energía, se ilumine de forma natural, se ventile de forma natural, y se auto-regule térmicamente, todos los días del año. Como resultado de este especial diseño, la vivienda se refresca por sí misma en verano, y se calienta por sí misma en invierno. Del mismo modo, durante el día el edificio se ilumina de forma natural, todos los días del año, sin necesidad de luminarias artificiales.

2. Se han incorporado en el edificio solo los electrodomésticos imprescindibles, y que además son de muy bajo consumo eléctrico.

3. Se han utilizado sistemas de iluminación artificial a base de luminarias o leds de muy bajo consumo energético.

4. La cocina y el frigorífico se alimentan de biogás generado por la fermentación de los residuos de materia orgánica del ganado. Además tienen un sistema eléctrico fotovoltaico de emergencia, para casos puntuales.

5. Se ha incorporado un sistema fotovoltaico de generación de electricidad 4.000 vatios, para generar la poca energía eléctrica que necesita la vivienda. Los captosres solares fotovoltaicos se han integrado en las protecciones solares de la cristalera con orientación sur. Además, se han dispuesto de un conjunto de baterías eléctricas de última generación, de gran duración, y capaces de almacenar la energía eléctrica generada por los captosres fotovoltaicos.

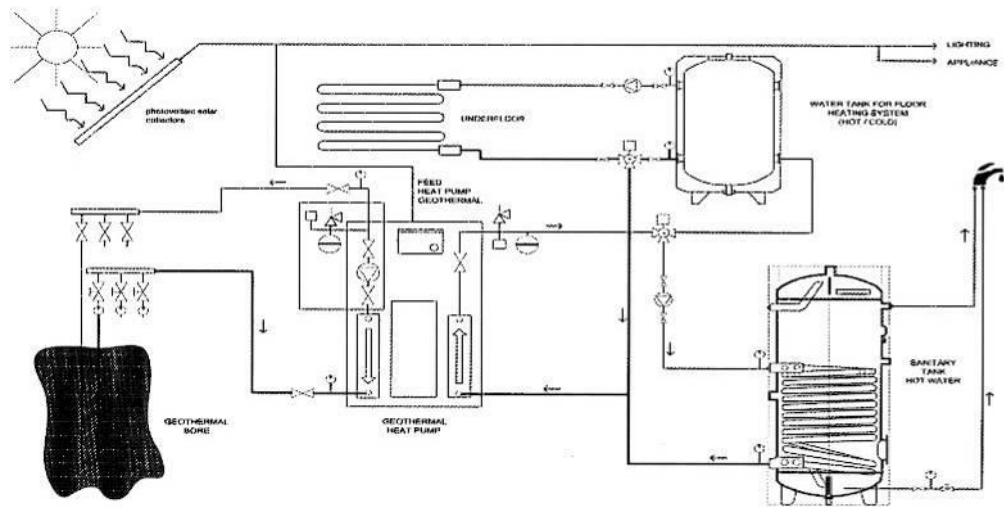
6. Se han incorporado 6 captosres solares térmicos, sobre la parte central de la cubierta ajardinada, para proporcionar el agua caliente sanitaria, la calefacción por suelo radiante, y el calentamiento del agua de la piscina.

7. Se ha incorporado un sistema complementario de calefacción por suelo radiante para los días más fríos del año (el sistema apenas será necesario unos 30 días al año). El suelo radiante por agua está alimentado por el agua caliente generada por los captosres solares térmicos.

Como se ha dicho, la vivienda es capaz de autorregularse térmicamente -por sí misma- debido a su especial diseño arquitectónico, y sin necesidad de artefactos de acondicionamiento térmico. No obstante, en días muy fríos el sistema de calefacción por suelo radiante solar complementa de forma eficaz el funcionamiento bioclimático del edificio, y garantiza el bienestar de todos sus ocupantes.

8. Los ocupantes de la vivienda deben concienciarse de la necesidad de adoptar un modo de vida sencillo, evitando despilfarros energéticos, y rodeándose de los utensilios y artefactos simplemente necesarios.

Figura 39. Esquema de autosuficiencia energética (fotovoltaica + geotérmica) vivienda Green²House, Reino Unido.



Fuente: DE GARRIDO, Luis. Un nuevo paradigma en arquitectura. Barcelona: Monsa, 2012, p. 486.

* *Autosuficiencia de agua.* Green²House es autosuficiente de agua. Es decir, no necesita conectarse al sistema de suministro de agua municipal.

El agua necesaria para el consumo humano, para la higiene humana, y para el riego de los cultivos y de las zonas verdes se obtiene de varias fuentes complementarias:

1. Agua subterránea: se ha realizado una perforación con el fin de conseguir agua de acuíferos subterráneos, que puede utilizarse directamente para riego. El agua así obtenida se filtra y purifica, hasta convertirse en apta para el consumo humano.
2. Agua de lluvia: el agua de lluvia que cae sobre la vivienda se recoge y se almacena en un depósito enterrado para tal fin, con una capacidad de 7.000 litros. El agua se filtra y purifica, hasta convertirse en apta para el consumo humano.
3. Reciclaje de aguas grises: las aguas grises generadas por la vivienda se filtran y se almacenan en un depósito subterráneo ubicado para tal efecto. El agua así obtenida se filtra y purifica, hasta convertirse en apta para el consumo humano.

La purificación y naturalización del agua se realiza mediante un sistema de ósmosis inversa con triple membrana, que incluye un sistema anti-bacterias (que regula las características del agua resultante por medio de un procesador electrónico).

De este modo la vivienda no necesita conexión a la red de de suministro de agua. El agua resultante es agua mineral, con un contenido en minerales elegido por el usuario.

* *Alto nivel bioclimático.* Green²House ha sido diseñada para tener el mejor comportamiento bioclimático posible. Es decir, para que la vivienda se caliente al máximo, por sí misma, en invierno, y se refresque al máximo, por sí misma, en verano. Debido a su

estudiado diseño arquitectónico, la vivienda es capaz de auto-regularse térmicamente, manteniendo una temperatura interior constante. La vivienda mantiene en su interior una temperatura de unos 25 grados en invierno, y unos 25 grados en verano.

Muchos días del año la vivienda no necesita sistemas mecánicos de calefacción, y tan solo durante tres meses de invierno necesita el complemento parcial del sistema de calefacción por suelo radiante solar. Durante el verano la vivienda no necesita ningún sistema de refresco, ya que se mantiene fresca por si misma, debido su especial diseño bioclimático.

* *Alta eficiencia energética y mínimo consumo energético.* Green²House ha sido diseñada con todo detalle para que consuma la menor cantidad posible de energía en todo su ciclo de vida. Desde la construcción de sus componentes, la construcción de la vivienda (ensamblando en seco todos sus componentes), el uso y mantenimiento de la vivienda, hasta su posible desmontaje.

El especial diseño bioclimático de la vivienda permite que apenas consuma energía, y la poca energía que consume la obtiene por sus propios medios de la radiación solar (efecto invernadero y calefacción por suelo radiante solar) y de la propia tierra (sistema arquitectónico de refresco).

* *Industrialización integral.* Todos los componentes de Green²House han sido realizados en fábricas diferentes. Estos componentes se han ensamblado en la ubicación del edificio, obteniendo el edificio. Ni un solo componente se ha realizado "in situ". Por supuesto, esto obliga a la realización de un buen proyecto arquitectónico.

* *Cimentación transportable.* La cimentación de la vivienda se ha realizado mediante un doble nivel de paneles de hormigón armado. Los paneles de hormigón armado se unen entre sí por medio de perfilaría metálica atornillada. De este modo se consiguen dos cosas. En primer lugar la creación de una cámara de aire subterránea que permite el enfriamiento de aire de ventilación en verano (y el calentamiento del aire de ventilación en invierno). En segundo lugar, permite que, si se decide desmontar el edificio, y trasladarlo a otro lugar, no quede ni rastro de su construcción, ya que incluso la cimentación se puede transportar. Un edificio 100% sostenible, que no deja ni rastro en el ecosistema natural existente, si es que alguna vez se decide desmontarlo.

* *Sistema estructural prefabricado.* La estructura de la vivienda se ha realizado a base de paneles de hormigón armados y perfiles metálicos, que permite el desmontaje total de la vivienda, con el fin de facilitar la reparación o reutilización de todos sus componentes, incluida la propia estructura.

* *Sistema constructivo desmontable.* La vivienda se ha construido mediante un sistema constructivo completamente industrializado y desmontable, que permite que todos los componentes arquitectónicos se puedan montar y desmontar, de forma sencilla. Esto le proporciona un ciclo de vida infinito a la vivienda y permite que pueda desmontarse y trasladarse tantas veces como se quiera.

* *Transportabilidad por piezas independientes.* El conjunto de elementos de Green²House ha sido diseñado para que se pueda montar y desmontar fácilmente, y de

forma indefinida. Por este motivo, estos elementos se pueden transportar a cualquier lugar, para montarse fácilmente (en menos de una semana) tantas veces como sea necesario.

* *Flexibilidad extrema.* Debido a su diseño, Green²House puede ampliarse, reducirse, o incluso adoptar una configuración arquitectónica diferente. Del mismo modo, su interior ha sido diseñado para adoptar diferentes tipos de compartimentación y reconfiguración espacial, por medio de paneles interiores correderos.

* *Eliminación absoluta de residuos.* Los componentes de Green²House han sido realizados en fábrica, sin generar residuo alguno. Del mismo modo, se monta sin generar residuos, y se desmonta sin generar residuos. Las claves del logro son: la industrialización integral de todos sus componentes, el diseño de los sistemas de ensamblado, y el sistema compositivo empleado en el diseño del conjunto arquitectónico.

Por otro lado, los residuos orgánicos que se generan durante el uso de la vivienda se gestionan de forma óptima y se utilizan para hacer “compost” que sirva de abono para la cubierta inclinada y los huertos circundantes. Por otro lado, las aguas negras se tratan convenientemente, y se utilizan igualmente, para abono de dichos huertos.

* *Ciclo de vida infinito.* Todos los componentes de Green²House han sido diseñados para montarse en tornillos, clavos y por presión. De este modo se pueden extraer fácilmente del edificio, para poder ser reparados, reutilizados o restituidos. De este modo, el edificio puede perdurar hasta el infinito, con muy bajo consumo energético.

* *Cubierta ajardinada con especies autóctonas.* Cubierta ajardinada con aislamiento a base de fibra de madera (8 cm.), lámina impermeabilizante, lámina de filtro de fibras sintéticas no tejidas, lámina de drenaje geotextil, y sustrato vegetal (40% arena, 60% residuos vegetales). El jardín de la cubierta ajardinada se ha proyectado a base de especies vegetales autóctonas, sin apenas consumo de agua (lavanda, romero, tomillo...).

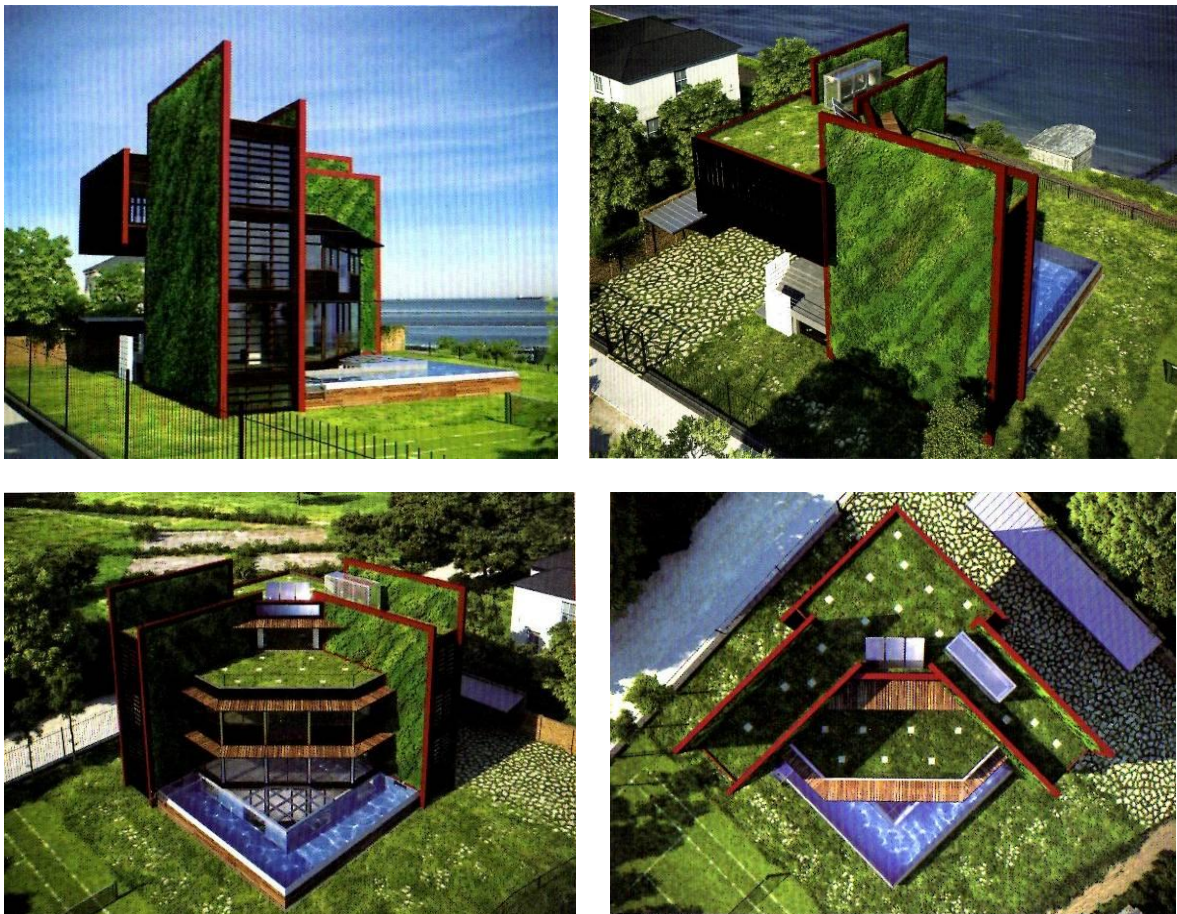
* *Muro-cortina vegetal desmontable con jardín vertical de estrato ligero.* Los muros de la vivienda son de dos capas ventilados. Los muros de carga interiores disponen el aislamiento al exterior, y la fachada ventilada a base de jardines verticales. Los jardines verticales se han diseñado por medio de un avanzado sistema denominado muro-cortina vegetal de estrato ligero. El sistema proporciona un equilibrio perfecto entre aislamiento, inercia térmica, transpirabilidad, oxigenación, e iluminación. De hecho es un primer paso de cómo manipular elementos vegetales vivos, como envolventes arquitectónicas y elementos compositivos arquitectónicos estructurales.

El jardín vertical doble se ha construido a base de paneles-gofre de polietileno, atornillados a una estructura metálica portante. De este modo, cada panel vegetal se puede componer por separado en el invernadero (para controlar su diseño y estimular el crecimiento de las especies vegetales), y trasladarse al edificio cuando sea necesario (con plantas ya crecidas). Del mismo modo, se puede extraer cada panel vegetal del edificio, con el fin de trasladarlo a otro lugar, repararse y reutilizarse, tantas veces como se desee.

* *Interiorismo reversible.* Todos los acabados interiores de Green²House son reversibles. Es decir, se pueden retirar, recuperar y sustituir fácilmente. Todos los acabados se han ensamblado por presión, o con tornillos. De este modo se pueden reparar, y sustituir fácilmente. Este concepto se extiende incluso a los acabados del baño y cocina, los sanitarios y el mobiliario de la cocina.

* *Utilización de materiales ecológicos.* Green²House utiliza exclusivamente materiales ecológicos y saludables, incluyendo nuevos productos ecológicos muy innovadores (aislantes reciclando toallitas de aviones; aislantes reciclando vasos; aislantes reciclando botellas de vidrio, paneles a base de reciclado de vidrios, tornillos, chatarra...; *panelate*; paneles de policarbonato extrusionado, panelate, pinturas ecológicas GEA, etc.).

Figura 40. Vivienda Green²House, Reino Unido.



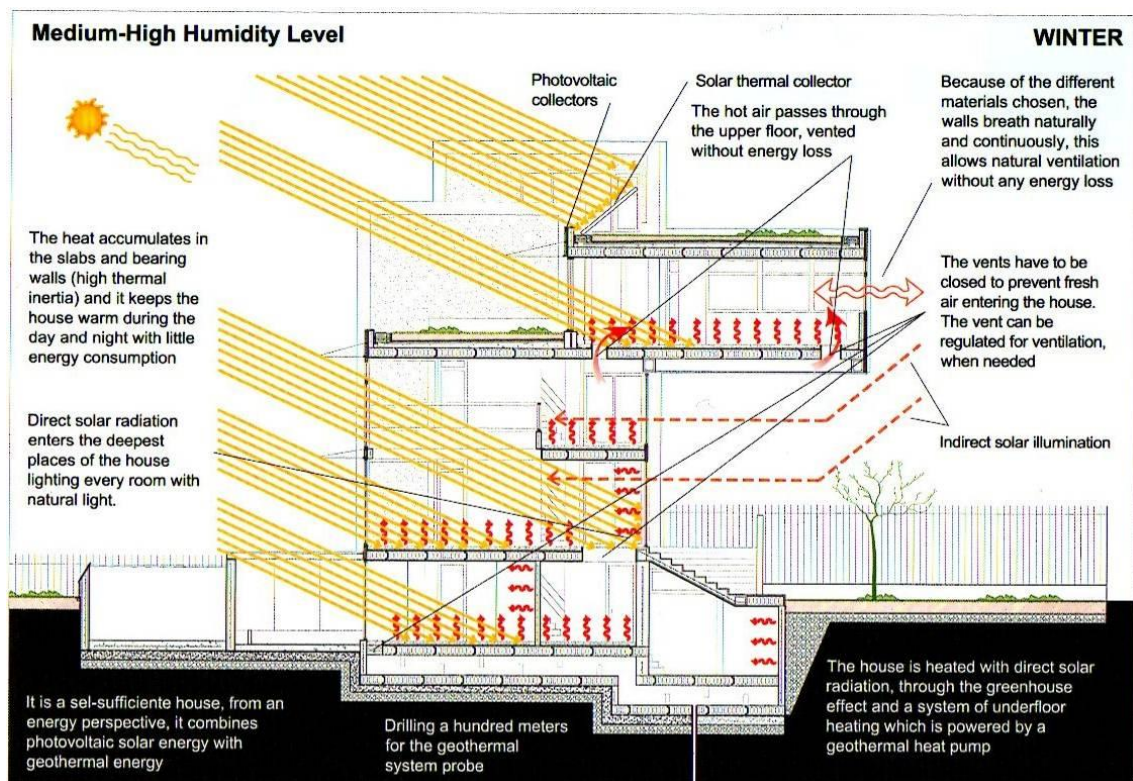
Fuente: DE GARRIDO, Luis. Un nuevo paradigma en arquitectura. Barcelona: Monsa, 2012, p. 482-485.

* *Estimular el bienestar y la felicidad de los ocupantes de la vivienda.* Podría parecer que cada persona tuviera unas necesidades diferentes y un concepto diferente de la felicidad. Sin embargo, desde un punto de vista físico, emocional y psicológico, se pueden identificar un conjunto de patrones generales, capaces de garantizar el bienestar y la felicidad de las personas. Estos patrones se han tenido en cuenta, de forma exhaustiva,

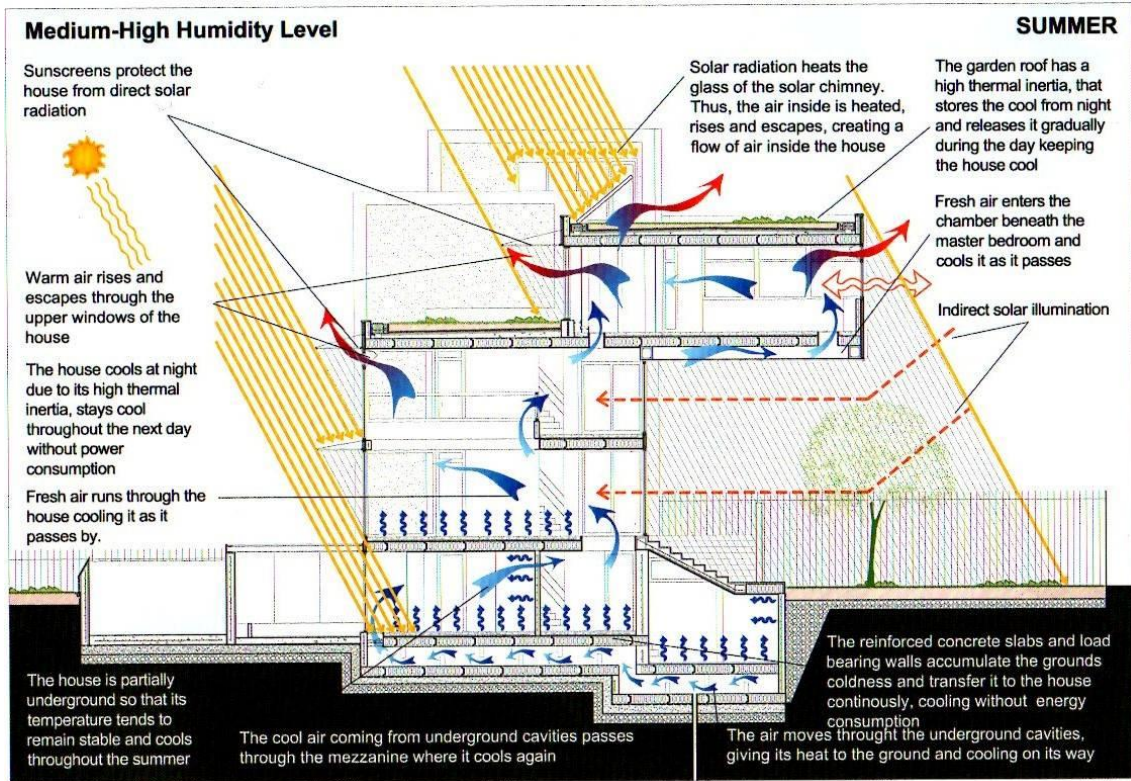
en el diseño de Green²House, que de este modo se convierte en una caja de resonancia, capaz de fomentar y amplifica la felicidad de sus ocupantes.

1. Estabilidad térmica
2. Iluminación natural
3. Transpirabilidad (ventilación natural continuada)
4. Sencillez tecnológica
5. Alto nivel de “naturalidad” en los materiales
6. Diseño arquitectónico sencillo y no monótono
7. Colores adecuados
8. Sensación de seguridad e intimidad
9. Variabilidad térmica estacional
10. Ausencia de elementos patógenos
11. Mínimo mantenimiento⁷⁰

Figura 41. Vivienda Green²House, Reino Unido.



⁷⁰ DE GARRIDO, Luis. Un nuevo paradigma en arquitectura. Barcelona: Monsa, 2012, p. 480-487.

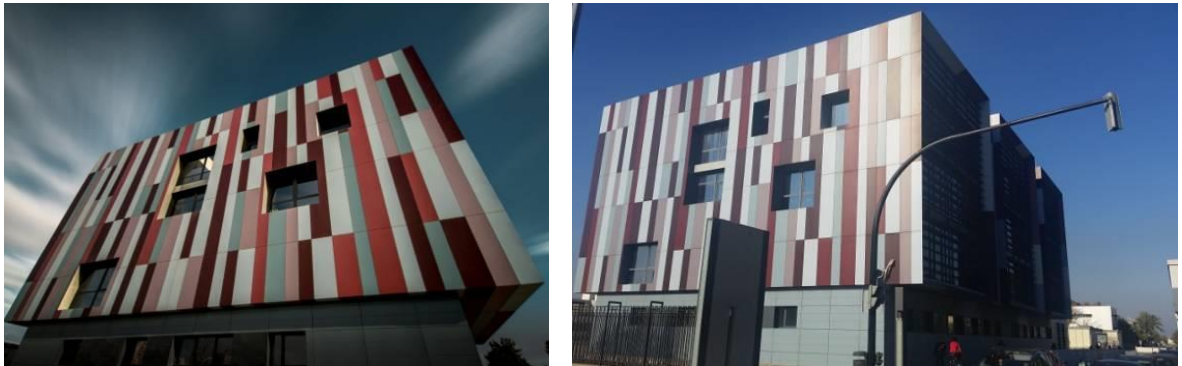


Fuente: DE GARRIDO, Luis. Un nuevo paradigma en arquitectura. Barcelona: Monsa, 2012, p. 487.

7. APLICACIÓN Y CASO PRÁCTICO

7.1 ESTUDIO PREVIO

Figura 42. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación (1C).

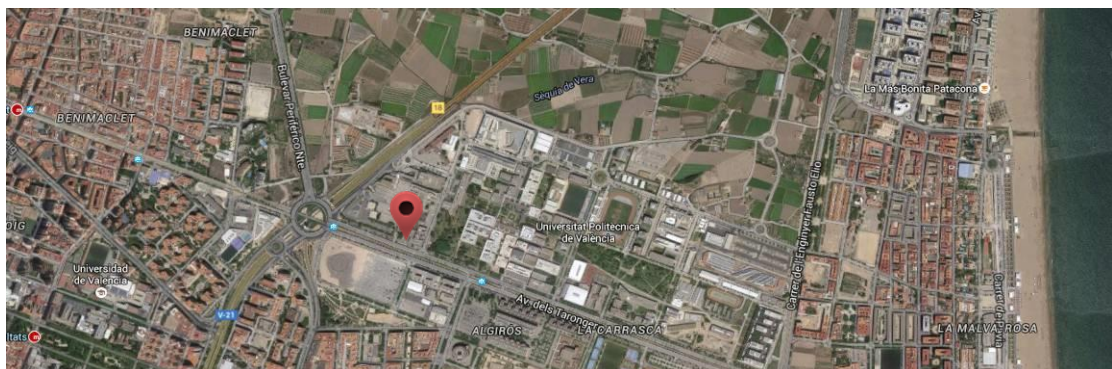


Fuente: FUJISTAS.COM. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación (UPV, Valencia) [en línea]. s.l.: El autor, 2015. [citado el 12-11-15]. Disponible en: [http://fujistas.com/foro/arquitectura/escuela-tecnica-superior-de-ingenieria-de-edificacion-\(upv-valencia\)/](http://fujistas.com/foro/arquitectura/escuela-tecnica-superior-de-ingenieria-de-edificacion-(upv-valencia)/) Fuente: Elaboración propia.

El edificio objeto de estudio es la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación (1C), es una construcción ubicada en la ciudad de Valenciana (España), perteneciente a la Universidad Politécnica de Valencia.

El edificio presenta una huella casi rectangular, las fachadas de mayor tamaño son de aproximadamente 70m, siendo la SUR, objeto de nuestro estudio, paralela a la Avenida dels Tarongers. No presenta grandes irregularidades a excepción de un leve desnivel horizontal. Su localización es la siguiente $39^{\circ}28'51.8''N$ $0^{\circ}20'49.8''W$.

Figura 43. Plano de situación. Valencia ciudad



Fuente: <https://www.google.es/maps/@39.4823089,-0.3411492,1765m/data=!3m1!1e3>

7.2 CLIMATOLOGÍA

Serán de especial interés los datos climáticos de temperaturas, soleamiento y lluvias, no sólo para la elección de las especies vegetales, sino también para el diseño de una red hidráulica de riego y evacuación de aguas, adecuada y que cumpla con los requisitos necesarios para garantizar la funcionalidad de la fachada vegetal.

Temperatura

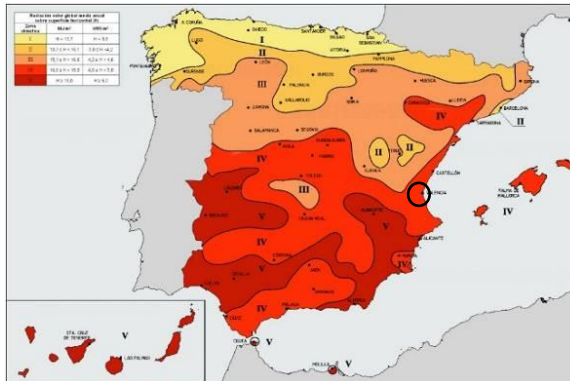


Tabla 4.4. Radiación solar global media diaria anual

Zona climática	MJ/m ²	kWh/m ²
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

Fuente: EFIMARKET.COM. Radiación solar en España [en línea]. España: El autor, s.f. [citado el 12-11-15]. Disponible en: <http://www.efimarket.com/blog/radiacion-solar-en-espana/>

El clima de Valencia es un clima suave y húmedo, ya que por su latitud y su ubicación costera frente al mar Mediterráneo, se encuentra dentro de la denominada Zona A, gozando de un clima benigno como lo es el de la llanura litoral septentrional.

La temperatura media anual se sitúa en los 16-18°C, con inviernos suaves con temperaturas medias cercanas a los 10°C y veranos cálidos con medias en Julio y Agosto que rondan los 25°C. Un aspecto importante, es la alta cantidad de humedad concentrada en la ciudad, sobretodo en periodo estival debido a la cercanía del mar. Los meses más lluviosos son Octubre y Noviembre y las precipitaciones anuales se sitúan en torno a los 450 l/m², aumentando de sur a norte, con un máximo marcado en otoño, y otro máximo secundario en primavera.

Soleamiento. Como se muestra en la imagen, el edificio no cuenta con obstáculos que impidan el soleamiento total en orientación sur, por lo tanto, se tiene una condición idónea para la implantación de fachada vegetal en esa orientación.

En cuanto a cubierta, e igualmente debido a la disposición y volumetría de los edificios colindantes, no se dispone de obstáculos que arrojen sombras sobre la misma. Sin embargo, la cubierta plana está ocupada prácticamente al 100% por instalaciones (con bandejas, y grandes tuberías de impulsión y retorno recorriendo toda la superficie).

Lluvias. La gota fría es un fenómeno típico del Mediterráneo y especialmente acusado en la ciudad de Valencia, se trata de un fenómeno meteorológico de alta peligrosidad que produce las máximas precipitaciones en período otoñal. Se llega a extremos de lluvias intensas que pueden llegar a superar los 500 l/m², una cantidad equivalente a lo que

llueve en la zona en todo un año. Además, el viento puede llegar a más de 140 km/h en la costa causando caídas de árboles.

Figura 44. Ubicación edificio C1



Fuente: <https://www.google.es/maps/@39.4823089,-0.3411492,1765m/data=!3m1!>.

7.3 ESPECIES VEGETALES

En la selección de especies se han valorado aspectos climáticos, buscando especies capaces de soportar gran cantidad de luz solar y también altos grados de humedad típicos del clima de Valencia. Todas ellas soportarán moderadamente la sequía (a pesar de ello tanto la fachada como la cubierta dispondrán de un sistema de riego integrado).

Los colores predominantes para composición del tapiz, tanto en vertical como en horizontal, serán especies de colores azules o verdes grisáceos, combinados con coloraciones de flores o granates, azules y amarillas. El diseño toma como referencia la configuración previa de la fachada, respetando la definición de paneles verticales. Y busca la similitud con el diseño de la fachada ventilada actual del edificio, pero se le da un toque de color diferenciado mediante las especies.

Figura 45. Especies vegetales.

Centaurea ragusina



NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	ALTURA	ANCHURA	OBSERVACIONES
Centaurea ragusina	Jacea de ragusa	30-60 cm	40-60 cm	Tolera las situaciones soleadas y la sequía. Sensible a los suelos húmedos y compactos
PORTE	FORMA	RESISTENCIA	USO EN FACHADA	INTERÉS
Subarbustivo	Tallos cortos, ramificados, vegetación densa	Alta resistencia a la sequía	Follaje	Hojas de color azulado plateado

Festuca arundinacea



NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	ALTURA	ANCHURA	OBSERVACIONES
Festuca arundinacea	Festuca Alta	10-80 cm	20-80 cm	Moderadamente tolerante a la sequía y a la salinidad. Admite la siega continuada y el uso intensivo. Prefiere situaciones soleadas.
PORTE	FORMA	RESISTENCIA	USO EN FACHADA	INTERÉS
Herbáceo	Rizoma corto, matas densamente cespitosas	Tolerante a la sequía	Herbáceo, tapiz	Gramínea adecuada para la formación de céspedes de bajo mantenimiento

Echeveria sp.



NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	ALTURA	ANCHURA	OBSERVACIONES
Echeveria sp.	Echeveri	5-40 cm	15-40 cm	Género con gran diversidad de tamaños y coloraciones. La mayoría prefieren situaciones soleadas en suelos secos.
PORTE	FORMA	RESISTENCIA	USO EN FACHADA	INTERÉS
Herbáceo	Suculentas con las hojas dispuestas en roseta	Muestra una alta resistencia a la sequía	Floración, herbácea	Vegetación de gran belleza

Linum narbonense



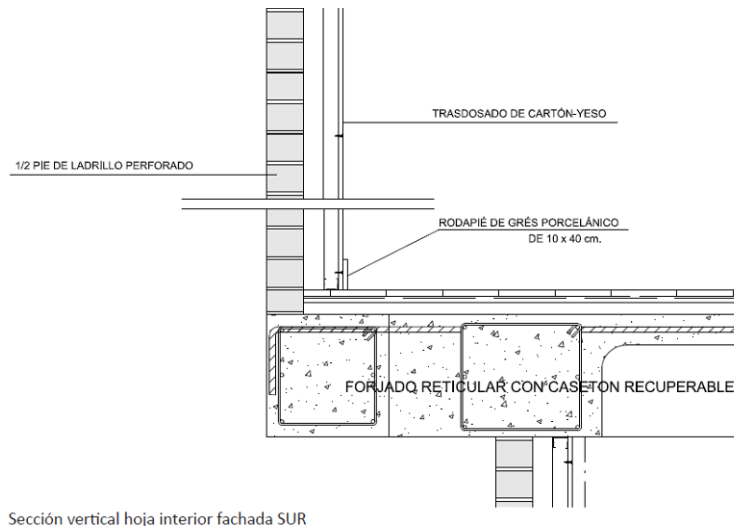
NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	ALTURA	ANCHURA	OBSERVACIONES
Linum narbonense	Lino Azul	20-50 cm	30-60 cm	Prefiere situaciones soleadas en suelos algo frescos. Tolerancia al frío. No es propia de ambientes litorales secos
PORTE	FORMA	RESISTENCIA	USO EN FACHADA	INTERÉS
Herbáceo	Tallos erectos	Tolerante a la sequía	Floración	Produce flores de color azul en primavera y verano.

7.4 FACHADA VERDE

7.4.1 Análisis del sistema soporte. El sistema soporte rígido de la fachada, es una hoja elaborada mediante fábrica de ladrillo de 11,5 cm de espesor, construida según la normativa NBE-FL90 y NTE-FFL, con ladrillos perforados de 24x11,5x9 cm sentados con mortero de cemento confeccionado en obra M-40 a (1:6), con juntas de 1cm, de espesor.

En resumen, esta hoja de fábrica posee un trasdosado de placa de yeso laminada por la parte interior, y al exterior un sistema de acabado de paneles fenólicos (con el remachado visto y atornilladas directamente sobre la perfilería) conformando una fachada parcialmente ventilada.

Figura 46. Detalle sección vertical hoja interior fachada sur.



Fuente: Elaboración propia.

7.4.2 Sistema de acabado fachada ventilada. Según se observa en el esquema, la primera capa sobre la hoja de ladrillo, hacia el exterior, es el aislamiento térmico, acústico e impermeabilizante. Se trata de espuma rígida de poliuretano proyectado “in situ” con un espesor medio de 30 mm, que presenta una resistencia a la compresión de 4’5 kg/ cm² y una conductividad térmica de 0.019 kcal / mh° C. Este aislamiento se ejecutó “in situ”, antes de colocar la fachada ventilada y se proyectó directamente sobre la hoja de cerramiento exterior de ladrillo perforado.

La subestructura de aluminio está compuesta básicamente por perfiles verticales de apoyo, que se anclan al cerramiento mediante soportes angulares. Tanto los perfiles de aluminio como las placas de acabado, sufren fuertes variaciones dimensionales por factores de temperatura y humedad, por lo que en el sistema de montaje se cuenta con puntos fijos y deslizantes de fijación de los paneles a la subestructura.

Las placas colocadas como revestimiento en la fachada del edificio 1C se corresponden con los paneles fenólicos de la empresa Trespa y cuyo modelo recibe el nombre de Meteon, son placas laminadas de alta presión (HPL), con una protección exterior eficaz contra los agentes externos. Esta protección se compone de resinas de acrilopoliuretano doblemente endurecidas, producidas mediante prensas de laminado de alta presión y a temperaturas elevadas. Las características de este material le confieren una resistencia al rayado y al impacto, así como a los disolventes, ácidos y bases.

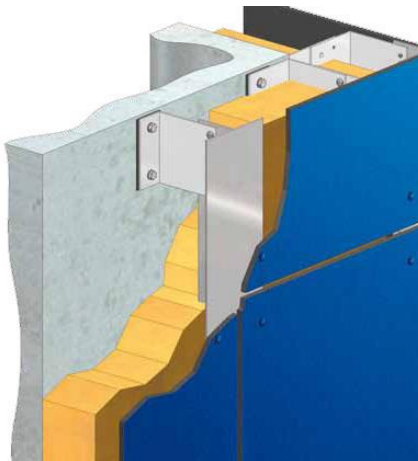
También es altamente resistente a los agentes externos garantizando una buena impermeabilización de la placa, que impide que gran parte del agua que se proyecta sobre la fachada alcance la zona interior del cerramiento de fachada. De hecho, el fabricante afirma que resiste las lluvias torrenciales. Además el exceso de humedad se elimina por medio de la abertura trasera de ventilación entre el aislamiento y la placa.

Las placas también tienen la función de proteger la fachada del soleamiento de forma que

ejercen la función de barrera contra los rayos solares. Las placas Meteon disponen del marcado CE requisito indispensable para su comercialización en la unión europea.

Las medidas del fabricante no se ajustan a las del proyecto pero en la web se menciona que se pueden variar las medidas bajo petición de los usuarios.

Figura 47. TS700 - sistema de fijación vista con remaches a una subestructura metálica.



Fuente: TS700 - sistema de fijación vista con remaches a una subestructura metálica [en línea]. s.l.: Trespá, 2011. [citado el 11-11-15]. Disponible en: http://www.trespá.info/Images/codigoS3058_TS700_version2.0_fecha13-08-2011_tcm37-44628.pdf

Figura 48. Sección horizontal.

1. Pared interior autoportante (hormigón, mampostería)
2. Aislamiento térmico
3. Barrera de vapor
4. Cámara ventilada
5. Placa Trespá® Meteon®
6. Anclaje mural
7. Perfil vertical
8. Remache

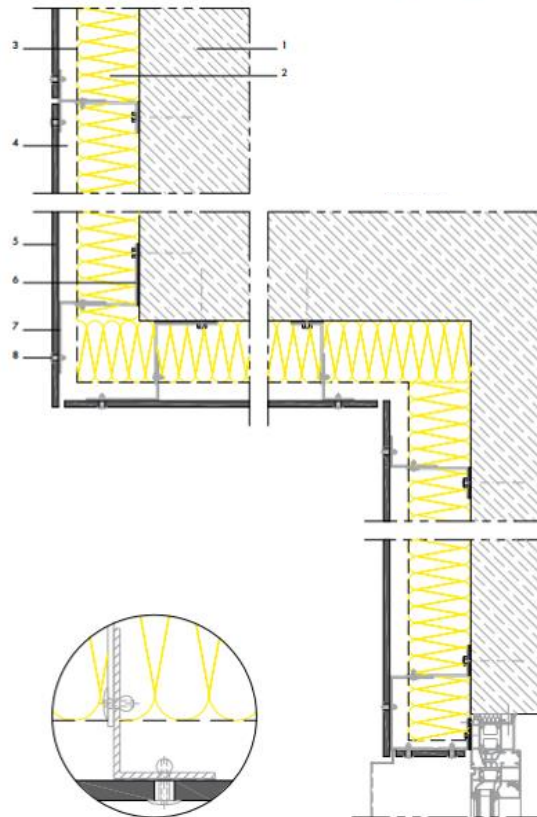
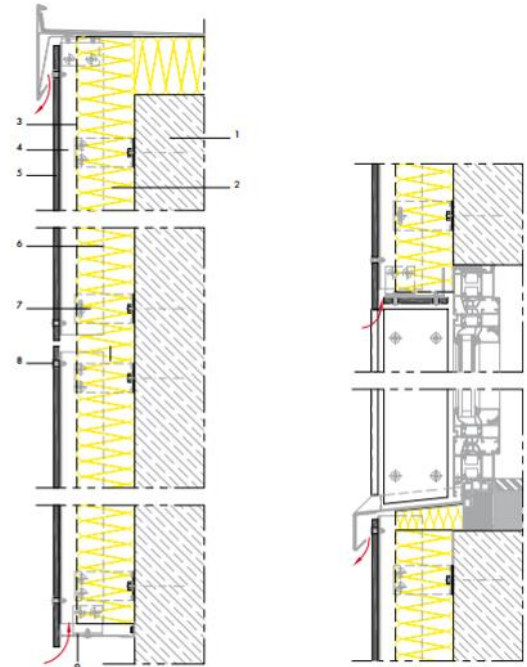


Figura 49. Sección vertical.

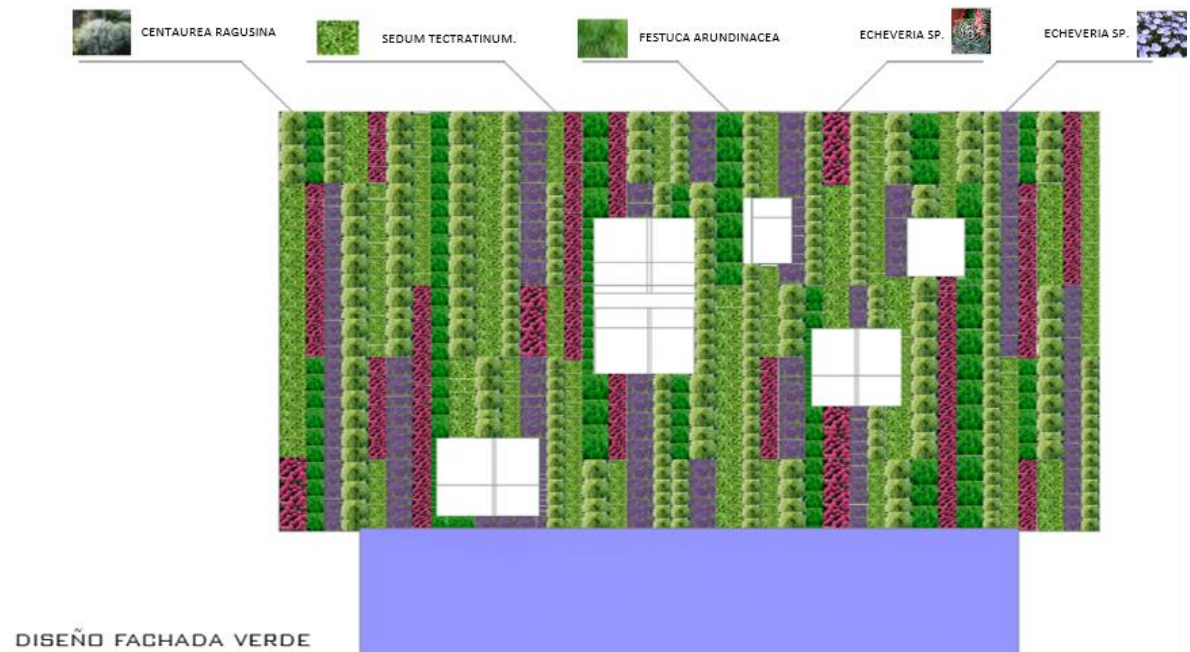
1. Pared interior autoportante (hormigón, mampostería)
2. Aislamiento térmico
3. Barrera de vapor
4. Cámara ventilada
5. Placa Trespa® Meteon®
6. Perfil vertical
7. Anclaje mural
8. Remache
9. Perfil de ventilación



Fuente: TS700 - sistema de fijación vista con remaches a una subestructura metálica [en línea]. s.l.: Trespa, 2011. [citado el 11-11-15]. Disponible en: http://www.trespa.info/Imagenes/codigoS3058_TS700_version2.0_fecha13-08-2011_tcm37-44628.pdf

7.4.3 Diseño del nuevo sistema de fachada vegetal

Figura 50. Diseño del nuevo sistema de fachada vegetal.



Fuente: Elaboración propia.

7.4.4 Descripción sistema de cultivo hidropónico. Sistema hidropónico, el cual permite crear jardines usando soluciones minerales en un circuito cerrado sin aportes de tierras, mejorando el peso y el volumen del jardín. Además permite controlar parámetros importantes como el pH, conductividad y sobretodo ahorro del agua; todo gracias a un sistema de riego automatizado.

El peso aproximado del sistema saturado y plantado de 30 kg/m², ya que las raíces crecen en un medio inerte: fieltro no tejido (poliamida, polietileno, poliéster...), lana de roca, espumas técnicas (poliuretano, poliurea...), etc. Además, la solución nutritiva que alimenta a las plantas discurre a través de tubos que permiten un sistema de riego por goteo.

Ventajas

Ligereza: Estos tipos de sistemas son los más ligeros del mercado, aproximadamente el peso por metro cuadrado terminado de jardín vertical es de 30Kg/m², frente a los 150 Kg/m² de los otros sistemas es un gran avance.

Sustitución de la vegetación: Una gran ventaja respecto a los otros sistemas ya que son plantas independientes cada una de ellas ubicadas en una especie de bolsitas creadas en el fieltro permitiendo la sustitución individual de cada una.



Innovación: La innovación principal de este sistema, consiste en usar el sistema de cultivo hidropónico el cual se elimina la tierra de las plantas, ya que éstas son alimentadas mediante fertilizantes incluidos dentro del riego. Así mismo, se impide la aparición de insectos mediante la inclusión en el goteo de productos naturales que evitan la aparición de los mismos.

Comportamiento ambiental: Permite crear un entorno con gran similitud a entornos naturales. Gran efecto de aislamiento térmico en invierno. En verano reducen la temperatura ambiente a través de procesos de sombra y de evapotranspiración. Las hojas, las raíces y los microorganismos asociados a ellas limpiar el aire al capturar de contaminantes atmosféricos. Ayudan a la gestión de las aguas pluviales al transformar superficies impermeables creadas por el hombre. Requieren menos agua que las plantas regadas por métodos tradicionales, ya que el riego se dirige directamente a las raíces de las plantas.

Protección del edificio: Al ser un cerramiento protector exterior, se evita el deterioro de la fachada a causa de las radiaciones solares, evitando la aparición de casos patológicos comunes en sistemas constructivos tradicionales.

Estética: Esta es una de las principales ventajas del sistema, puesto que permite emplear numerosas tipologías de plantas. Esto es así porque las raíces de las plantas, tienen libertad para crecer a lo largo del sistema y no en un espacio limitado, como los sistemas de cajas modulares. Tener acceso a esa variedad permite muchas posibilidades de diseño y libertad artística, por lo que de cara al gran público, tiene un mayor atractivo estético.

Desventajas

Instalación: Requiere una cuidadosa instalación por parte de personal cualificado.

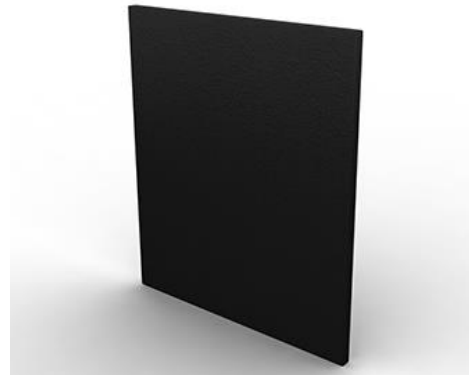
Inversión inicial: Este tipo de sistemas tienen un alto coste de implantación al ser sistemas bastante complejos que necesitan equipos de riego, depósitos, equipos de osmosis bombas de impulsión, etc.

Mantenimiento: Estos sistemas requieren de mucho mantenimiento. Las plantas al alimentarse mediante cultivo hidropónico, necesitan estar monitorizadas controlando los niveles del pH y la conductividad para que permanezca equilibrio. El problema de estos sistemas, es que si se produce un fallo eléctrico el sistema de goteo deja de funcionar, siendo la vida útil de las plantas, sin alimento por goteo, de aproximadamente dos días. Lo que implica el mantenimiento de una empresa especializada que sea capaz de actuar en éstos.

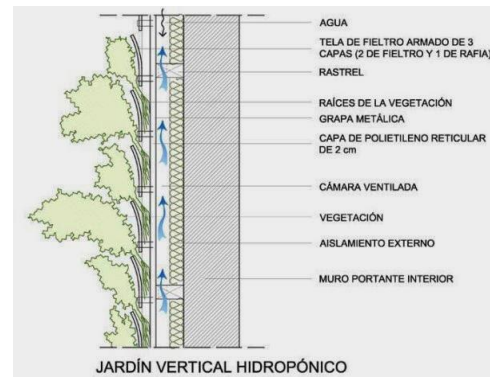
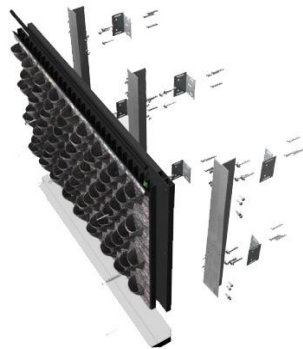
Figura 51. Filtro



Filtro
Panel aminoplástico



Panel aminoplástico

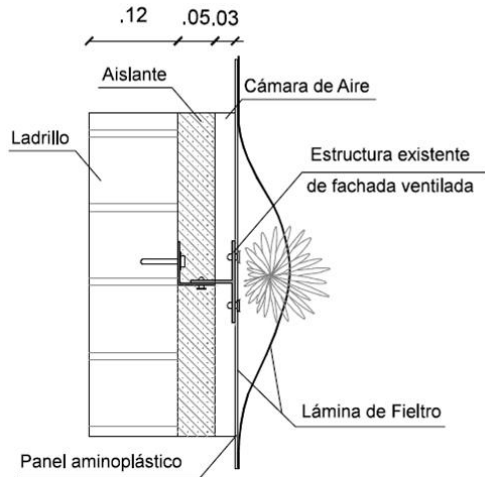


Fuente: VERDTICAL. Jardines Verticales sistemas de Hidroponía PRV2 [en línea]. Barcelona: El autor, [citado el 12-11-15]. Disponible en: <http://www.verdtical.com/sistema-prv-2/>

Detalle tipo. Se mantiene la subestructura de los paneles fenólicos, y se coloca los paneles aminoplásticos, sobre ellos un panel doble de fieltro donde una de sus capas, son las bolsas para colocar las plantas, posteriormente se coloca las tuberías para el riego por goteo.

A continuación y teniendo en cuenta los detalles, se indica el sistema de anclaje de la nueva fachada verde y el sistema de mantenimiento a través de una pasarela.

Figura 52. Sistema de anclaje.



Detalle de Estructura Fachada Verde
ESC _____ 1 : 10

Capas 1 y 2. Peso=15 Kg.

Capa final cobertura vegetal 10 a 15 Kg.

Cantidad de agua almacenada 5 l/m²

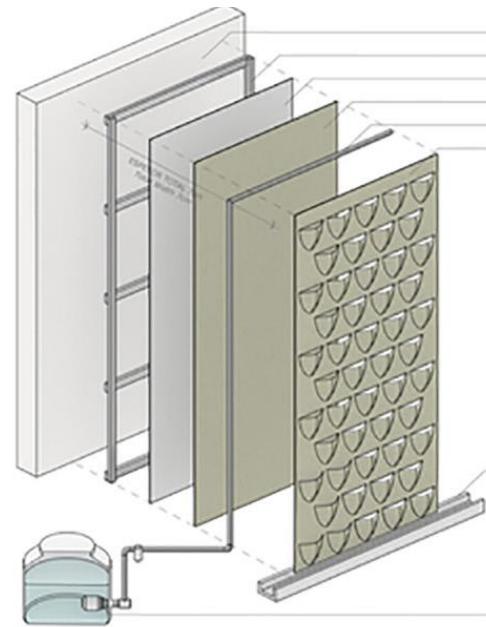
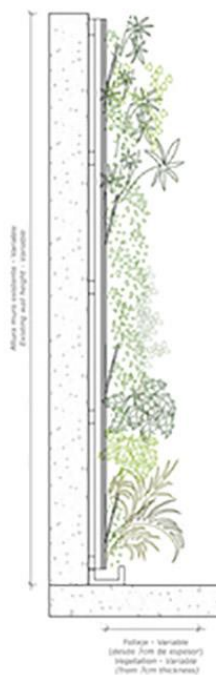
Tipo de plantación:

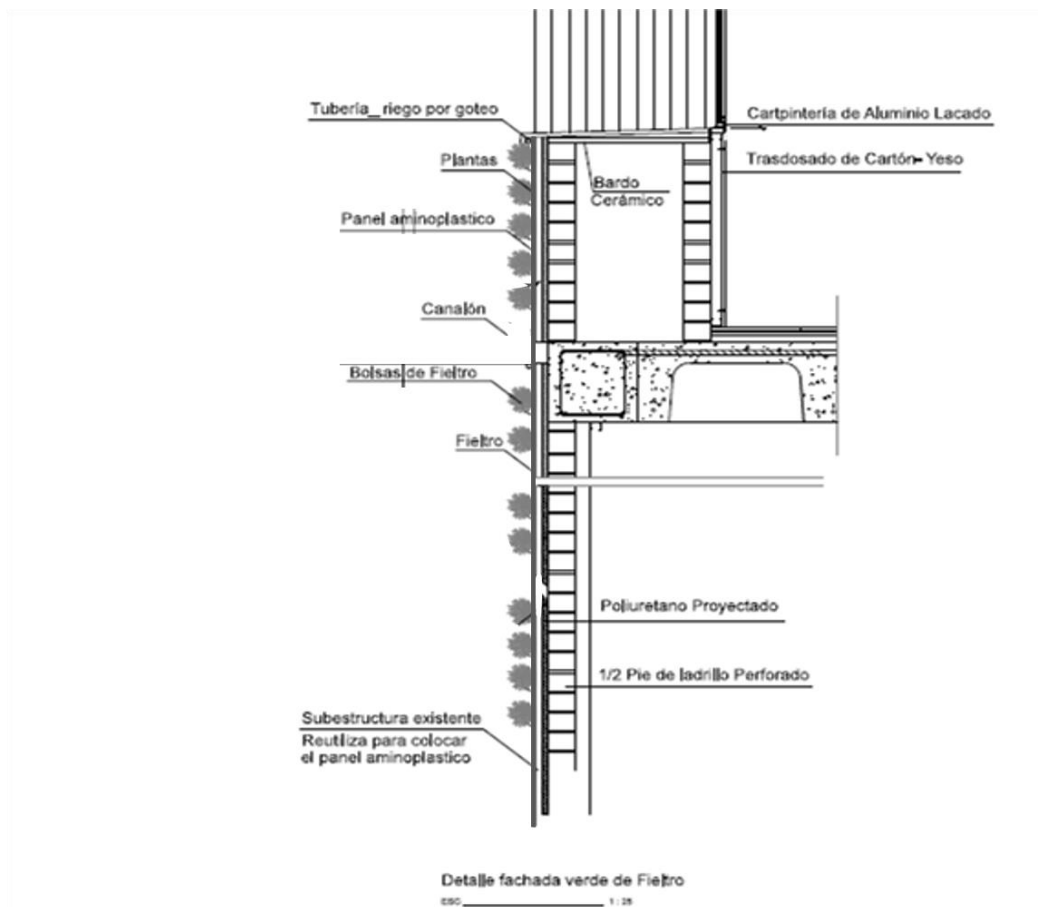
Ornamental, dependiendo de circunstancias y orientación. Densidad: 30 ud/m²

Peso Total Saturado: 30-35 Kg/m²

Área total: 423,30m²

$423,30 \times 32 = 13545,6 \text{ Kg}$





Fuente: Elaboración propia.

7.4.5 Sistema de riego. El sistema de riego consiste en líneas de pvc que se distribuyen por franjas horizontales a diferentes alturas, integradas bajo la capa del fieltro. Estas tuberías descienden desde la cubierta por un lateral de la fachada, pues es en la parte superior del edificio, donde se ha ubicado el depósito de agua y la demás maquinaria. También por franjas horizontales, allí se distribuyen las canaletas de recogida de agua, que descienden por el mismo lateral de fachada hasta cota cero, donde se ubica una pequeña bomba en subsuelo que hace recircular parte del caudal, el resto va directo a la red de saneamiento público.

El sistema de riego se controla mediante un equipo de control que se compone de los siguientes elementos:

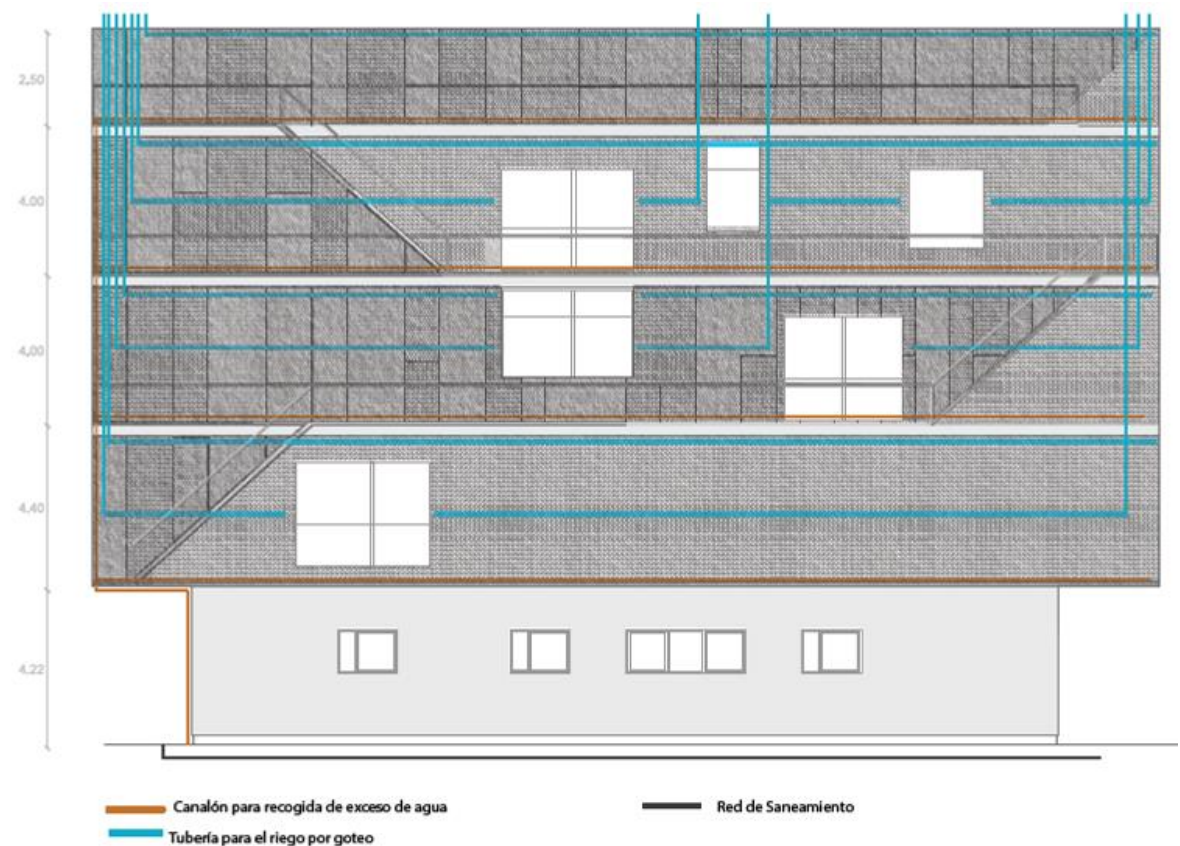
Equipo de entrada. La entrada de agua de riego se produce por una toma de agua que se conecta a una montante del edificio y se lleva hasta la fachada, en esta entrada de agua se coloca una válvula reguladora de presión y una llave de paso que permita cerrar el paso de agua cuando se requiera.

Válvula reguladora de caudal

Equipo inyector: sistema de inyección de fertilizante que va conectado a unos tanques, el cual inyecta directamente el fertilizante al agua de riego. La inyección de fertilizante y la cantidad de este puede controlarse mediante el controlador / temporizador.

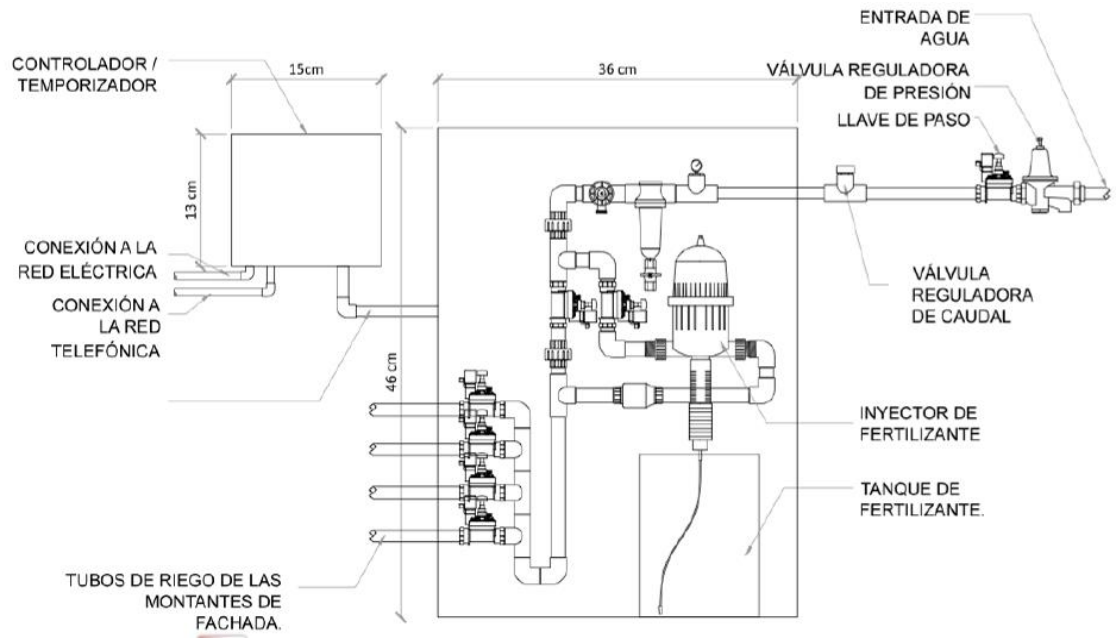
Controlador / Temporizador: todo este proceso se regula mediante un controlador digital que presenta un temporizador y que va conectado a la red telefónica. De esta forma podemos detectar problemas de presión, errores en el sistema, incluso programar el sistema de riego mediante un simple dispositivo móvil.

Figura 53. Sistema de riego.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 54. Sistema de riego



8. CONCLUSIONES

Dentro de los conceptos modernos que rigen el entorno arquitectónico moderno, son las fachadas verdes o coberturas vegetales como también son conocidos, una opción novedosa a través de la cual se definen mecanismos tendientes a mejorar los diseños, procurando la estabilidad medioambiental y de desarrollo en función de las necesidades acústicas, térmicas y de espacio que deben proporcionar los profesionales de acuerdo a las tendencias mismas ofrecidas en el mercado.

En ese mismo concepto, las fachadas verdes se toman como una idea moderna en muchos países del mundo donde apenas se comienzan a implementar, pero a decir verdad, son ideas que datan de años atrás y que de manera rústica se desarrollaron partiendo del concepto estructural incorporado luego por el elemento de sostenibilidad y factor medioambiental que le proporciona múltiples ventajas tanto a los espacios como a las personas y demás elementos que lo integran.

Es de tener en cuenta que el estudio permite de alguna forma, evidenciar la importancia de mantener un equilibrio entre lo estructural y lo ecológico como parte de un esquema de responsabilidad social y que ha sido tan marcado en países como España que le viene dando prioridad desde hace mucho tiempo al tema medioambiental en los diseños y estructuras. Personas que manejan de manera abierta cada concepto, propone diseños, evalúa las tendencias y redefine estilos donde el uso, en este caso de fachadas vegetales, se percibe como una alternativa que brinda no solo elegancia, sino estabilidad acústica y térmica ideal en el desarrollo de actividades diversas.

La materialización de muchas propuestas en una gran mayoría de casos, se limita por el consumo que de los recursos naturales se haga, pero por otra, se cuestiona por una falta de previsión con respecto a la manera de conservarlos y preservarlos, integrándolos a los diseños constructivos y arquitectónicos, ofreciendo un ambiente ideal de sostenibilidad, compromiso y funcionalidad, generando una mejor calidad de vida incluso laboral y personal.

El mercado moderno viene desarrollando y ofreciendo estilos y sistemas modernos donde lo vegetal guarda una amplia importancia, toda vez que se han ido incorporando como parte de lo constructivo y arquitectónico, dadas las ventajas proporcionadas por cada uno de ellos, aun sin tener en cuenta su costo y la complejidad de su misma instalación.

El estudio caracteriza las fachadas verdes contemporáneas de tipo tradicional, hidropónico, modular, de plantas trepadoras y fachadas verdes en general, definiendo su estructura, ventajas y materiales de acuerdo a las necesidades de los espacios, ofreciendo ideas innovadoras y haciendo parte del concepto de modernidad y desarrollo.

A su vez, se profundiza en aquellos aspectos climáticos relacionados con los efectos de las temperaturas en los edificios, de la incidencia del viento sobre la edificación, la contaminación ambiental y acústica, isla de calor urbano, innovación y diseño medioambiental e integración arquitectónica de la vegetación.

Igualmente, se estudia y analiza los efectos de la integración de sistemas vegetales en la edificación desde el aislamiento e inercia térmica, la reducción de la temperatura por

soleamiento, el enfriamiento por evapotranspiración, reducción de la contaminación acústica, tratamiento estético del edificio y disuasión del vandalismo y graffitis en la fachada, y que sirven de base para la construcción de un diseño propio que integra cada elemento y que puede llegar a ser incorporado como parte de ese proceso y concepción funcional donde la sostenibilidad se asume como un factor determinante en ese proceso arquitectónico y de modernidad.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CONSULTADAS

ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN. Porque son de utilidad las fachadas verdes [en línea]. Santo Domingo, República Dominicana: El autor, 2015. [citado el 03-08-15]. Disponible en: <http://www.icas.com.do/porque-son-de-utilidad-las-fachadas-verdes>

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE CUBIERTAS VERDES. Generalidades de las fachadas verdes [en línea]. Barcelona: El autor, s.f. [citado el 09-09-15]. Disponible en: <http://www.asescuve.org/fachadas-vegetales/>

AYUNTAMIENTO DE MADRID. Efectos de la contaminación acústica [en línea]. Madrid: El autor, 2015. [citado el 02-09-15]. Disponible en: <http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/calair/contAcustica/efectos.html>

CERTIFICADOS ENERGÉTICOS. COM. Fachadas verdes para la eficiencia energética de los edificios en las ciudades [en línea]. España: El autor, s.f. [citado el 10-11-15]. Disponible en: <http://www.certificados-energeticos.com/fachadas-verdes-para-la-eficiencia-energetica-de-los-edificios-en-las-ciudades>

CETATI DACICE. Objetivos arqueológicos [en línea]. Transilvania: Museo Nacional de Historia, s.f. [citado el 09-11-15]. Disponible en: <http://www.cetati-dacice.ro/es/sitios/costesti-cetatuie/objetivos-arqueol%C3%B3gicos>

CHANAMPA, Mariana y otros. Tecnologías verdes como instrumentos de rehabilitación arquitectónica [en línea]. En: SB10mad Sustainable Building Conference. Memorias. [citado el 30-08-15]. Disponible en: <http://www.sb10mad.com/ponencias/archivos/a/A010.pdf>

COLEGIO OFICIAL DE APAREJADORES, ARQUITECTOS TÉCNICOS E INGENIEROS DE EDIFICACIÓN DE MADRID. Efectos de las altas temperaturas en las estructuras de hormigón armado [en línea]. En: Gabinete Técnico. 2012, enero. no. 716. [citado el 23-08-15]. Disponible en: http://www.aparejadoresmadrid.es/archivos/asesoria/Tecnolog%C3%ADa/Efectos_de_las_altas_temperaturas_en_las_estructuras_de_hormigon_armado.pdf

DE GARRIDO, Luis. Un nuevo paradigma en arquitectura. Barcelona: Monsa, 2012.

DE LOS MOZOS MARTÍN, Pedro. Desarrollo, proyecto y estudio de un edificio bioclimático [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero en Organización Industrial. Madrid: Universidad Pontificia Comillas, 2009. [citado el 03-05-15]. Disponible en: <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/4aa7e1baae6c8.pdf>

EADIC FORMACIÓN Y CONSULTORÍA. Tema 3: Arquitectura bioclimática [en línea]. Madrid: El autor, 2013. [citado el 02-05-15]. Disponible en: <http://eadic.com/wp-content/uploads/2013/09/Tema-3-Confort-Ambiental.pdf>

ECOLOGÍA VERDE. Aire acondicionado ecológico [en línea]. s.l.: El autor, s.f. [citado el 11-11-15]. Disponible en: <http://www.ecologiaverde.com/tag/vegetacion/>

EFE. Desarrollan un hormigón biológico para construir fachadas 'verdes' [en línea].

Barcelona: El autor, 2012. [citado el 11-11-15]. Disponible en: <http://www.elcorreo.com/innova/investigacion/20121213/hormigón-verde-201212131729-rc.html>

EFIMARKET.COM. Radiación solar en España [en línea]. España: El autor, s.f. [citado el 12-11-15]. Disponible en: <http://www.efimarket.com/blog/radiacion-solar-en-espana/>

EL CONFORT [en línea]. s.l.: Tesis Doctorales en Red, s.f. [citado el 26-04-15]. Disponible en: http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6113/20ANEXO1_2.pdf

FUJISTAS.COM. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación (UPV, Valencia) [en línea]. s.l.: El autor, 2015. [citado el 12-11-15]. Disponible en: [http://fujistas.com/foro/arquitectura/escuela-tecnica-superior-de-ingenieria-de-edificacion-\(upv-valencia\)/](http://fujistas.com/foro/arquitectura/escuela-tecnica-superior-de-ingenieria-de-edificacion-(upv-valencia)/)

GENERALITAT VALENCIANA. Cómo ahorrar energía colocando vegetación en el exterior como protección solar [en línea]. Valencia, España: El autor, 2012. [citado el 06-09-15]. Disponible en: <http://www.five.es/calidadentuvivienda/ahorrar-energia-en-tu-vivienda?id=72>

GEOLOCATION. Edificio Planeta [en línea]. s.l.: El autor, s.f. Disponible en: <https://geolocation.ws/v/P/25324763/edificio-planeta/en>

GÓMEZ JÁUREGUI, Valen. Fachadas con mucha historia [en línea]. en: Gremios. 2008, mayo. no. 73. [citado el 16-08-15]. Disponible en: http://www.tenseguridad.es/Publications/Fachadas_Con_Mucha_Historia_by_GOMEZ-JAUREGUI.pdf

GREEN FORTUNE. Plantwall. A vertical garden on autopilot [en línea]. USA: El autor, s.f. [citado el 10-11-15]. Disponible en: <http://www.greenfortune.com/plantwall.php>

HABLEMOS DE JARDINES. “Edificis com arbres”. Muro vegetal de la Tabacalera de Tarragona [en línea]. Colombia: El autor, 2012. [citado el 10-11-15]. Disponible en: <http://hablemosdejardines.blogspot.com.co/2012/05/edificis-com-arbres-muro-vegetal-de-la.html>

HERNÁNDEZ PEZZI, Carlos. La importancia de la calidad y la sostenibilidad en la arquitectura en la reinvención de las ciudades y el desarrollo sostenible [en línea]. Madrid: Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España, 2006. [citado el 29-04-15]. Disponible en: <http://www.euskomedia.org/PDFAnlt/congresos/16/16401405.pdf>

JARDINES VERTICALES Y CUBIERTAS VEGETALES. Jardín vertical con materiales reciclados [en línea]. Colombia: El autor, [citado el 10-11-15]. Disponible en: <http://jardinesverticalesycubiertasvegetales.blogspot.com.co/2011/08/jardin-vertical-con-materiales.html>

LA REVISTA. Jardín vertical en Madrid [en línea]. España: El autor, s.f. [citado el 09-11-15]. Disponible en: http://www.publispain.com/revista/seccion/jardineria/jardin_vertical_en-madrid_video.html

LLUÍS PUIG, Josep. Fachada verde, tipologías [en línea]. s.l.: Arquitectura + Ingenio, 2011. [citado el 16-08-15]. Disponible en: <http://arquitecturaplusingenio.blogspot.com.co/2011/07/fachada-verde-tipologias.html>

MANUAL DEL INSTALADOR DIGITAL. Arquitectura sustentable [en línea]. s.l.: El autor, 2014. [citado el 02-05-15]. Disponible en: http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-04-27_01-18-5298075.pdf

MÁRQUEZ PRIVADO, Javier. La vegetación como aislante térmico en fachadas [en línea]. Unión Europea: UNAUS, 2012. [citado el 11-11-15]. Disponible en: <http://www.unaus.eu/blog/31-la-vegetacion-como-aislante-termico-en-fachadas>

MARTÍNEZ RUIZ, Montse. El Primer jardín vertical en Barcelona [en línea]. Colombia: Botànic Serrat, 2015. [citado el 10-11-15]. <http://botanicmontserrat.blogspot.com.co/2015/02/el-primer-jardin-vertical-en-barcelona.html>

MARTÍNEZ RUIZ, Montse. El Primer jardín vertical en Barcelona [en línea]. Colombia: Botànic Serrat, 2015. [citado el 10-11-15]. <http://botanicmontserrat.blogspot.com.co/2015/02/el-primer-jardin-vertical-en-barcelona.html>

NAVARRO PORTILLA, Juan. Los jardines verticales en la edificación. Trabajo final de Máster en Edificación [en línea]. España: Universidad Politécnica de Valencia, 2013. [citado el 21-08-15]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33814/TFM%20JUAN%20NAVARRO.pdf>

NOHANY. El bambú como nueva opción para muros verdes [en línea]. s.l.: Muros Verdes, 2012. [citado el 07-11-15]. Disponible en: <http://ideaparamurosverdes.blogspot.com.co/>

OKE, T.R. *et al.* Simulation of surface urban heat islands under “ideal” conditions at night. Part 2: Diagnosis of causation. *In*: *Boundary-Layer Meteorology*. 1991. vol. 56, p. 339-358.

OKE, T.R. The heat island characteristics of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects. *In*: CERMAK, J.E. *et al.* (eds). *Wind Climate in Cities*. Netherlands: Kluwer Academic, 1995. p. 81-107.

OKE, T.R. Urban climates and global change. *In*: PERRY, A. and THOMPSON, R. (eds). *Applied climatology: principles and practices*. London: Routledge, 1997. p. 273-287.

PARRA, Luis Miguel. Jardín vertical de Caixa Forum Madrid [en línea]. Madrid: El autor, s.f. [citado el 09-11-15]. Disponible en: <https://lmparra.wordpress.com/2011/01/09/jardin-vertical-de-caixa-forum-madrid>

RAYO, Juan Carlos. Galería [en línea]. s.l.: Flickr, s.f. [citado el 09-11-15]. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/jcrayo/with/5684172806/>

RODRÍGUEZ GODOY, Javi. Envueltas en hiedra [en línea]. s.l.: Escapada Rural, 2012. <http://www.escapadarural.com/blog/envueltas-en-hiedra/>

ROMERO, Fernando. Vegetales en la #Arquitectura: sistemas vegetales verticales para edificios [en línea]. España: i-ambiente, 2015. [citado el 10-11-15]. Disponible en: <http://www.i-ambiente.es/?q=blogs/vegetales-en-la-arquitectura-sistemas-vegetales-verticales-para-edificios#sthash.cu5mDN6F.dpuf>

ROMERO, Fernando. Vegetales en la #Arquitectura: sistemas vegetales verticales para edificios [en línea]. España: i-ambiente, 2015. [citado el 10-11-15]. Disponible en: <http://www.i-ambiente.es/?q=blogs/vegetales-en-la-arquitectura-sistemas-vegetales-verticales-para-edificios#sthash.cu5mDN6F.dpuf>

ROTH, M., OKE, T.R. and EMERY, W.J. Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *In*: International Journal of Remote Sensing. 1989. vol. 10, p. 1699-1720.

RUPPERT, Kathleen C.; KNOWLES, Hal S. y LENFESTY, Karla A. ¿Cómo el viento afecta las casas? [en línea]. Florida, Estados Unidos: University of Florida, 2007. [citado el 30-08-15]. Disponible en: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/ed/ed42600.pdf>

SONOFLEX. El peligro de los ruidos molestos: efectos de la contaminación acústica en las personas [en línea]. Buenos Aires: El autor. s.f. [citado el 02-09-15]. Disponible en: <http://sonoflex.com/fonac/el-peligro-de-los-ruidos-molestos-efectos-de-la-contaminacion-acustica-en-las-personas/>

SONZOGNI, Victorio E. Efectos de la temperatura y los asentamientos diferenciales sobre las estructuras [en línea]. s.l.: Academia, s.f. [citado el 19-08-15]. Disponible en: http://www.academia.edu/11662568/Efectos_de_temperatura

URBANARBOLISMO. 10 formas de integrar la vegetación en arquitectura [en línea]. España: El autor, s.f. [citado el 06-09-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/10-formas-de-integrar-la-vegetacion-en-arquitectura/>

URBANARBOLISMO. Fachada vegetal. Sistemas constructivos [en línea]. España: El autor, 2012. [citado el 28-08-15]. Disponible en: <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachada-vegetal-sistemas-constructivos/>

URBANARBOLISMO. Proyecto de ejecución de obras de acondicionamiento térmico y acústico de las fachadas sur, este y norte, mediante una solución vegetal, del palacio de congresos Europa, sito en la Avenida Gasteiz Nº 85, En Vitoria-Gasteiz [en línea]. España: El autor, s.f. [citado el 09-08-15]. Disponible en: <http://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/http/contenidosEstaticos/adjuntos/es/71/07/47107.pdf>

URBANISMO Y TRANSPORTE. La isla de calor (2ª parte de la serie “Cubiertas vegetales” [en línea]. s.l.: El autor, 2015. Disponible en: <http://urbanismoytransporte.com/la-isla-de-calor-2a-parte-de-la-serie-cubiertas-vegetales/>

VENTANAS AL UNIVERSO. Efecto isla de calor urbano [en línea]. s.l.: El autor, 2009. [citado el 05-09-15]. Disponible en: http://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/urban_heat.html&lang=sp

VERDTICAL. Jardines Verticales sistemas de Hidroponía PRV2 [en línea]. Barcelona: El autor, [citado el 12-11-15]. Disponible en: <http://www.verdtical.com/sistema-prv-2/>

VICUÑA CASTILLA, Francisca Belén. Fachadas verdes en Chile: impacto urbano [en línea]. s.l.: Prezi, 2014. [citado el 02-08-15]. Disponible en: <https://prezi.com/lgfc5a325fnx/copy-of-fachadas-verdes-en-chile/>

VOOGT, J. A. and OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban areas. In: Remote Sensing of Environment. 2003. vol. 86, p. 370-384.

WISCO. 'Drivable Grass': pavimento permeable [en línea]. España: is Arquitectura, 2010. [citado el 11-11-15]. Disponible en: <http://is-arquitectura.es/2010/02/14/drivable-grass-pavimento-permeable-de-hormigon/>

XALOC GRUPO. Fachadas y cubiertas vegetales [en línea]. Barcelona: El autor, s.f. [citado el 02-08-15]. Disponible en: <http://www.xalocgrupo.com/fachadas-y-cubiertas-vegetales/>

ZANELLI VÁSQUEZ, Carlos Mario. Arquitectura sostenible - edificaciones sustentables [en línea]. Ontario, Canadá: Energy Efficient Export Alliance, 2013. [citado el 03-05-15]. Disponible en: <http://eeea.ca/wp-content/uploads/2013/09/PPT-Arquitectura-Sostenible-Arq.-Carlos-Zanelli.pdf>

ZORRILLA, Héctor H. Fachadas de plantas trepadoras [en línea]. s.l.: Arquitectura de casas, 2015. [citado el 16-08-15]. Disponible en: <http://blog.arquitecturadecasas.info/2015/06/plantas-trepadoras-en-fachadas.html>