



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

FACHADAS SOSTENIBLES

ESTUDIO DE LAS DIFERENTES SOLUCIONES PARA
CONSTRUIR FACHADAS SOSTENIBLES

MÓNICA BLANCO OLALLA

Proyecto de graduación presentado para la carrera de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica, Universidad Federal de Rio de Janeiro, como parte de los requisitos necesarios para la obtención del título de Ingeniería Civil.

Orientadora: Prof. Elaine Garrido Vázquez

RIO DE JANEIRO
ENERO 2014

PROYECTO DE GRADUACIÓN SOMETIDO AL CUERPO DOCENTE
DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE LA UNIVERSIDAD FEDERAL DE RIO DE JANEIRO COMO PARTE DE
LA OBTENCIÓN DE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA LA
OBTENCIÓN DEL GRADO DE INGENIERÍA CIVIL

Examinado por

Lais Amaral Alves

Gabriella Rossi

Elaine Garrido Vázquez

RIO DE JANEIRO
ENERO 2014

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi gratitud a todos los que han contribuido a hacer posible esta gran experiencia en este país, único, excitante y lleno de vida, así como a la Universidad Politécnica de Madrid y a la Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Agradecer de manera desmesurada el esfuerzo moral y económico de mis padres, familiares, amigos y novio en su apoyo a lo largo de la carrera, y en especial estos 6 últimos meses.

Agradecer por último, que no menos importante, a mi tutora Elaine Garrido la facilidad y amabilidad con la que aceptó y ha llevado mi proyecto a lo largo del intercambio.

Resumen del Proyecto de Graduación presentado en la Escola Politécnica/UFRJ como parte de los requisitos necesarios para la obtención del grado de Ingeniería Civil.

FACHADAS SOSTENIBLES

ESTUDIO DE LAS DIFERENTES SOLUCIONES PARA
CONSTRUIR FACHADAS SOSTENIBLES

MÓNICA BLANCO OLALLA

ENERO 2014

Orientadora: Prof. Elaine Garrido Vázquez

Hoy en día, es importante ser conscientes que la construcción es una de las actividades que consume más recursos en el mundo y genera más emisiones de CO₂ a la atmósfera. Por eso, es importante aprender a construir de manera sostenible.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar los diferentes tipos de fachadas sostenibles que hoy en día resultan bien viables en los ámbitos constructivos. Desde la arquitectura con energías renovables, la arquitectura bioclimática, y la arquitectura de bajo coste. Con un punto de vista objetivo se analizarán los diferentes sistemas teniendo especial incidencia en los aspectos constructivos que permitan, al final del proyecto, analizar correctamente las fachadas de Madrid.

El apartado práctico del proyecto queda pues definido con este análisis de las fachadas más relevantes de la ciudad de Madrid.

Palabras clave: sostenibilidad, arquitectura, eficiencia, fachada.

Abstract of Undergraduate project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of requirements for degree of Civil Engineer.

SUSTAINABLE FACADES

STUDY OF THE DIFFERENTS SOLUTIONS
TO BUILD SUSTAINABLE FACADES.

MÓNICA BLANCO OLALLA
ENERO 2014

Advisor: Prof. Elaine Garrido Vázquez

Today, it is important to be aware that construction is one of the activities that consume more resources in the world and generates more CO₂ into the atmosphere. Therefore, it is important to learn how to build sustainably.

The present study aims to analyze the different types of sustainable facades nowadays are well viable in construction areas. From architecture with renewable energy, environmental care, and low cost architecture. With an objective point of view I will analyze the different systems having special emphasis on the building aspects that will allow, at the end of project, to analyse correctly the facades of Madrid.

The practical component of the project is defined as the analysis of the most relevant facades of the city of Madrid.

Keywords: sustainable, architecture, efficiency, sustainable facades.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Metodología.....	4
1.5 Estructura del trabajo	5

2. SOSTENIBILIDAD EN FACHADAS

2.1 Definición y concepto de sostenibilidad.....	6
2.2 Arquitectura sostenible.....	9
2.2.1 Introducción	
2.2.2 Concepto de casa pasiva	
2.2.3 Arquitectura bioclimática	
2.2.3.1 Introducción	
2.2.3.2 Nuevas tecnologías en Arquitectura bioclimática	
2.2.3.3 Arquitectura bioclimática contemporánea	
2.2.4 Otras Arquitecturas sostenibles actuales	
2.2.4.1 Arquitectura verde	
2.2.4.2 Arquitectura Eco Tech	
2.2.4.2.1 Arquitectura Low Tech	
2.2.4.2.2 Arquitectura High Tech	
2.3 Materiales sostenibles.....	23
2.3.1 Introducción	
2.3.2 Incidencia ambiental de los materiales de construcción	
2.3.3 El Análisis del Ciclo de Vida (ACV)	
2.3.4 Materiales más utilizados y su posibilidad de reutilización	
2.3.4.1 Madera	
2.3.4.2 Paja y otras fibras vegetales	
2.3.4.3 Tierra	
2.3.4.4 Piedra	
2.3.4.5 Cemento y hormigón	

2.3.4.6	Ladrillo, azulejo y otros materiales cerámicos	
2.3.4.7	Vidrio	
2.3.4.8	Metales	
2.3.4.9	Pinturas, adhesivos, conservantes, sellantes y productos de limpieza	
2.3.4.10	Productos sintéticos	
2.4	Fachadas sostenibles.....	49
2.4.1	Introducción.....	49
2.4.2	Funciones energéticas y aspectos físicos de la fachada.....	51
2.4.2.1	Sombreamiento	
2.4.2.1.1	Trayectoria solar	
2.4.2.1.2	Sombreamiento pasivo y sombreamiento activo	
2.4.2.2	Masa térmica	
2.4.2.3	Cargas térmicas de un edificio	
2.4.2.4	Reflectancia solar	
2.4.3	Soluciones constructivas para fachadas sostenibles.....	60
2.4.3.1	Fachadas diseñadas con estrategias pasivas.....	60
2.4.3.1.1	Estrategias para la reducción de la demanda de calefacción	
2.4.3.1.1.1	Captación directa	
2.4.3.1.1.2	Captación indirecta	
2.4.3.1.1.3	Clasificación de los sistemas solares pasivos	
2.4.3.1.2	Estrategias para la reducción de la demanda de refrigeración	
2.4.3.1.2.1	Protectores solares	
2.4.3.1.2.2	Soluciones de protección solar	
2.4.3.1.2.2.1	Pantallas rígidas	
2.4.3.1.2.2.2	Filtros solares: Lamas	
2.4.3.1.2.2.3	Pantallas flexibles	
2.4.3.1.2.2.4	Vidrios de protección solar	
2.4.3.1.2.3	Estrategias de ventilación y refrigeración	
2.4.3.2	Fachadas solares fotovoltaicas.....	79
2.4.3.2.1	El panel solar térmico	
2.4.3.2.2	El panel solar fotovoltaico	
2.4.3.2.3	Clasificación de las fachadas solares	
2.4.3.2.4	Opciones de integración solar fotovoltaica en fachadas de edificios	
2.4.3.2.4.1	Fachada ventilada	
2.4.3.2.4.2	Muro cortina	

2.4.3.2.4.3 Lamas y parasoles	
2.4.3.3 Fachadas ajardinadas.....	109
2.4.3.3.1 Sistemas constructivos para muros vegetales	

3. ESTUDIO DE SUSTENTABILIDAD EN FACHADAS DE EDIFICIOS DE MADRID

3.1 Edificios diseñados con estrategias pasivas	
3.1.1 Edificio de oficinas en la M-30	112
3.1.2 88 viviendas de promoción pública en la calle de los Clarinetes	122
3.2 Edificios con fachadas fotovoltaicas	
3.2.1 Edificio de servicios sociales y de mayores José Villareal	129
3.2.2 Centro de investigación, Centro de día y Residencia para enfermos de Alzheimer “Fundación Reina Sofía”	136
3.3 Edificios con fachadas ajardinadas	
3.3.1 Jardín Vertical Caixa Forum	141

4. CONSIDERACIONES FINALES

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación

Resulta evidente que con el actual ritmo de crecimiento demográfico, a pesar de la disminución en los últimos años de la tasa de crecimiento, continuamos creciendo año tras año a una velocidad que podría llegar a duplicar la población humana mundial antes de mediados del siguiente siglo. La actual utilización de los recursos naturales y del medio ambiente supone una disminución del potencial de estos recursos para las generaciones futuras.

Fenómenos como pueden ser el cambio climático y la acentuación del deterioro de la capa de ozono, la aparición de la lluvia ácida, la deforestación o la pérdida de biodiversidad, están causados por las actividades económicas que tienen lugar actualmente.

Es un error habitual atribuir exclusivamente a la industria y a los sistemas de transporte, especialmente el automóvil, el origen principal de la contaminación. El entorno construido, donde los humanos pasamos más del 90% de la nuestra vida, es en gran medida culpable de dicha contaminación. Los edificios consumen entre el 20 y el 50% de los recursos físicos según su entorno, teniendo especial responsabilidad en el actual deterioro del medio ambiente la ampliación del parque construido.

Dentro de las actividades industriales la actividad constructora es la mayor consumidora, junto con la industria asociada, de recursos naturales como pueden ser madera, minerales, agua y energía. Asimismo, los edificios, una vez construidos, continúan siendo una causa directa de contaminación por las emisiones que se producen en los mismos o el impacto sobre el territorio, creando un ambiente físico alienante, y una fuente indirecta por el consumo de energía y agua necesarias para su funcionamiento.

La construcción de los edificios comporta unos impactos ambientales que incluyen la utilización de materiales que provienen de recursos naturales, la utilización de grandes cantidades de energía tanto en lo que atiende a su construcción como a lo largo de su vida y el impacto ocasionado en el emplazamiento. El material fuertemente manipulado y que ha sufrido un proceso de fabricación utilizado en el campo de la construcción tiene unos efectos medioambientales muy importantes, con un contenido muy intensivo en energía.

No se pueden olvidar los costes ecológicos que suponen tanto la extracción de los recursos minerales (canteras, minas, etc.) como la deposición de los residuos originados, que abarcan desde las emisiones tóxicas al envenenamiento de las aguas subterráneas por parte de los vertederos. La construcción y el derribo de los edificios originan una gran cantidad de residuos.

El reciclaje y la reutilización de los residuos de demolición y de los residuos originados en la construcción es una solución que acabará parcialmente con el importante impacto ambiental que tiene su origen en el vertido y la incineración.

Muchos edificios modernos crean atmósferas interiores insalubres y/o peligrosas para sus ocupantes, y en una parte significativa de los edificios nuevos o rehabilitados aparece el denominado "síndrome del edificio enfermo". Los nuevos edificios herméticos con climatización controlada retienen compuestos orgánicos volátiles (COV) que pueden llegar a unas concentraciones centenares de veces más altas que en el exterior.

La aplicación de los criterios de sostenibilidad y de una utilización racional de los recursos naturales disponibles en la construcción requerirá realizar unos cambios importantes en los valores que ésta tiene como cultura propia. Estos criterios o, más correctamente, principios de sostenibilidad llevarán hacia una conservación de los recursos naturales, una maximización en la reutilización de los recursos, una gestión del ciclo de vida, así como reducciones de la energía utilizada.

1.2 Objetivos

El presente proyecto tiene como objetivo analizar los sistemas constructivos de arquitectura sostenible aplicados en fachadas, y además se ofrecerá un punto de vista crítico y analítico para valorar todos los factores, recursos, ganancias y resultados de lo que cómodamente llamamos "sostenibilidad".

Se estudiarán una serie de parámetros, en relación con los materiales de la envolvente del edificio, en función de sus características o propiedades denominadas "sostenibles", para establecer soluciones previas distintas a las patologías que pueden emerger y dar otras soluciones o realizar y fomentar sistemas de fachada mejorados con respecto a los actualmente utilizados.

Las fachadas se descomponen en materiales industrializados, en los que habrá que puntualizar en unas pautas y en las ventajas e inconvenientes de su elección.

Además de eso este trabajo de propone presentar un estudio de las fachadas de los edificios sostenibles más significativos de la ciudad de Madrid.

1.3 Justificación

Creo importante profundizar en este tema porque en la actualidad vivimos en mundo en el cual el medio ambiente y la economía no son dos sustantivos bien conjugados; la naturaleza cada día disminuye por el aumento de los espacios urbanos, las cuales se convierten en construcciones totalmente grises, consumistas de energía innecesaria, poco rentables y sofisticadas.

La Arquitectura Ecológica en la actualidad es una solución para la construcción de edificaciones amigables con el medio, surge como una innovación a la arquitectura común, actualiza las formas de construcción, técnicas y adaptaciones a la nueva era en la que se tiende a buscar mayor eficiencia con los recursos que se disponen y se acoplan al ambiente natural en que se construye, aprovechando cada detalle para crear una obra sencilla, orgánica, abierta y rentable, pero de una forma innovadora, inteligente, ecológica, al alcance de todos y de calidad.

Es una tendencia que en países como España e Inglaterra han sido la solución para ciudades totalmente urbanizadas, con exceso de población, con un consumo de energía excesivo y la contaminación creada por la misma, en donde la naturaleza está siendo extinta y suplantada por materiales no orgánicos, que a su vez empeoran el ambiente y aumentan el calentamiento global, que es uno de los problemas más graves que enfrentamos todos.

1.4 Metodología

Para la realización de este trabajo, se consultarán libros, revistas y búsquedas por internet de todo lo que se precise. Se estudiara el concepto de cada una de ellas y se sintetizará la información.

A fin de ofrecer toda la información posible del tema que se pretende tratar, se adjuntaran todas las webs y libros utilizados para llevar a cabo el trabajo, así como de la ayuda de tablas, figuras y cuadros con información adicional que permita llegar más a fondo en este propósito. El proyecto será supervisado bisemanalmente por la profesora Elaine Garrido Vazquez como orientadora.

1.5 Estructura del trabajo

Esta monografía está dividida en 5 capítulos. El primero de ellos es la introducción a la monografía, explicando el por qué de este tema. En el segundo se habla de todos los aspectos de la arquitectura sustentable, los materiales de construcción más utilizados en este tipo de construcciones y se profundiza en los tipos de fachadas sostenibles a estudiar. El tercer capítulo es un estudio en profundidad de algunas fachadas de edificios singulares en Madrid y el cuarto capítulo habla de las consideraciones finales. El último capítulo son las referencias bibliográficas.

2. SOSTINIBILIDAD EN FACHADAS

2.1. Definición y concepto de sostenibilidad

La definición del desarrollo sostenible elaborada por la Comisión Brundtland se considera, cada vez más, un concepto válido pero impreciso, abierto a diferentes interpretaciones, a menudo contradictorias, aunque continúa siendo la principal referencia del ámbito internacional. Acuñada en 1987 por la Comisión para el Medio Ambiente de la ONU bajo la dirección de Gro Harlem Brundtland, aborda las necesidades de recursos medioambientales de las generaciones tanto presentes como futuras. Las exigencias de esta definición informarán el desarrollo mundial del siglo XXI. Sus consecuencias han sido enormes.

La Comisión Brundtland (1987) define el desarrollo sostenible como aquel *“que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”*. Esta definición ha dado lugar a una serie de subdefiniciones que responden a las necesidades particulares de cada sector. Un buen ejemplo es la que utiliza el estudio de arquitectura Norman Foster + Partners, que define la arquitectura sostenible como la creación de edificios *“que sean eficientes en cuanto al consumo de energía, saludables, cómodos, flexibles en el uso y pensados para tener una larga vida útil”*. La Building Services Research and Information Association (Asociación para la Información e Investigación sobre las Instalaciones de los Edificios, BSRIA) ha definido la construcción sostenible como *“la creación y gestión de edificios saludables basados en principios ecológicos y en el uso eficiente de los recursos”*. Estas definiciones muestran el valor de acuñar términos de referencia para ámbitos específicos, desde la construcción a las instalaciones, pasando por los niveles de desarrollo. La filosofía que se insinúa tras la definición de la Comisión Brundtland se beneficia de una cierta falta de precisión. El consenso general en torno a un conjunto de principios genéricos permite introducir subdefiniciones muy útiles dentro del amplio marco de referencia aceptado.

El anterior énfasis en los recursos medioambientales, sobre todo en el ahorro de energía, ha sido reemplazado por un marco de discusión más amplio. La Comisión Brundtland mantenía que los sistemas económicos y sociales no podían separarse de la capacidad de carga del medio ambiente. La idea de crecimiento y bienestar social debe contrapesarse con la conservación de los recursos medioambientales por parte de la generación actual, en beneficio de las generaciones futuras. Esto significa que el término “desarrollo sostenible” tiene amplias ramificaciones para aquellas personas que, como los arquitectos, llevan a cabo el “desarrollo”.

Sin embargo, en el contexto del crecimiento sostenible, la pregunta clave es la siguiente: ¿Son realmente reconciliables la sostenibilidad ambiental y económica? ¿Se autoengañan los arquitectos cuando piensan que el “desarrollo” puede ser verdaderamente sostenible?

El desarrollo sostenible se aceptó exclusivamente en las cuestiones ambientales. En términos más generales, las políticas de desarrollo sostenible, afectan a tres áreas: económica, ambiental y social. En apoyo a esto, varios textos de las Naciones Unidas, incluyendo el Documento Final de la cumbre mundial en el 2005, se refieren a los tres componentes del desarrollo sostenible, que son el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente, como "pilares interdependientes que se refuerzan mutuamente".

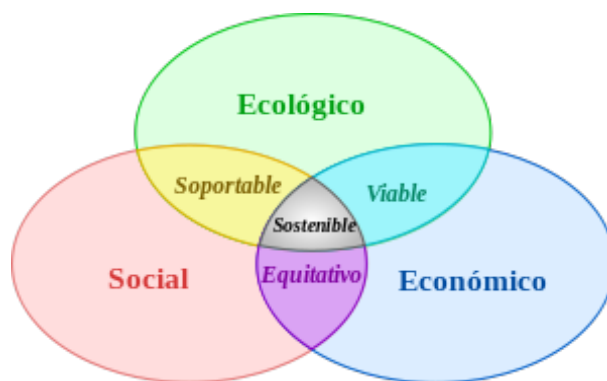


Figura 1: Pilares del desarrollo sostenible. Fuente: Wikipedia desarrollo sostenible.

El objetivo del desarrollo sostenible es definir proyectos viables y reconciliar los aspectos económico, social, y ambiental de las actividades humanas; "tres pilares" que deben tenerse en cuenta por parte de las comunidades, tanto empresas como personas:

Cuadro 1: Pilares del desarrollo sostenible

Sostenibilidad económica: se da cuando la actividad que se mueve hacia la sostenibilidad ambiental y social es financieramente posible y rentable.

Sostenibilidad social: basada en el mantenimiento de la cohesión social y de su habilidad para trabajar en la persecución de objetivos comunes

Sostenibilidad ambiental: compatibilidad entre la actividad considerada y la preservación de la biodiversidad y de los ecosistemas, evitando la degradación de las funciones fuente y sumidero. Incluye un análisis de los impactos derivados de la actividad considerada en términos de flujos, consumo de recursos difícil o lentamente renovables, así como en términos de generación de residuos y emisiones.

Los límites de los recursos naturales sugieren tres reglas básicas en relación con los ritmos de desarrollo sostenibles.

Cuadro 2: Reglas del desarrollo sostenible

Ningún recurso renovable deberá utilizarse a un ritmo superior al de su generación.
Ningún contaminante deberá producirse a un ritmo superior al que pueda ser reciclado, neutralizado o absorbido por el medio ambiente.
Ningún recurso no renovable deberá aprovecharse a mayor velocidad de la necesaria para sustituirlo por un recurso renovable utilizado de manera sostenible.

Según algunos autores, estas tres reglas están forzosamente supeditadas a la inexistencia de un crecimiento demográfico. Se llama desarrollo sostenible aquél desarrollo que es capaz de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos y posibilidades de las futuras generaciones. Intuitivamente una actividad sostenible es aquélla que se puede mantener. Hoy sabemos que una buena parte de las actividades humanas no son sostenibles a medio y largo plazo tal y como hoy en día están planteadas.

La puesta en práctica del desarrollo sostenible tiene como fundamento ciertos valores y principios éticos. La Carta de la Tierra presenta una articulación comprensiva e integral de los valores y principios relacionados a la sostenibilidad. Este documento, el cual es una declaración de la ética global para un mundo sostenible, fue desarrollado a partir de un proceso altamente participativo global, por un período de 10 años, iniciado en la Cumbre de Río de Janeiro de 1992, y el cual culminó en el año 2000. La legitimidad de la Carta de la Tierra proviene precisamente del proceso participativo el cual fue creado, ya que miles de personas y organizaciones de todo el mundo brindaron su aporte para encontrar esos valores y principios compartidos que pueden ayudar a las sociedades a ser más sostenibles. Actualmente existe una creciente red de individuos y organizaciones que utilizan este documento como instrumento educativo y de incidencia política.

2.2. Arquitectura sostenible

2.2.1. Introducción

La arquitectura sostenible es aquella que tiene en cuenta el medio ambiente y que valora cuando proyecta los edificios la eficiencia de los materiales y de la estructura de construcción, los procesos de edificación, el urbanismo y el impacto que los edificios tienen en la naturaleza y en la sociedad. Pretende fomentar la eficiencia energética para que esas edificaciones no generen un gasto innecesario de energía, aprovechen los recursos de su entorno para el funcionamiento de sus sistemas y no tengan ningún impacto en el medio ambiente.

Cuadro 3: Principios de la arquitectura sostenible

La consideración de las condiciones climáticas, la hidrografía y los ecosistemas del entorno en que se construyen los edificios, para obtener el máximo rendimiento con el menor impacto.
La eficacia y moderación en el uso de materiales de construcción, primando los de bajo contenido energético frente a los de alto contenido energético
La reducción del consumo de energía para calefacción, refrigeración, iluminación y otros equipamientos, cubriendo el resto de la demanda con fuentes de energía renovables
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 los requisitos de confort higrotérmico, salubridad, iluminación y habitabilidad de las edificaciones.

2.2.2. El concepto de casa pasiva

Se habla de casa pasiva cuando se consigue una edificación que no necesita energía para mantener el confort interior (temperatura, calidad y renovación del aire...) o que tiene unos requerimientos de energía mínimos. El concepto, históricamente, nace en países como Islandia, donde se sufren unas temperaturas de frío extremo y no se disponía del combustible para calentar las casas. Era necesario entonces mantener la vivienda en una temperatura constante sin poder depender de una fuente de energía externa.

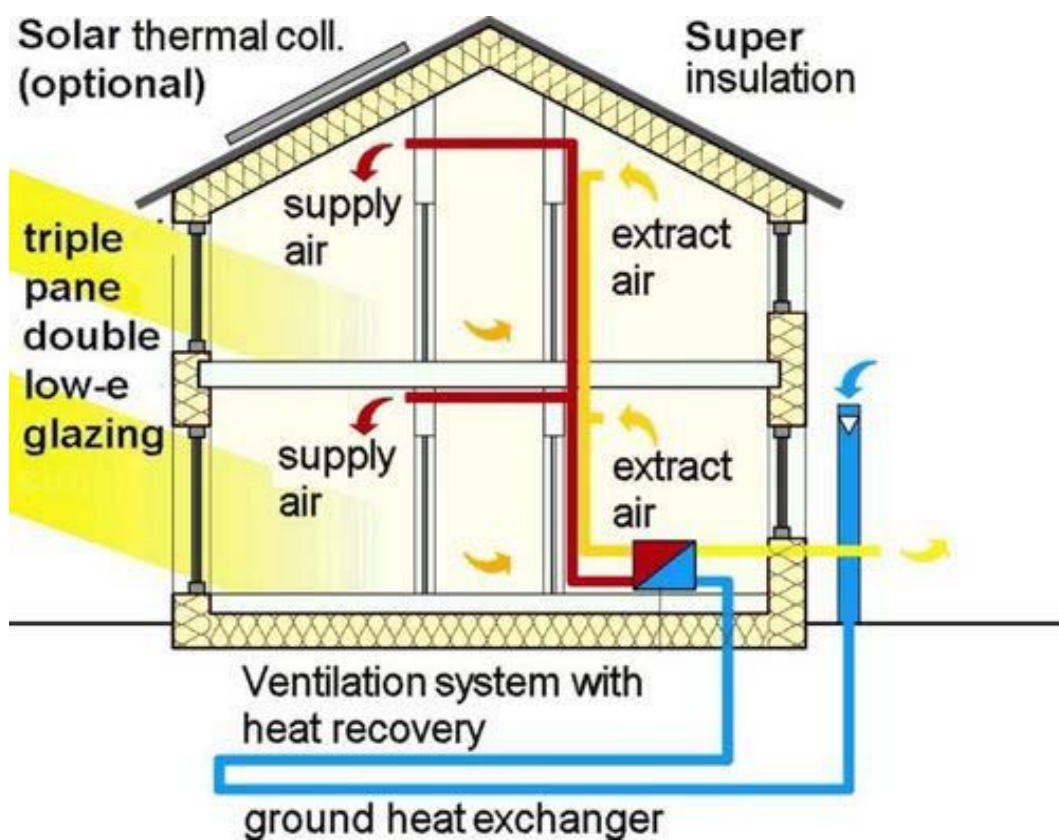


Figura 2: Funcionamiento de casa pasiva. Fuente: *passivhaus wikipedia*

El estándar Passivhaus se formula en 1988 por los profesores Adamson y Wolfgang Feist y en 1990 se realiza el primer proyecto en estándar Passivhaus en Darmstadt, Alemania.

Principios básicos

Para que un edificio se considere passivhaus debe basarse en los siguientes principios:

Cuadro 4: Principios del estándar Passivhaus

Superaislamiento; una buena envolvente térmica, con un buen aislamiento de espesores que doblan, incluso triplican, los que estamos acostumbrados a utilizar tradicionalmente.
Eliminación de los puentes térmicos; se reducen en la medida de lo posible aquellos puntos del edificio donde la envolvente es más débil, debido a un cambio de composición, paredes con ventanas, paredes con suelos o cubierta, etc.
Control de las infiltraciones; reducir al mínimo las infiltraciones mediante sistemas de control, de tal manera que el edificio pueda ser calefactado mediante la ventilación con recuperación de calor sin recurrir a ningún otro sistema.
Ventilación mecánica con recuperación de calor; pieza clave en el funcionamiento de un edificio pasivo, aprovechar el calor del aire que se extrae del edificio, transfiriéndoselo al aire fresco que entra desde el exterior.
Carpinterías de altas prestaciones; las ventanas y puertas son las zonas más débiles de la envolvente térmica, por lo que es muy importante colocar aquellas que reduzcan las pérdidas tanto a través de ellas como por sus rendijas
Optimización de las ganancias solares y del calor interior; consiste en llegar a un equilibrio entre las ganancias de calor, tanto solares como de las personas y los equipos del interior, de manera que beneficie lo máximo posible a la demanda de calefacción en invierno, sin llegar a perjudicar en exceso a la demanda de refrigeración en verano.
Modelización energética de ganancias y pérdidas; mediante un software específico el “Passivhaus Planning Package” (PHPP), empleado para ajustar los cálculos térmicos a las características del estándar Passivhaus.

Los objetivos mínimos que un edificio passivhaus debe conseguir son:

Cuadro 5: Objetivos del estándar Passivhaus

Demanda máxima de calefacción de 15kWh/m ² .
Demanda máxima de refrigeración de 15KWh/m ²
Edificios calefactados y refrigerados por aire una carga de frío y calor menor de 10 W/m ² .
Estanqueidad ensayada del edificio al aire $\leq 0,6$ (renovaciones de aire a la hora con una presión de 50 pascales).
Consumo de energía primaria no superior a 120 kWh/m ² (incluyendo todos los sistemas: climatización, agua caliente, electricidad, electrodomésticos, etc.).
Temperaturas superficiales interiores de las paredes, techos y suelos en invierno: 17°C.

Todo esto manteniendo unas condiciones de confort óptimas, ya que no debe pensarse solamente en la reducción del consumo energético, sino también en mantener unas condiciones de confort en su interior.

2.2.3. Arquitectura bioclimática

2.2.3.1. Introducción

Es una nueva forma de ver la arquitectura, de tal modo que el edificio se compagine con el medio ambiente y así mostrar un solo lenguaje logrando la configuración y unificación de la naturaleza junto a lo edificado por el hombre.

Este tipo de arquitectura tiene en cuenta el clima para su diseño, y dentro de este diseño interviene la adecuación, la geometría y la orientación.

Vale resaltar que la arquitectura anterior ya presentaba algunos parámetros de arquitectura bioclimática, debido a la disposición de las ventanas y al uso o manejo de ciertos materiales.

La arquitectura bioclimática busca mejorar el estilo de vida, su objetivo general es ayudar al medio ambiente y utilizar lo mas posiblemente la energía que brinda la naturaleza.

El construir una casa bioclimática, no quiere decir que esta sea únicamente para gente adinerada, no, también es posible para gente con menos recursos, teniendo en cuenta algunos parámetros en el diseño que disminuyan costos.

Este tipo de arquitectura tiene en cuenta la dirección del sol, las corrientes de aire, las condiciones del terreno (la naturaleza en general).

El objetivo no es crear cosas relevantes, el objetivo es sacar el mayor provecho posible, de lo ya existente, para así mejorar el estilo de vida, tanto del ser humano como de la naturaleza.

Cuadro 6: Ventajas e inconvenientes de la Arquitectura Bioclimática

Ventajas	Inconvenientes
Un edificio verde mejora el ambiente en los espacios, además que ayuda a disminuir el consumo de energía eléctrica, debido a la buena iluminación que este presenta.	Sobrecosto en la construcción de la vivienda.
Ahorro económico en cuentas de electricidad y gas.	Algunos hábitos de la sociedad, pues no están acostumbrados a vivir en ciertas condiciones que plantea la naturaleza.
Logra armonizar y conjugar la arquitectura con el entorno, por lo cual logra una mejor distribución y manejo de recursos.	

2.2.3.2. Nuevas tecnologías en la arquitectura bioclimática

El término tecnología puede entenderse de distintas formas. Generalmente se utiliza para definir los procedimientos y aplicaciones prácticas de la ciencia, es decir para definir un conjunto de técnicas aplicadas. Otras veces, para denominar una cierta manera de hacer las cosas, en las que domina la máquina y las ingenierías, y en la cual el grado de complejidad se considera como sinónimo de avance y vanguardia

Ciertamente la tecnología engloba todos estos aspectos, pero cuando nos referimos a las tecnologías arquitectónicas debemos considerar además, las implicaciones y consecuencias que tiene la aplicación de dichas técnicas en los ámbitos humano y ambiental. De hecho una aplicación tecnológica puede ser exitosa en un lugar, bajo condiciones ambientales y sociales particulares, y ser un fracaso en otro lugar con características diferentes. De ahí que la tecnología debe ser apropiada a cada caso específico.

Desde luego esto no significa que toda la tecnología tenga que ser local. De hecho, el desarrollo de la humanidad se ha dado en base a la amplia difusión del conocimiento, técnico y científico. En la actualidad la comunicación que se tiene con todo el mundo a través de las redes de computación, permite compartir información de una manera prácticamente instantánea. En este sentido, las técnicas arquitectónicas también se están difundiendo ampliamente. Muchas tecnologías pueden tener un amplio espectro de aplicación, y en muchos casos éstas pueden ser «universales». Lo importante es que su uso no sea irracional. Se deben analizar y evaluar las implicaciones sociales, culturales, ambientales, etc. y establecer su pertinencia o no; en su caso adecuar y definir la forma de utilización bajo condiciones distintas a aquellas que le dieron origen. En otras palabras, lo importante es el «concepto», la idea y el porqué, y no solamente el resultado final.

2.2.3.3. Arquitectura Bioclimática Contemporánea

En la actualidad la arquitectura bioclimática en el mundo se está dando de manera amplia tanto en edificios habitacionales y viviendas, como en edificios públicos. Dos aspectos son abordados de manera importante: La climatización natural y la iluminación. En los proyectos de vivienda son mas marcados los aspectos de climatización, incluyendo el control solar, ventilación natural y uso de materiales. Mientras que en los edificios públicos, adicionalmente, se hace mucho énfasis en la ventilación e iluminación naturales.

Desde luego, la arquitectura bioclimática considera el confort de manera global, y no únicamente el aspecto de control térmico o el control del asoleamiento; que es lo más notorio, o lo que la gente identifica más claramente del bioclimatismo.

2.2.4. Otras arquitecturas sostenibles actuales

2.2.4.1. Arquitectura verde (geomórfica)

La arquitectura de integración persigue la creación de una “segunda naturaleza”, de recoger todas las condicionantes del medio ambiente natural y del entorno inmediato para diseñar edificios sostenibles y tecnológicamente renovables. La naturaleza se integra al ente arquitectónico a través del hombre y este a través de los sentidos.



Figura 3: Edificio en Seúl. Arquitecto Minsuk Cho. Fuente: <http://constructoresrd.com>

La naturaleza no ve ni siente y quien participa de ambos es el hombre, la naturaleza es un escenario y el hombre es el actor principal, el cual se integra a ella a través del estímulo que reciben sus sentidos o lo que percibe de su entorno. En los últimos años hemos visto surgir en el marco del paradigma ambiental, una serie de propuestas que surgieron algunos caminos a seguir; Arquitectura Ecológica, Arquitectura Verde, Arquitectura Bioclimática, Bioarquitectura, Arquitectura Geomórfica o Arquitectura Sostenible, que incorporan instrumentos para evaluar, controlar y minimizar el impacto físico del proyecto y su posterior construcción en el contexto en el que inserta. Estas soluciones se rigen por las teorías ambientalistas o científicas, las cuales se basan en el proceso de diseño a partir de considerar la creación de arquitectura subordinada o dominada por factores naturales, estableciendo ciertos parámetros ya sea mediante formas preestablecidas, asignando de antemano un coeficiente de contaminación máxima a cumplir, o de los flujos de entrada y salida de energía, etc.

Su estrategia es la de confundirse con el entorno, de convertir la arquitectura en parte del paisaje.

2.2.4.2. Arquitectura Eco-Tech

Hoy en día avanzamos hacia un mundo que comienza a definir sus posturas frente al medio ambiente, el diseño y la arquitectura. Es así como nace la denominación Eco-tech, más conocida como la “Arquitectura sustentable”, que se ha convertido en uno de los principales referentes mundiales.

En la década de los 70 surgió la denominada high-tech, un estilo arquitectónico basado en las constantes innovaciones tecnológicas que comenzaban a abrirse paso en occidente. Este estilo, enmarcado entre el paso de modernismo a post-modernismo, fue una respuesta a la arquitectura de las décadas anteriores, enmarcadas en un progreso que buscaba rápidamente construir muchos edificios de gran altura en todas las ciudades, lo que terminó por crear una arquitectura monótona en muchas partes del mundo. De esta forma, el high-tech tomó como inspiración la arquitectura de famosos grupos como “Archigram” o los japoneses Kenzo Tange, Kiyonori Kikutake y Kisho Kurosawa, para dar paso a un estilo mucho más tecnológico y donde las terminaciones y diseños volvían a cobrar vida e importancia.

El panorama cambiaría en la década de los 90, cuando el tema medio ambiental comenzó a tomar fuerza y poco a poco las personas tomaron cuenta de los problemas que vendrían en el futuro. Así fue como en 1993, durante la Conferencia Internacional de Florencia sobre la energía solar en arquitectura y urbanismo, nace el grupo de arquitectos y diseñadores READ. Este grupo comenzaría a profundizar en una arquitectura basada en energías renovables y materiales amigables con el medio ambiente. Así es como nace el estilo eco-tech o también llamado arquitectura sustentable, que 20 años después comienza a cobrar cada día más fuerza a través de diversas construcciones en todo el mundo que buscan cambiar el mundo y llevarlo hacia un destino donde el ser humano y la naturaleza puedan vivir en armonía y equilibrio.

2.2.4.2.1. Arquitectura Low-Tech

Al planificar un nuevo edificio a menudo no se tiene en cuenta su posible impacto ambiental y social. Para intentar frenar esta tendencia, los defensores del Low Tech, una nueva forma de arquitectura ecológica, reivindican la revisión de las técnicas constructivas del pasado, para que la arquitectura del futuro mantenga la eficiencia actual y se preocupe, al mismo tiempo, por los aspectos éticos que derivan de ella.

A lo largo de las últimas décadas, la tecnología ha permitido lograr avances significativos en el campo de la arquitectura. Sin esas innovaciones sería impensable sacar adelante edificaciones como el hotel Vela, en Barcelona, o el hotel de siete estrellas Burj al Arab, en Dubái. A veces, sin embargo, esta innovación eclipsa los efectos ambientales de los materiales que se han utilizado en la construcción, ya que en muchos casos se producen en zonas alejadas del emplazamiento del edificio.

Esta conciencia sobre los impactos colaterales es el motor del sistema de construcción Low Tech, una forma de hacer arquitectura que reivindica una visión de los proyectos a largo plazo. El sistema Low Tech se basa en tres principios: potenciar el uso de materiales locales, adaptar técnicas del pasado que están a punto de desaparecer y lograr que dichas técnicas estén al alcance de todo el mundo.



Figura 4: Edificio en Zoetermeer, Holanda. Arquitecto Arjen Leas. Fuente: revista Architonic newsletter 05.2011

Cada territorio dispone de cierta clase de recursos materiales en función de sus condiciones ambientales. En el sistema Low Tech es básico que los conocimientos se adapten a los recursos de cada zona, para lograr un equilibrio y no tener que importarlos del exterior. Hay que evitar, en la medida de lo posible, el transporte de materiales pesados, ya que suponen un enorme gasto energético del que es posible sustraerse.

Existe una tendencia generalizada a trabajar con los materiales convencionales como el cristal, la cerámica cocida o el hormigón, y parece que el resto ni existen.

Se podría destacar dentro del Low Tech el uso de la tierra, un material que conoce muy bien y que destaca por sus ventajas: es inocuo, fácil de obtener localmente, supone un reducido gasto energético, es incombustible y un buen aislante térmico y acústico. Si se combinan la tierra y otros materiales naturales se pueden levantar paredes con sistemas que casi están en desuso, como los tapiales (muros de tierra compacta que se realizan mediante un encofrado de madera), el adobe (ladrillos de tierra cruda y paja secada al sol) o el cob (mezcla de tierra, agua y paja sin una forma concreta).

De hecho, el conocimiento tradicional es otro foco del Low Tech. Si hacemos un repaso de la historia de la arquitectura, puede parecer que se ha hecho tabula rasa para ignorar todo el conocimiento que se ha ido acumulando a lo largo de los siglos. No debemos olvidar de dónde venimos, porque las técnicas antiguas han funcionado en muchas construcciones. Antes de la Revolución Industrial existía un gran conocimiento práctico, que se ha ido perdiendo con la introducción de nuevas técnicas en las que el oficio no es tan necesario. La clave del Low Tech, por lo tanto, consiste en encontrar el equilibrio justo entre los grandes conocimientos del pasado y los avances de los últimos años.

Un ejemplo práctico de construcción Low Tech es la que tiene una base de material local, abundante y pesado, y que se beneficia de los pequeños tecnicismos High Tech (resultado de la innovación tecnológica) para mejorar el resultado final. Los materiales locales y las técnicas del pasado implican un aumento de la accesibilidad.

No obstante, el Low Tech también tiene un aspecto menos positivo: el tiempo de construcción y la mano de obra son superiores al sistema convencional. Así pues, ¿es posible aplicar este método en construcciones reales o es tan solo una corriente utópica? Mucha gente piensa que solo se utiliza en países en vías de desarrollo, aunque en realidad pueden encontrarse arquitectos que siguen el Low Tech en todo el mundo.

La arquitectura Low Tech es una vía emergente que se halla muy limitada por las firmes normativas que rigen en los países en materia de construcción. La solución comporta un doble cambio: de mentalidad y de normativas. Por una parte, hay que incorporar nuevas tendencias arquitectónicas, alejadas de los materiales tecnificados y las imágenes contemporáneas.

Por otra parte, para hacer posible el cambio de normativas hay que realizar primero una cuantificación exhaustiva del coste real de los materiales, que tenga en cuenta el impacto de todo el ciclo de vida, desde la extracción del material hasta la gestión de los residuos que se deriven de la construcción.

Solo con estos datos, los técnicos podrán determinar cuáles son las mejores soluciones a largo plazo.



Figura 5: Guardería infantil en La Font del Rieral, Cataluña. Primer edificio Low Tech del Estado español.

Fuente: <http://www.casabioclimatica.com>

2.2.4.2.2. Arquitectura High-Tech

El High Tech es la corriente arquitectónica que se apoya en la Alta Tecnología para expresar su imagen, utilizan a la tecnología como un fin en sí, no para llegar a alguna parte. Es el afán por enseñar las estructuras, el acero, el hormigón, vidrio y mostrarla como parte estética de la edificación.

Esta nueva tendencia nos introduce más allá de la mera imagen. Nos introduce las variables de la ingeniería dentro del proceso de planeamiento y nos ha proyectado consideraciones estructurales en la iconografía arquitectónica.

Las características principales de la arquitectura High Tech son muy variadas, incluyendo la exposición de componentes técnicos y funcionales de la construcción, una disposición relativamente ordenada y un uso frecuente de componentes prefabricados. Las paredes de vidrio y las estructuras de acero son muy populares en este estilo. Estas características unidas, generaron una estética industrial. La técnica, en algunos aspectos, implicó la base del fundamento estético de las construcciones.



Figura 6: Edificio en Mumbai, India, obra de James Law. Fuente: <http://www.arquitexs.com/2010/11>

En lo que respecta al diseño interior había una preferencia por utilizar objetos familiares a la industria; por ejemplo: recipientes usados en la industria química como jarrones para flores. Esto porque el objetivo era el uso de la estética industrial. Objetivo que brindara a la gente una familiaridad entre el espacio de trabajo industrial y el lugar donde viviría o se entretendría. El movimiento buscó dar a todo una apariencia industrial.

Es importante remarcar que los elementos técnicos mostrados para generar la estética industrial no eran solamente a los fines estéticos sino a los funcionales. Responden a una exigencia proyectual resolviendo problemas de diseño. Son solamente funciones, aquellas que eran reelaboraciones del funcionalismo del Movimiento Moderno. Todavía los elementos industriales mantienen en parte una apariencia y un objetivo funcional.

2.3. Materiales sostenibles

2.3.1. Introducción

La importancia de los materiales de construcción a la hora de crear un modelo de construcción sostenible es innegable; solamente la construcción y mantenimiento de edificios consume la mitad de los materiales del mundo.

A lo largo de la historia se ha producido un cambio en el proceso de obtención de los materiales, hasta no hace mucho las mayoritarias sociedades rurales obtenían sus materiales en el entorno más próximo con un impacto sobre el territorio relativamente bajo. La aparición de medios de extracción y fabricación más eficientes y potentes, así como un transporte mucho más globalizado por la abundante y barata disponibilidad de energía, hace que la producción de materiales pierda la inmediatez de lo cercano y se convierta en una actividad altamente impactante.

Pero frente a este tipo de materiales existen alternativas, que pueden parecer más caras, pero cuyo uso a largo plazo resulta más rentable porque proporcionan un importante ahorro energético, con lo que se obtiene la construcción de viviendas de mayor calidad, y una calidad respetuosa con el medio ambiente.



Figura 7: Construcción sostenible en Costa Rica ganadora del premio Bienal de Arquitectura 2012. Arquitectos: Pietro Stagno, Luz Letelier. Fuente: <http://www.vidamasverde.com/>

Este tipo de materiales, no son más que aquellos que la propia naturaleza proporciona y que se han venido utilizando en la construcción de viviendas durante miles de años: madera, barro, corcho, mármol, etc, y a los que se les pueden añadir nuevos materiales para lograr una utilización ecológica de los mismos: termoarcilla, sudorita, geotextiles, bioblock, celenit, cables afumex, arlita, heraklith, pinturas biofa.

También se elaboran materiales ecológicos a partir de escombros y de residuos sólidos industriales, que sustituyen el consumo creciente de materias primas, escasas o ubicadas en sitios distantes, reduciendo el incremento de costos y resultando más económicos que los materiales tradicionales de construcción. Podemos citar como ejemplo los sistemas de ahorro de agua y autoabastecimiento con energía solar y/o eólica.

No obstante, de poco sirve utilizar materiales ecológicos si los edificios no están bien diseñados, fallando por ejemplo la orientación y necesitan para calentarse un gran gasto energético y si este se hace a base de combustibles fósiles emitiendo diariamente grandes cantidades de CO₂.

Pautas para una Selección de Materiales Sostenibles:

Cuadro 7: Pautas para la selección de materiales sostenibles

Que tengan larga duración
Que puedan ajustarse a un determinado modelo
Que provengan de una justa producción
Que tengan un precio accesible
Que sean valorizables
Que sean no contaminantes
Que consuman poca energía en su ciclo de vida
Que en su entorno tengan valor cultural
Que provengan de fuentes abundantes y renovables
Que posean un porcentaje de material reciclado.
Que no utilicen materiales de aislamiento que contenga CFC (clorofluorocarbonos).

2.3.2. Incidencia Ambiental de los Materiales de Construcción

Hay 5 puntos en los que podemos focalizar el impacto que causan los materiales sobre la salud y el medio ambiente:

Consumo de energía:

Si una importante fracción de la energía primaria se consume en el sector de la construcción y si su empleo ocasiona el tristemente famoso calentamiento global, a partir de las emisiones de CO₂, así como el riesgo de agotamiento de determinados recursos, emplear materiales de bajo consumo energético en todo su ciclo de vida será uno de los mejores indicadores de sostenibilidad.

Si analizamos el consumo de energía para la fabricación de estos materiales, comprobaremos que los materiales pétreos (arena, grava, piedra, tierra) y la madera presentan el comportamiento energético más idóneo, mientras que los plásticos y los metales, en especial el aluminio, el más negativo.

Los metales y los plásticos consumen gran cantidad de energía en su proceso de fabricación, aunque los primeros presentan unas óptimas características resistentes y los segundos unas propiedades aislantes de interés.

Figura 8: Energía primaria de materiales de construcción

ENERGIA PRIMARIA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	KWH/M ³
LADRILLO COMÚN	1350
LADRILLOS POROSOS CON HUECOS	540
HORMIGÓN	500
HORMIGÓN PREFABRICADO	800
MADERA	590
OSB	1280
BALAS DE PAJA	7
ESTRUCTURA DE MADERA CON BALAS DE PAJA	45 - 70
ADOBES (SIN SECADO ARTIFICIAL)	1 - 10
TIERRA APISONADA, MECANIZADO	40

Consumo de recursos naturales:

El consumo a gran escala de determinados materiales puede llevar a su agotamiento.

Así, el empleo de materiales procedentes de recursos renovables y abundantes será una opción de interés.

El empleo de la madera puede ser un buen ejemplo de material renovable y abundante.

Impacto sobre los ecosistemas:

El empleo de materiales cuyos recursos no procedan de ecosistemas sensibles sería otro aspecto a tener en cuenta a la hora de su selección.

Las maderas tropicales sin ninguna garantía en la gestión de su procedencia, la bauxita procedente de las selvas tropicales para la fabricación del aluminio, las graveras en áreas protegidas de interés para la extracción de áridos, son materiales que deberíamos evitar.

Impacto ambiental de los principales materiales de construcción							
Material	Efecto invernadero	Acidificación	Contaminación atmosférica	Ozono	Metales pesados	Energía	Residuos sólidos
Cerámica	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+
Piedra	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+
Acero	++	++	+	+++	++	++	+++
Aluminio	+	+	++	+++	+	+	+++
PVC	++	++	+	+++	++	++	++
Poliestireno	++	+	+	++	+	+	++
Poliuretano	+	++	+	+	++	++	+++
Pino	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
+++ impacto pequeño; ++ impacto medio; + impacto elevado.							

Figura 9: Impacto ambiental de los materiales de construcción

Emisiones que generan:

Uno de los grandes problemas ambientales que supuso la explosión de la conciencia ecológica fue el adelgazamiento de la capa de ozono debido a, entre otros motivos, la emisión de los denominados clorofluorocarbonos (CFC).

Los aislantes más empleados en construcción presentaban un agente espumante que le daba sus características como espuma o panel. Aunque hoy en día los espumantes no utilizan CFC, asistimos a la aparición de multitud de productos de aislamiento ecológicos que nos permiten descartar esas opciones.

Los PVC, abanderados de la industria del cloro, y debido a sus contaminantes emisiones de dioxinas y furanos, son materiales que poco a poco van siendo prohibidos en cada vez más usos, por ejemplo en el suministro de agua para el consumo humano.

Comportamiento como residuo:

Los materiales al finalizar su vida útil pueden ocasionar importantes problemas ambientales. Su destino, ya sea la reutilización directa, el reciclaje, la deposición en vertedero o la incineración, hará que su impacto sea mayor o menor.

Los materiales metálicos para chatarra, la teja cerámica vieja, las vigas de madera de determinada sección pueden ser pequeñas joyas en el derribo para un uso posterior.

2.3.3. El análisis del ciclo de vida (ACV)

El ACV identifica los flujos de materiales, energía y residuos que genera un edificio durante toda su vida útil, de manera que el impacto medioambiental pueda determinarse por adelantado. Los flujos analizados engloban la extracción de materias y su uso, reutilización, reciclaje o eliminación. Normalmente hay tres opciones al final de la vida útil de un edificio:

- Reutilización de las partes en una nueva construcción
- Reciclaje del material (por ejemplo, como áridos para hormigón nuevo)
- Derribo del edificio y vertido de los escombros en un vertedero controlado.

Es preferible reutilizar que reciclar (debido a que los costes energéticos que supone transformar el material), y es preferible reciclar que eliminar. Éste sería un último recurso, ya que la capacidad de los vertederos es cada vez más escasa, los impuestos que gravan los residuos aumentan, y la producción de metano y otros gases contribuyen al calentamiento global. A veces es posible reciclar los residuos para producir energía o fertilizantes. El ACV considera las diferentes alternativas posibles al final de la vida útil del edificio, y plantea su toma en consideración por el proyectista al inicio del proceso.



2.3.4. Materiales más utilizados y su posibilidad de reutilización

2.3.4.1. Maderas

La madera es un material de construcción que tiene mucho éxito: ligera, resistente, duradera, fácil de trabajar bella y con una tradición inmemorial y una base solida de técnicas y conocimientos. También es un recurso renovable, siempre q se utilicen las técnicas de silvicultura adecuadas. Sin embargo, según el Adena/WWF, en la actualidad el comercio internacional de madera constituye la principal amenaza para los bosques del mundo. El tipo y la calidad de los bosques varían enormemente, y las mediciones de superficie forestal son engañosas, porque equiparan los ricos bosques naturales con plantaciones monocultivo. Normalmente los bosques más antiguos son los más ricos en flora y fauna, y albergan especies raras y autóctonas. También contienen la mayor proporción de arboles maduros y, por tanto, son los más atractivos para las empresas madereras. La mayoría de los bosques naturales del mundo están en grave peligro. La desaparición de los bosques tropicales es bien conocida, pero los bosques templados y boreales, incluyendo los pocos bosques primarios que quedan en Europa, también están desapareciendo rápidamente, sobre todo debido a la tala. Las talas ilegales, que desplazan a las poblaciones indígenas para abrir camino a la explotación forestal, son habituales en muchos países.

No siempre resulta fácil seleccionar madera y productos derivados de ella que procedan de bosques gestionados de forma sostenible. Existen muchos sistemas de etiquetado y afirmaciones de “sostenibilidad”, pero la mayoría no han sido comprobados rigurosamente, y por tanto, no tienen ningún valor.



Figura 10: bosque gestionado sosteniblemente certificado por FSC. Fuente: <http://www.pdcahome.com>

El Forest Stewardship Council (FSC) es un organismo internacional cuya misión es verificar los sistemas de certificación de los bosques gestionados correctamente. Para poder llevar el logotipo del FSC, los sistemas de certificación deben demostrar que la gestión de los bosques respeta los siguientes diez principios.

Cuadro 8: Principios para el mercado FSC.

Cumplimiento de las leyes nacionales e internacionales.
Derechos de tenencia y uso legalmente establecidos y documentados.
Respeto por los derechos de las poblaciones indígenas.
Apoyo a las relaciones con la comunidad y a los derechos de los trabajadores.
Uso eficiente de los variados recursos del bosque.
Conservación de la integridad biológica del bosque.
Existencia de un plan de gestión con objetivos a largo plazo claramente especificados.
Realización de procesos de seguimiento y evaluación.
Conservación de los bosques naturales, sin que sean sustituidos por otros usos del suelo.
Gestión y utilización adecuada de las plantaciones para reducir la presión sobre los bosques naturales.

Los productos que llevan el logotipo del FSC son los únicos que deberían aceptarse como procedentes de bosques gestionados de forma sostenible. Las afirmaciones de “sostenibilidad” o “respeto por el medio ambiente” que no hayan sido aprobadas por el FSC deberían tratarse con mucha precaución.



Figura 11: casa Eco-Perch por Blue Forest. Fuente: Jovarq Networks S. de R.L. de C.V. 2013

Aunque la madera proceda de bosques sostenibles sigue ejerciendo un considerable impacto ambiental debido a la energía que se utiliza durante su extracción, transporte y procesado. La madera secada al aire consume menos energía que la secada en hornos.

Una alternativa a la madera certificada por el FSC (que aún es relativamente difícil de conseguir) es usar madera producida localmente o madera reutilizada de una fuente conocida (como un edificio en demolición). En ambos casos, las ventajas son el menor consumo durante el transporte y la oportunidad de informarse personalmente sobre la procedencia del material.

La ejecución meticulosa de los detalles puede alargar la vida útil de la madera dentro del edificio, mientras que la planificación y la selección de los tamaños pueden maximizar la eficiencia y reducir los residuos.

Productos derivados de la madera

La madera es el principal componente de una serie de productos utilizados en la construcción. En la mayoría de los casos, los comentarios que se han hecho sobre la madera también pueden aplicarse a los productos derivados de ella, con la salvedad de que es incluso más difícil comprobar su origen. Muchos productos, como los tableros de partículas o de fibras, o incluso las vigas estructurales sintéticas, utilizan recortes y astillas de maderas residuales. Aunque esto no garantiza que la madera provenga de una fuente sostenible, al menos, demuestra que se está utilizando de forma eficiente. La madera contrachapada, sin embargo, utiliza trozos de madera de grandes dimensiones, que probablemente no hayan sido producidos de forma sostenible.

Los otros componentes de los productos derivados de la madera varían mucho. Los paneles, como los enlistonados, contrachapados o de partículas, normalmente utilizan resinas orgánicas como aglomerante. Correctamente fabricadas, estas resinas deberían ser inertes y no producir emisiones al ambiente interior. Si se producen emisiones durante el uso de los materiales, será probablemente durante los primeros días de la instalación.

El papel es otro producto que requiere una cantidad importante de madera para su fabricación. Sin embargo, comparado con la cantidad utilizada por sus ocupantes, el papel utilizado en el edificio probablemente no produzca un impacto grave para el medio ambiente. El debate sobre los costes y beneficios del papel reciclado todavía no se ha cerrado, pero el papel basado en fibras como el cáñamo y el kanaf en lugar de pulpa de madera, probablemente sea el más sostenible.

2.3.4.2. Paja y otras fibras vegetales

La paja consiste en tallos de plantas de los cereales, como el trigo, la avena, la cebada, el centeno y el arroz, que quedan una vez cosechado el grano. Puede no parecer un material muy adecuado para la construcción, pero su adaptación ha ido aumentando rápidamente debido a su amplia disponibilidad, su bajo impacto medioambiental y sus excelentes propiedades de aislamiento. Las balas de paja proporcionan un grado de aislamiento térmico de 0,012 W/mK aproximadamente. La paja puede utilizarse en la construcción en diversas formas. Se emplea en distintas proporciones como aglutinante en adobe y tapial de adobe. Desde la invención de la empacadora a finales del siglo XIX, las balas de paja se han utilizado como bloques de construcción para muros con un nivel muy alto de aislamiento. Esta práctica comenzó en Nebraska (Estados Unidos), donde aún quedan en pie algunos de los primeros edificios con muros de balas de paja. Más recientemente, esta técnica ha tenido éxito en otros países. La experiencia indica que los problemas relacionados con la humedad y los insectos pueden solucionarse satisfactoriamente a través de un buen proyecto; el fuego no constituye un riesgo, porque la paja altamente comprimida y empacada no arde. En algunos edificios, las propias balas soportan el peso de la cubierta; en otros se utilizan simplemente como relleno de una estructura. Los muros suelen asegurarse mediante varas de hierro o bambú que atraviesan las balas, y luego se revisten con un enlucido de yeso por dentro y por fuera.

La paja y otras fibras vegetales también se utilizan como materia prima para la fabricación de paneles, que pueden tener aplicaciones muy diversas. Las fibras se comprimen a temperaturas muy altas (sobre 200°C) y quedan fuertemente ligadas sin necesidad de adhesivos.

Los juncos, la paja y los tallos de otras plantas también se han utilizado tradicionalmente como material para techar. Las cubiertas de paja son atractivas y tienen un bajo impacto medioambiental, pero requieren mucho trabajo y mano de obra cualificada.



Figura 12: casa techada con paja en costa Rica. Fuente: www.arquitecturacostarica.com

El impacto medioambiental de la paja y de otras fibras vegetales acostumbra a ser muy bajo. En su mayoría, se consideran residuos de la agricultura, aunque en algunos casos se pueden cultivar especialmente para la construcción. Enormes cantidades de paja residual se queman (contaminando el aire) o se mezclan con la tierra cuando se labra para mejorar su estructura (una solución más beneficiosa). El principal ambiental de estos materiales es el producido por el combustible que se utiliza para transportarlos. El combustible necesario por kilogramo/kilometro es superior a la media, debido a su baja densidad, sin embargo si se obtienen de una fuente local, el impacto ambiental de las fibras es bajo.



Figura 13: casa hecha con balas de paja. Fuente: <http://salvabecedas-archivo.blogspot.com.br>

2.3.4.3. Tierra

La tierra está compuesta por pedazos de piedra de diferente granulometría (desde pequeños guajiros hasta limo) y de arcilla, el ingrediente activo o “cola” aglutinadora. Los materiales orgánicos, como los que se encuentran en la capa superficial del suelo, no son recomendables en la tierra que se utiliza en construcción. El otro ingrediente fundamental es el agua. El contenido de arcilla varía mucho de unos suelos a otros: en general es más probable que la tierra contenga demasiada arcilla (que puede causar grietas cuando se seca), que demasiado poca (que puede hacer que se desmenuce). Para compensar el exceso de arcilla puede añadirse paja o arena; para aumentar la resistencia estructural de la tierra, puede estabilizarse con asfalto, cal o cemento.

La tierra fue uno de los primeros materiales de construcción y su uso continua siendo generalizado. Se ha calculado que, en la actualidad, un tercio de la humanidad vive en casas hechas de tierra. La tierra puede obtenerse libremente casi en cualquier lugar y su impacto medioambiental es prácticamente nulo; su extracción es fácil, el transporte y procesamiento son mínimos y deshacerse de ella no podría ser más sencillo.



Figura 14: adobes. Fuente: "Soluções Sustentáveis. Construções Naturais" de André Soares

La tierra se utiliza en construcción de diversas formas. La más sencilla consiste en hidratarla y añadir otros ingredientes levantando muros a mano, sin ningún tipo de molde o formas. En los países anglófonos, esta técnica se conoce como cob. En los climas soleados, la tierra se moldea para formar adobes, que a veces se comprimen de forma mecánica y se secan al sol; este medio pudo haber surgido en el Oriente Medio en torno al año 10000 a. de C., y todavía se utiliza en muchas partes del mundo. La tierra también puede introducirse en moldes in situ y comprimirse manualmente para otorgarle mayor resistencia; es una técnica que se denomina

tapial. Los moldes suelen ser de madera o metálicos, pero se han utilizado incluso neumáticos. La dureza, la resistencia y durabilidad del tapial pueden llegar a ser similares a las del hormigón, dependiendo del grado de compresión. Otro método con larga tradición es el geltaftan, que consiste en llenar de leña un edificio y utilizarlo como un horno para cocer cerámica, de forma que el propio edificio seque y se endurezca durante el proceso. Los muros de tierra pueden tener un grosor de un metro o más, o pueden ser tan estrechos como una estructura comparable de ladrillo u hormigón.

Incluso si los muros no se construyen de tierra, puede apilarse en torno al edificio (como una berma) o sobre él (en una cubierta vegetal); la tercera alternativa es enterrar el edificio. En todos los casos, la tierra proporciona aislamiento e inercia térmica. Lo más novedoso en la construcción de casas semienterradas son las cuevas artificiales excavadas en la tierra, de las que ya existen ejemplos en varios países de Europa.

La tierra no es un aislante especialmente eficaz. Su conductancia varía según el grado de humedad y su densidad. Sin embargo, es un excelente acumulador térmico. El coste adicional de la estructura necesaria para sostener la cubierta vegetal probablemente quede compensado por el ahorro que conlleva la utilización de un aislante barato como es la tierra.

La tierra es un material flexible e indulgente. Sin embargo, las técnicas de la construcción con tierra son específicas para esa materia y es aconsejable dejarse asesorar por un experto.

2.3.4.4. Piedra

La piedra es la base de la arquitectura tradicional en muchos lugares, y continua siendo ampliamente utilizada. Es especialmente útil debido a su elevada masa térmica, su resistencia, durabilidad (que depende de su dureza) y belleza. La piedra no es un material renovable, pero es abundante, aunque algunos tipos de piedras son escasos y ciertas zonas carecen de piedra de calidad para la construcción. El proceso para la extracción de la piedra de las canteras es perjudicial para el medio ambiente, por tanto, la utilización de la piedra recuperada de otras construcciones evitará ese impacto. Sin embargo, el impacto medioambiental más fuerte que produce la piedra es probablemente el transporte. La solución natural y tradicional para este problema es utilizar piedra obtenida en las inmediaciones. Esto también permite que el arquitecto se mantenga informado sobre el impacto del proceso de extracción.

La piedra fabricada y la piedra sintética se utilizan a veces como alternativas menos costosas a la piedra natural, sobre todo como revestimiento para bloques de hormigón. El proceso de fabricación de estos materiales requiere mucha energía, y su impacto ambiental global es probablemente similar al del hormigón.



Figura 15: Muro de mampostería. Fuente: www.bibliocad.com

2.3.4.5. Cemento y hormigón

CEMENTO

Cemento es un término general para referirse a aglomerantes cuyos ingredientes incluyen cal (óxido de calcio). El tipo de cemento más utilizado en Europa es el cemento Portland. Para fabricarlo, se mezclan carbonato de calcio (normalmente en forma de piedra caliza), silicatos (de arena, arcilla o ceniza volátil, un subproducto de las centrales eléctricas de carbón) y pequeñas cantidades de ingredientes como mineral de hierro o de aluminio, y todo ello se quema a temperaturas de hasta 1500°C. El resultado es una mezcla de compuestos químicos de calcio, silicio y oxígeno, con algo de hierro y aluminio; la mezcla exacta determina las propiedades del cemento. Posteriormente se le añade un 5% de yeso (sulfato de calcio). Debido a las altas temperaturas que se requieren, el proceso consume mucha energía. Además, la reacción química que permite obtener cal a partir del carbonato de calcio (calcinación) emite CO₂.

La cantidad total de CO₂ emitida durante la producción del cemento dependerá de la eficiencia del horno utilizado. Un cálculo aproximado sugiere que la producción de un kilogramo libera 1,1 kg de CO₂. El 60% de esa cantidad proviene de la combustión del combustible fósil, y el 40% restante del proceso de calcinación. El aspecto positivo es que algunos combustibles residuales, como el aceite usado de vehículos, residuos peligrosos y neumáticos pueden quemarse de forma más segura en los hornos de cemento debido a las altas temperaturas. Sin embargo, esto depende de la aplicación de métodos adecuados de seguimiento y control, y todavía provoca cierta inquietud.

Otro tipo de impacto medioambiental debido a la producción de cemento está relacionado con la naturaleza alcalina de su polvo. Cuando se libera en el aire o en el agua (por ejemplo, al lavar las máquinas) puede constituir un riesgo para el medio ambiente, ya que el agua alcalina es tóxica para los peces y otros tipos de vida acuática. Sus cualidades corrosivas también pueden perjudicar la salud de los trabajadores.



Figura 16: cemento. Fuente: Maira Kouvara. www.consumer.com

No existe ninguna forma de clasificar el cemento según el grado de respeto medioambiental que demuestre su producción, así que la primera estrategia del arquitecto ecológico debería ser minimizar la cantidad utilizada. Un diseño cuidadoso puede ser de gran ayuda.

HORMIGÓN

El hormigón, principal destinatario del cemento, contiene un 12-14% de cemento y cantidades variables de agua (6-7%), arena (25-35%) y grava, piedra machacada u otro árido (48-53%). Cuando se mezcla el hormigón, un 15-35% del cemento puede sustituirse por ceniza volátil.

La arena y la grava son recursos no renovables que se extraen de una cantera o se obtienen mediante dragado, causando un impacto importante sobre el medio ambiente local. Aunque aún quedan numerosos recursos de este tipo sin explotar, muchos de ellos no se utilizarán debido a consideraciones medioambientales. Además, la piedra machacada requiere energía adicional para ser triturada, para reducir la extracción y el transporte de estos materiales, pueden utilizarse áridos reciclados o reutilizados y residuos industriales (incluso hormigón machacado) en la preparación de la mezcla. El transporte de estos productos constituye probablemente su mayor impacto ambiental. Sin embargo, la parte más importante de las emisiones globales de dióxido de carbono debidas al hormigón (el 85%) se generan durante la producción del cemento.

Otro gran problema ambiental asociado con el hormigón es su eliminación. El hormigón representa aproximadamente la mitad de todos los residuos procedentes de la construcción y

la demolición. Puede triturarse para ser utilizado como árido, pero su reutilización es poco habitual.

El impacto ambiental por kilogramo de los bloques de hormigón es prácticamente el mismo que el de otras formas de hormigón, pero, como es necesario curarlos antes de que puedan ser utilizados, y esto se realiza por medio de una alta presión, el consumo de energía total es mayor.

Existen tipos especiales de hormigón, como el hormigón aireado, que incluye polvo de sulfato de aluminio en la mezcla. El sulfato de aluminio reacciona con la cal y produce gas de hidrógeno, que produce burbujas en el hormigón. A pesar de que el sulfato de aluminio aumenta el impacto medioambiental del proceso, debido a las grandes cantidades de energía que requiere su producción, el hormigón aireado tiene una relación resistencia/peso más alta. Por tanto, el impacto medioambiental global de una estructura determinada será probablemente inferior al de una estructura similar de hormigón convencional.

Los bloques aislantes compuestos contienen una espuma aislante entre capas de hormigón. En este caso, el principal motivo de preocupación es el uso de agentes espumantes en el material aislante como los clorofluorocarbonos (CFC) e hidroclorofluorocarbonos (HCFC), que destruyen la capa de ozono. Otro posible problema es la dificultad de reciclar o reutilizar estos bloques compuestos al final de la vida útil de la estructura, porque el hormigón no puede separarse de la espuma aislante.

2.3.4.6. Ladrillo, azulejo y otros materiales cerámicos.

Los productos de cerámica, como el ladrillo, el azulejo y los sanitarios se fabrican mediante la cocción de arcilla a altas temperaturas. La arcilla es un material muy abundante, aunque no renovable. Su extracción puede suponer un impacto perjudicial sobre el medioambiente local, pero el principal impacto medioambiental de la cerámica se debe al combustible que se consume durante el proceso de cocción. La energía que se utiliza en este proceso varía, pero un horno típico necesitaría sobre 2,75MJ/kg para fabricar ladrillo y algo más para cerámica vidriada. Si se asume que se utiliza una mezcla de combustible sólido, petróleo, gas y electricidad en el proceso de cocción, las emisiones de CO₂ rondarán los 0,33kg por kW/h. Esto significa que las emisiones de CO₂ correspondientes al ladrillo son de unos 0,25kg de CO₂ por kilogramo de ladrillo, lo que supone solo una cuarta parte de las emisiones de CO₂ del cemento Portland; sin embargo, si tenemos en cuenta que el hormigón contiene un 12-14% de cemento, el resultado final es que el ladrillo produce el doble de emisiones de CO₂ por kilogramo que el hormigón. Por tanto, el ladrillo es uno de los materiales que se utilizan en grandes cantidades en la construcción que más energía consume. Una alternativa es la reutilización de los ladrillos, y en muchos lugares ya existe un floreciente mercado de ladrillos usados.



Figura 17: ladrillos. Fuente: <http://blogs.opinionmalaga.com>

2.3.4.7. Vidrio

El vidrio se produce a partir de arena silícea, carbonato de sodio y sulfatos, todos ellos materiales no renovables pero abundantes, el proceso de fabricación requiere una gran cantidad de energía y emite aproximadamente 2kg de CO₂ por kilogramo de vidrio producido. Sin embargo, la masa real del vidrio, en la mayoría de los edificios es relativamente pequeña. Se ha calculado que una casa de tres habitantes contiene unos 100 kg de vidrio, comparados con más de 25 t de hormigón (el principal material estructural). Por tanto, el impacto ambiental del vidrio queda compensado con creces por su influencia sobre la iluminación natural el rendimiento térmico. Normalmente, el vidrio es reciclable, pero en realidad solo una pequeña parte de él se recicla.



Figura 18: Banco Europeo de Inversiones en Luxemburgo. Fuente: Inhabitat.

2.3.4.8. Metales

Los metales se obtienen a partir de la minería, que suele ser perjudicial para el medio ambiente local debido a la alteración física a gran escala del terreno y a las emisiones tóxicas. La mayoría de las minas requieren una rehabilitación muy costosa después de su cierre para que el terreno pueda ser aprovechado para otros usos. El proceso de extracción de metal del mineral suele requerir grandes cantidades de energía, pero no existen cifras exactas sobre estos procesos, y los cálculos aproximados varían considerablemente.

Aunque los metales son un recurso no renovable, suelen ser reciclables. Los residuos procedentes de la construcción y de la demolición deberían clasificarse para facilitar su reciclaje, dado que el coste de reciclar residuos sin clasificar es mucho mayor. En principio, los metales podrían recuperarse incluso entre los residuos sin clasificar y, por tanto, es poco probable que lleguen a desaparecer por completo. Su reciclaje supone un ahorro considerable de la energía utilizada en el proceso de extracción, aunque, una vez más, no existen datos concretos. El contenido de material reciclado de un metal no siempre es fácil de calcular, pero supone una forma relativamente fiable de medir su impacto medioambiental.

Aluminio

El aluminio se extrae de la bauxita, mediante la electrolisis de este metal, el proceso requiere mucha energía y, por consiguiente, produce un gran impacto medioambiental. Sin embargo, el aluminio es reciclable y el proceso de reciclaje solo requiere aproximadamente el 5% de la energía que consume la electrolisis. Es un material muy duradero y resistente a la corrosión, aunque debería evitarse su contacto con ácidos, álcalis y otros metales.

Cobre

El cobre es un material muy utilizado en cubiertas, paneles de revestimiento, elementos decorativos, tuberías y cables. Tiene propiedades biocidas que lo hacen adecuado para usos exteriores, pero da lugar a escorrentías tóxicas. Las tuberías de cobre todavía se utilizan para el suministro de agua, aunque han sido prohibidas en algunos lugares (como Suecia) y, que general, están siendo sustituidas por tuberías de plástico. El cobre es muy duradero, resistente a la corrosión y se puede reciclar con facilidad.

Plomo

El plomo es un material muy tóxico y un potente veneno por acumulación, por ello, su uso en edificios debería evitarse. También es un material muy escaso pero con amplias posibilidades de reutilización.

Acero

El acero es el metal más ampliamente utilizado en la construcción. Su proceso de producción requiere mucha energía. El reciclaje de la chatarra de acero es habitual, aunque no resulta tan fácil como en el caso de otros metales. El acero no es resistente a la corrosión, por tanto, en muchos casos se le aplican revestimientos que impidan su corrosión; el impacto de estos productos será considerado por separado.

Cinc

El cinc suele utilizarse como recubrimiento de otros metales. La naturaleza del proceso de revestimiento (galvanizado) hace que el cinc y el metal queden estrechamente ligados, de forma que ninguno de ellos será fácil de reciclar. Este proceso suele requerir el uso de una solución de cromato, que es muy toxica y, además, consume mucha energía. Sin embargo, la galvanización es una forma muy eficaz de prolongar la vida útil del acero y otros componentes metálicos. El cinc también se utiliza en forma de laminas, y para muchas aplicaciones constituye una alternativa menos toxica que el cobre.

2.3.4.9. Pinturas, adhesivos, conservantes, sellantes y productos de limpieza.

Las pinturas, los adhesivos, los celantes, conservantes y productos de limpieza abarcan una gama muy diversa de sustancias. Normalmente solo están presentes en los edificios en cantidades muy pequeñas, pero su efecto sobre el medio ambiente puede ser desproporcionado. Aunque su proceso de fabricación suele incluir el uso de petróleo y gas como combustibles, y también como materias primas, las emisiones de CO₂ y otras sustancias relacionadas con los combustibles fósiles no constituyen un gran problema medioambiental en este caso, debido a las pequeñas cantidades que se utilizan en comparación con otros materiales.

Las emisiones tóxicas durante su fabricación, uso y eliminación son más preocupantes, estos productos deben tratarse como residuos tóxicos y eliminarse de la forma correspondiente, además, si no se utilizan con la debida precaución, pueden afectar gravemente a la calidad del aire interior, un tema que cada vez preocupa más a los proyectistas, sobre todo porque cada día los edificios son mas herméticos y aumenta el uso de disolventes orgánicos, equipamiento de oficina y ventilación artificial.

Pintura

La pintura contiene un disolvente ("la base"), agentes aglutinantes, materiales de relleno y aditivos, como pigmentos, secantes, pulidores y antiespumantes. Cada uno de estos ingredientes puede ser perjudicial para la salud y el medio ambiente. Algunos pigmentos, por ejemplo, incluyen metales pesados potencialmente dañinos, como plomo, cadmio y cromo.

Aunque no se encuentran con facilidad para algunas aplicaciones, las pinturas de base acuosa son las más recomendables desde el punto de vista medioambiental que las que contienen hidrocarburos orgánicos, que pueden ser peligrosas para la salud de pintores y ocupantes. La mayoría de las pinturas basadas en hidrocarburos utilizan resina alquídica como aglutinante. La pintura aglutinada con resina alquídica de alto contenido en sólidos es más recomendable que la pintura alquídica tradicional, porque contienen menos disolventes orgánicos. Las pinturas "naturales" se componen de ingredientes de origen biológico que se degradan de forma natural; sin embargo, estas pinturas siguen utilizando disolventes orgánicos, como el aguarrás, y suelen ser más caras y menos eficaces que las convencionales. Las pinturas acrílicas son de base principalmente acuosa y contienen solo un 10% o menos de disolventes orgánicos, pero

suelen contener conservantes perjudiciales. En todos los casos, las pinturas de alto brillo requieren más disolventes que las de acabado mate.

Adhesivos

El impacto ambiental más preocupante de estas sustancias es la emisión de los compuestos volátiles por los adhesivos basados en disolventes orgánicos y por los endurecedores, como los utilizados en los sistemas de resina epoxi. Los adhesivos que utilizan disolventes orgánicos deberían aplicarse con precaución y en lugares bien ventilados, o evitarse por completo y sustituirse por adhesivos de base acuosa o sistemas mecánicos de fijación. El uso generalizado de adhesivos puede dificultar el desmontaje del edificio y el reciclaje de sus componentes.

Conservantes para madera

Los conservantes para madera se comercializan en formatos muy diversos: pinturas, barras, pastas e incluso humo. Sus ingredientes activos varían desde los relativamente suaves hasta los muy tóxicos, e incluyen compuestos basados en cobre, cromo, arsénico, cinc, boro y flúor, así como creosota, pentaclorofenol, dieldrina, lindane, óxido de estaño tributílico y permetrina.

Los efectos sobre la salud de los trabajadores de la madera están bien documentados y demuestran que la mayoría de estos compuestos son, en cierto grado, perjudiciales para la salud.

El deterioro de un edificio es normalmente el síntoma de un defecto de construcción o de una acumulación de humedad, no el inevitable resultado del paso del tiempo. Cada fuente de humedad debería compensarse con un medio de eliminarla. Suele ser posible evitar por completo el uso de conservantes si se ejecutan correctamente los detalles, se selecciona una madera duradera y se aplica y mantiene una capa protectora cuando sea necesaria. La utilización de implantes sólidos para conservar zonas vulnerables concretas (como las juntas de los marcos de puertas y ventanas) es más aconsejable que un tratamiento general.

Cuadro 9: conservantes para madera más y menos perjudiciales

Menos perjudiciales	- Boratos - Compuestos de amonio cuaternario, jabones de cinc, azules - Cromo-cobre-boro (CCB), cinc-cobre-fluoruro (CCF)
Más perjudiciales	- Cromo-cobre-arsénico (CCA), improsol (bifluoruro), creosota.

Los boratos son los conservantes menos dañinos para el medio ambiente, aunque causan filtraciones cuando están húmedos. Si van a estar en contacto con el agua, pueden necesitar combinarse con un tratamiento impermeabilizante.

Los conservantes deberían ser siempre aplicados por un técnico cualificado.

Sellantes

Debido a su flexibilidad y facilidad de aplicación, los compuestos sellantes se utilizan de forma generalizada para sellar juntas, grietas y otros huecos: incluso podría decirse que se utilizan en exceso. Existe una amplia gama de productos, desde cintas y otros sólidos hasta fluidos, que pueden ser plásticos o elastoméricos. Como el de cualquier otro material constructivo, el impacto medioambiental del sellante debería sopesarse teniendo en cuenta su durabilidad, pues cuantas más veces sea necesario sustituirlo, mayor será el impacto.

En general, los sellantes se utilizan en pequeñas cantidades y su impacto medioambiental no es excesivo. Conviene evitar sobre todo los sellantes que utilicen productos químicos perjudiciales para la capa de ozono (CFC y HCFC) durante el espumado; los selladores de poliuretano (PUR) y de cloruro de polivinilo (PVC), que ejercen un impacto ambiental considerable, y los selladores que contengan disolventes orgánicos, como los selladores acrílicos de base no acuosa.

Productos de limpieza

Una parte del proceso de construcción en la que no se suele pensar mucho es la limpieza del edificio una vez finalizada la obra y antes de su ocupación. El responsable de esta limpieza es normalmente el contratista, pero suele subcontratarlo a empresas especializadas que tal vez no sean conscientes de los esfuerzos que se han realizado previamente para garantizar la construcción de un edificio saludable. Deberían especificarse productos de limpieza biodegradables y no tóxicos.

2.3.4.10. Productos sintéticos

Los productos sintéticos se fabrican por medio de diversos procedimientos químicos, principalmente a partir del petróleo. También es posible, aunque menos frecuente, producirlos a partir de recursos renovables derivados de plantas; en este caso se denominan bioplásticos o biosintéticos. Los procesos de craqueo y polimerización mediante los que se fabrican los productos sintéticos pueden generar la emisión de materiales orgánicos al ambiente, también se emplean otros aditivos, como cloro y cianuro, que pueden desprender gases tóxicos. La fabricación de productos sintéticos solo consume una pequeña proporción del petróleo del mundo. Ese proceso requiere una cantidad de energía relativamente grande, aunque los cálculos varían mucho, de 50 a 100 MJ/kg. Sin embargo, las cantidades utilizadas en el proceso de construcción son normalmente pequeñas, y esto significa que su energía incorporada no es excesivamente preocupante.

Muchos productos sintéticos no son fácilmente biodegradables, con el consiguiente problema de la eliminación de residuos a largo plazo. Por otra parte, cuando sí se degradan, o cuando son destruidos o dañados por el fuego, la radiación de rayos ultravioleta u otros agentes, los productos que resultan en algunos casos (no en todos) constituyen un peligro debido a su toxicidad. En algunos casos es posible su reciclaje, pero solo cuando entran en un proceso de clasificación de residuos.

Los productos sintéticos son extremadamente útiles para muchas aplicaciones; suelen ser impermeables, flexibles y poco costosos. En la mayoría de los casos, su utilidad compensa el impacto ambiental que ejercen, pero debe considerarse cuidadosamente la forma de eliminarlos, porque su naturaleza no biodegradable puede causar problemas. Sin embargo se ha puesto seriamente en duda la conveniencia de utilizar el PVC.

Betún

El betún se utiliza ampliamente en las cubiertas y en la impermeabilización de edificios. Se produce a partir de fracciones residuales de la destilación del petróleo. En teoría, es reciclable, siempre y cuando no esté contaminado por otros materiales, que no es habitual. El betún suele mezclarse con polvo de roca o ha sido aplicado sobre tela, fibra de vidrio o poliéster para formar un mástique, paneles o tejas. No genera problemas medioambientales durante su utilización, pero es necesario tomar precauciones para garantizar la salud y seguridad de los trabajadores durante la aplicación de betún o asfalto caliente.

EPDM

Las láminas de EPDM (monómero propileno dietilénico) se utilizan en cubiertas planas, para revestir depósitos y para cubrir juntas. El EPDM se produce por medio de la galvanización y posterior vulcanización de los monómeros de etileno, propileno y dieno; en el proceso se utilizan varios disolventes orgánicos, que pueden causar daños medioambientales si se liberan, no se puede reciclar, aunque es posible degradarlo y producir un relleno de calidad inferior.

EPS (poliestireno expandido) y poliestireno extruido

El poliestireno se utiliza como aislante y para acristalamiento. La producción de poliestireno conlleva algunas emisiones de estireno y otros compuestos orgánicos moderadamente perjudiciales. El proceso de soplado mediante el que se expande el EPS utiliza pentano (un disolvente orgánico ligeramente tóxico). En algunos casos, todavía se utilizan CFC y HCFC en el proceso de soplado del poliestireno extruido.

Materiales peligrosos para la salud

MATERIAL	USOS	IMPACTOS SOBRE LA SALUD
Asbesto	Tableros y placas de fibrocemento. Tratamientos superficiales. Aislamientos. Tuberías	Contacto directo al desprenderse fibras o en caso de incendio Asbestosis. Cáncer de pulmón. Cáncer de peritoneo o de pleura
Plomo	Cubierta. Instalaciones eléctricas. Tuberías. Soldaduras. Pinturas	Ingestión, inhalación, absorción a través de la piel Veneno que se acumula en el organismo
Protección de la madera	Tratamiento de protección, insecticidas y fungicidas	Humos irritantes y tóxicos Cancerígeno
Plásticos	Los más peligrosos serían los volátiles: PVC, el formaldehído y los ftalatos de esteres	Ingestión o inhalación
Fibras minerales	Aislamiento de cubiertas, fachadas y tubos	Enfermedades en los ojos, irritaciones en la piel, problemas respiratorios e incluso cáncer de pulmón

Figura 19: Materiales peligrosos para la salud

2.4. Fachadas sostenibles

2.4.1. Introducción

La arquitectura nace para intentar lograr el confort y la defensa de las inclemencias meteorológicas. Esa es su esencia. Evolucionan las formas y volúmenes en función de las necesidades y culturas, de las estéticas y de los lenguajes plásticos del momento.

A partir de la crisis del petróleo paulatinamente ha adquirido mayor relevancia la eficiencia energética. Paralelamente se ha generado la conciencia colectiva de la necesidad de reducir la contaminación ambiental. Ha habido que replantarse los sistemas constructivos buscando soluciones más sostenibles.

El elemento arquitectónico del cual depende en mayor grado el confort y la eficiencia energética es la fachada

Los constructores de edificios han llegado a la conclusión de que: “la clave está en las fachadas”. A parte de ser la cara visible de la construcción, les permite emplearlas como una herramienta funcional y que contribuye a la sostenibilidad y funcionalidad de la edificación. A través de diversas formas arquitectónicas se consigue una mayor radiación solar, con un perfecto equilibrio en la climatización interior, tanto en invierno como en verano.

Necesidades de las fachadas

Para alcanzar un nivel de confort óptimo la fachada debe cumplir unos requisitos técnicos como son la estanqueidad, el control de la permeabilidad, el aislamiento acústico y el aislamiento térmico. Pero también tiene que cumplir los objetivos de uso como son la privacidad o la defensa frente a la intrusión, que afectan directamente al nivel de confort del usuario.

No cabe olvidar la importancia de la apertura de la vivienda al exterior, la visión periférica o la entrada de luz. Las vistas que se logran desde la edificación son un valor añadido, lo cual refleja claramente la relevancia que se le confiere desde el punto de vista del usuario.

Por último la estética de las fachadas está instalada en el subconsciente colectivo y, aunque no todos compartamos los gustos en cuestión de belleza arquitectónica, todos escapamos del feísmo.

Evolución en los sistemas constructivos

Los estudios que se hacen, centrados en las fachadas, en aras a lograr una mayor eficiencia y mejorar la sostenibilidad de la edificación podemos separarlos en grupos:

Cuadro 10: Soluciones de fachadas sostenibles

Combinaciones de distintas capas con diversos materiales. Es decir intercalar un aislamiento u otro, usar un material de cerramiento u otro, dimensionar el tamaño de las cámaras de aire, estudiar distintos espesores de aislamiento, la supresión de puentes térmicos, etc...Mientras en España se usan espesores de aislamiento de 3 a 5 cmts en otros países europeos se están usando 18 o 20 cmts. De la misma manera en España se usan materiales cerámicos fundamentalmente y en otros países se imponen las tabiquerías secas. Se prevé que para el año 2020 sea obligatorio en Europa llegar al estándar passivhaus desarrollado en Alemania. Esto supondría reducir los consumos energéticos de las edificaciones un 80%. Habría por tanto que modificar todos los hábitos constructivos en materiales, sistemas, espesores y en general en optimizar los recursos y conocimientos.

Las fachadas ventiladas y los distintos materiales y sistemas a emplear son una solución comprobada y que si no está más extendido su uso es por no haber alcanzado una equiparación en coste a las soluciones tradicionales

La doble piel: generar una envolvente sobre la primera fachada que funcione estéticamente y técnicamente con independencia y autonomía pero complementaria.

2.4.2. Funciones energéticas y aspectos físicos de la fachada

Lograr la eficiencia energética en un edificio no es cuestión de una única adecuación o modificación sino más bien un conjunto de ellas.

En los apartados anteriores se habló ya de eficiencia energética y de arquitectura bioclimática. Pues bien, las fachadas arquitectónicas son uno más de estos elementos que pueden lograr, mediante una adecuada selección e instalación, importantes ahorros de energía en los edificios por conceptos de acondicionamiento de aire, calefacción e iluminación.

Cierto tipo de fachadas son capaces de proveer sombreado hacia los edificios limitando así las ganancias de calor cuando sean indeseables. Estos sombreados pueden ubicarse externamente al edificio (como toldos, persianas, etc.) o ser parte de los mismo (como partesoles, volados, etc.). A su vez éstos pueden ser pasivos (sin partes móviles) o activos (con partes móviles).

2.4.2.1. Sombreamiento

Uno de los factores más importantes, desde el punto de vista de la eficiencia energética, a tomar en cuenta al momento de diseñar un edificio es el sombreado, esto es, elegir las técnicas que lo protejan de la radiación solar, lo que reduciría las ganancias de calor por conducción a través de los materiales de construcción y las ganancias de calor por radiación a través de las aberturas. Sin embargo, se debe tener especial cuidado en permitir la correcta iluminación del edificio.

A fin de lograr lo anterior, es primordial entender el movimiento aparente del Sol respecto a una posición fija en la Tierra; a esto se le conoce como trayectoria solar.

2.4.2.1.1. Trayectoria solar

Mediante un buen diseño en la orientación de los edificios que tome en cuenta la trayectoria solar es posible tener edificios bien iluminados que utilicen menos horas al día la iluminación artificial, lo que reduce el consumo de energía eléctrica por este concepto, así como el adecuado control de la temperatura en el edificio lo que disminuye el consumo de energía por aclimatización del edificio (equipos de aire acondicionado y/o calefacción) para lograr el confort térmico.

Es importante recordar algunos conceptos y ampliar otros en esta sección a fin de entender claramente cómo utilizar el sombreado.

Para localizar cualquier punto sobre la superficie de la Tierra se requieren de dos magnitudes angulares: la longitud y la latitud. Para su correcta definición se considerará que la Tierra es una esfera perfecta. Cualquier punto al que se haga referencia se considerará que está sobre la superficie terrestre, y por conveniencia, a nivel del mar. Los términos eje de la Tierra, ecuador, polos terrestres y puntos cardinales, meridianos y paralelos; que son de uso común serán definidos de la siguiente manera:

Cuadro 11: Definiciones importantes

Eje terrestre: Es la línea recta imaginaria alrededor de la cual se realiza el movimiento de rotación de la Tierra, es decir es una recta alrededor de la cual la Tierra gira diariamente.

Ecuador: Es una circunferencia imaginaria cuyo plano es ortogonal al eje terrestre y que divide a la Tierra en dos semiesferas llamadas Hemisferios; el Norte y el Sur. El círculo definido por el ecuador se le llama plano ecuatorial.

Polos terrestres: Son dos puntos opuestos sobre la superficie terrestre definidos por el eje de la Tierra. Al punto superior se le llama Polo Norte y al inferior se le llama Polo Sur. Al considerar el plano ecuatorial, resulta que el Polo Norte queda arriba del ecuador, mientras que el Polo Sur queda debajo de éste. Así que el Ecuador divide a la Tierra en el Hemisferio Norte y el Hemisferio Sur.

Puntos cardinales: Cualquier observador en la Tierra “ve” salir el Sol por un punto y ocultarse por otro. Al punto por donde sale el Sol se le llama Este, mientras que al punto por donde se oculta se le llama Oeste. Estos puntos son totalmente opuestos y definen una línea recta imaginaria que resulta ser perpendicular a la recta definida por los polos. Ambas rectas definen los 4 puntos Polo Norte, Polo Sur, Este y Oeste llamados los puntos cardinales. Considerando estas definiciones, la Tierra gira en dirección hacia el Este, y si se observa a ésta desde arriba del Polo Norte, su movimiento de rotación resulta ser en contra de las manecillas del reloj.

Meridianos, longitud y tiempo solar: Los meridianos son semicircunferencias que pasan por los polos y cuyo radio es igual al radio de la Tierra. Su centro es el centro de la Tierra. Dos meridianos consecutivos definen una rebanada de esfera que en el lenguaje común, aplicado a los cítricos, se le llaman “gajos”. La identificación de los meridianos es de gran importancia en nuestra vida cotidiana ya que son los que definen el concepto de tiempo solar. Además, localización de un punto sobre la superficie terrestre.

Como la circunferencia tiene 360° , se podrán trazar imaginariamente 360 meridianos, cada uno espaciado un arco de tamaño de un grado respecto de su consecutivo; o también, 24 meridianos cada uno espaciado con un arco de 15° . En general, se pueden trazar tantos meridianos como se quiera. Para trazarlos, es necesario tener una referencia a través del cual se especifica cualquier otro.

Por convención internacional, al meridiano de referencia se le llama Meridiano de Greenwich (MG) y es el meridiano que pasa cerca del observatorio Real de Greenwich, Londres, Inglaterra, correspondiéndole una longitud de cero grados. La longitud se mide refiriéndola hacia el Este o hacia el Oeste del MG, con un valor máximo de 180° , que corresponde a la semicircunferencia opuesta del MG.

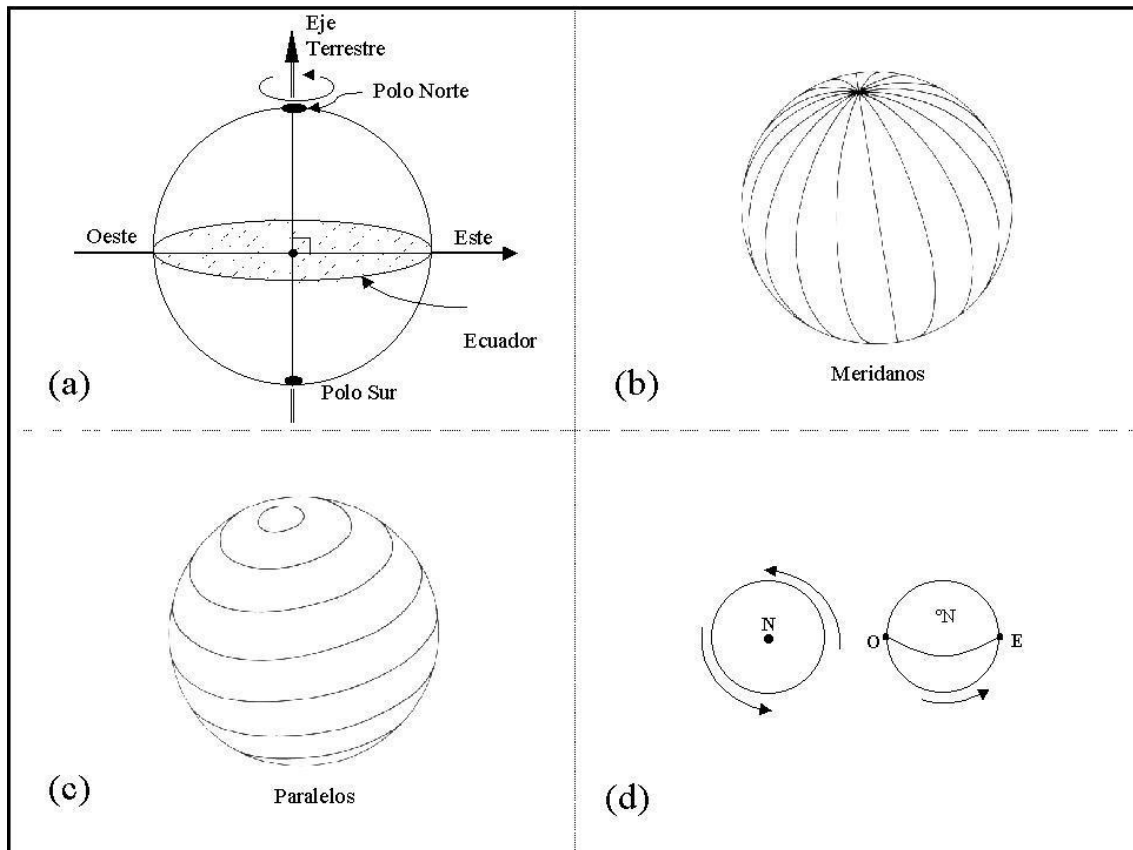


Figura 20: Diagrama esquemático que muestra: (a) eje terrestre, ecuador y los polos; (b) los meridianos; (c) los paralelos; y (d) la dirección de rotación de la Tierra alrededor de su eje. Fuente: Wikipedia

Esta inclinación en el eje de la Tierra y su posición en la trayectoria alrededor del Sol es la que determina las estaciones del año: primavera, verano, otoño e invierno.

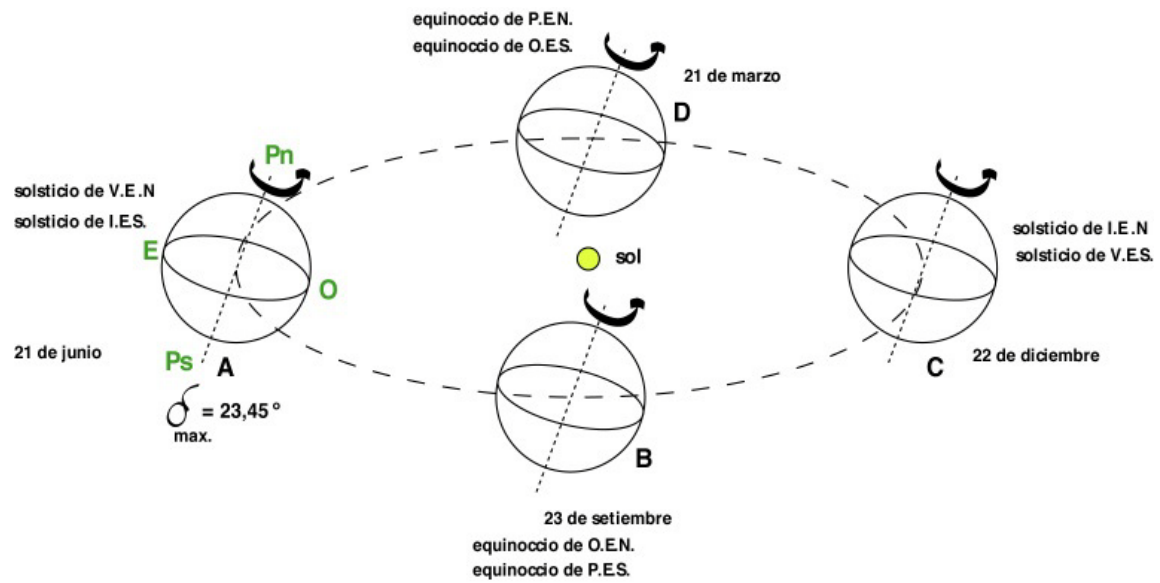


Figura 21: Trayectoria de la Tierra alrededor del Sol donde se muestra la declinación del eje terrestre y los días que corresponden a los solsticios y equinoccios. Fuente: Wikipedia.

De acuerdo a la posición en la que se encuentre se perciben días más largos y noches más cortas o, por el contrario, días más cortos y noches más largas.

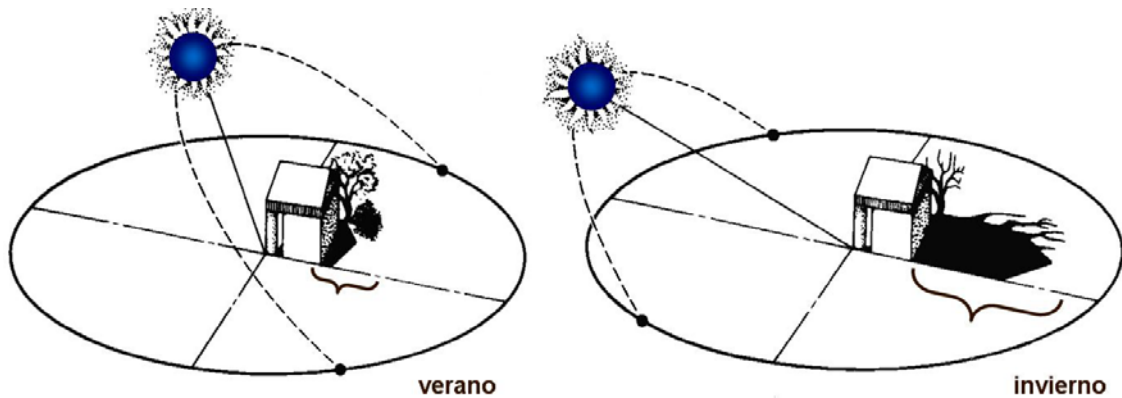


Figura 22: Trayectorias solares en verano e invierno. Fuente: Wikipedia

2.4.2.1.2. Diseño en función de la orientación de la fachada

La orientación del edificio determina la captación de energía solar a través de las superficies de vidrio. En general, en climas continentales en vivienda interesa captar cuanto más energía mejor, ya que ayuda a reducir los consumos de calefacción en invierno. Durante el verano es necesario limitar dicha radiación mediante elementos de sombreado, u otras técnicas para que no se produzcan efectos indeseados de sobrecalentamiento. En edificios destinados a oficinas es necesario encontrar el compromiso entre iluminación natural y refrigeración, ya que si entra la luz, entra también el calor. Las características generales de las principales orientaciones son las siguientes:

Cuadro 12: Características generales de las principales orientaciones

Orientación norte: Sólo recibe radiación solar algunas horas en verano, y ninguna en invierno. Corresponde a la zona más fría de la casa.

Orientación sur: En invierno, la fachada sur recibe directamente muchas horas a lo largo del día, mientras que en verano la radiación llega más vertical, y la recibe sobre todo la cubierta. La fachada sur en España recibe aproximadamente tres veces más radiación solar en invierno que no en verano. La cubierta por su lado recibe aproximadamente 4,5 veces más radiación en verano que en invierno.

Las fachadas con orientación este y oeste reciben 2,5 veces más radiación en verano que en invierno. Las fachadas de orientación sudeste y suroeste reciben una cantidad de radiación muy similar a lo largo de todo el año. Las orientaciones este y oeste son muy conflictivas durante el verano, sobre todo la orientación oeste, pues a partir del mediodía solar recibe una gran cantidad de radiación, muy difícil de controlar, ya que incide de forma perpendicular sobre la superficie vidriada. Además, durante las horas de la tarde, en verano, la temperatura ambiente ya ha subido de forma considerable, por lo que las condiciones exteriores son más desfavorables. En esta orientación los huecos vidriados deben estar protegidos de la insolación durante el verano. Y por las características geométricas de la incidencia solar, las protecciones horizontales (voladizos, pérgolas vegetales, etc) son poco efectivas en estas orientaciones, siendo preferibles las protecciones verticales, tales como lamas, árboles o similares.

2.4.2.1.3. Sombreamiento pasivo y sombreado activo

Sombreamiento pasivo

Existen numerosos elementos que están diseñados para impedir total o parcialmente la cantidad de radiación solar que incida sobre superficies que se desean proteger.

Éstos varían en su funcionamiento, coste, mantenimiento, bloqueo de luz natural y de vistas. Por lo general, estos sistemas suelen ser pasivos. Su costo inicial suele amortizarse a mediano plazo gracias a la energía que se ahorra en iluminación y en la reducción de las instalaciones de refrigeración necesarias para el confort.

Un buen ejemplo de cómo se pueden aprovechar estos elementos pasivos de sombreado es el edificio Kuggen que se muestra a continuación.

Las ventanas ocupan una cuarta parte de la superficie de la pared, hace que el calor se mantenga, mientras que las aberturas de forma triangular permiten el paso de la luz donde más se necesita desde donde la luz puede penetrar perfectamente al núcleo del edificio.

El Kuggen hace uso del diseño para contar con ventilación adaptable, iluminación adaptable, calefacción y refrigeración interactiva, e iluminación natural dentro del edificio.



Figura 23: Edificio Kuggen en Gotemburgo, Suecia. Fuente: Uso eficiente de energía en fachadas y cubiertas. Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica de México.

El edificio está construido totalmente de hormigón, una capa de elementos prefabricados con una alta masa térmica. Al comparar el edificio con sistemas de iluminación y ventilación

activados por el movimiento, es notoria una reducción considerable en el consumo de energía ya que en el Kuggen la energía se utiliza sólo cuando es realmente necesario.

Sombreamiento activo

Los elementos de sombreado activo hacen uso de cierta energía para modificar las condiciones de sombreado según se requieren en el instante. Así se pueden tener persianas que ajustan su posición de acuerdo a las necesidades de los ocupantes y de la posición relativa del Sol. Estos dispositivos suelen ser más costosos pero también más eficientes al momento de controlar la cantidad de luz que se desea tener en un recinto.

La fachada del edificio Kiefer technic showroom, que se muestra a continuación, incorpora un sistema de persianas móviles en su exterior, las cuales pueden variar su posición a voluntad del usuario o mediante un programa para permitir o bloquear total o parcialmente el paso de la luz y, por consiguiente, del calor del Sol cuando éste es indeseable.



Figura 24: Kiefer technic showroom, Austria. Fuente: Uso eficiente de energía en fachadas y cubiertas. Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica de México

2.4.2.2. Masa térmica

Ciertos materiales tienen la cualidad de absorber el calor y acumularlo lentamente en su estructura interna. Dado que requieren una gran cantidad de energía para aumentar su temperatura, los procesos de transmisión de calor por conducción, a través de ellos, propician un efecto de “almacenamiento” de calor, el cual irán liberando gradualmente conforme disminuya la temperatura a su alrededor.

Distintos materiales poseen distintos valores de masa térmica; hay algunos con elevada masa térmica que los hacen deseables para la construcción en climas extremos como en los desiertos, donde la temperatura exterior durante el día puede alcanzar los 40°C y los 8°C por la noche.

Algunos materiales con elevada masa térmica pueden incluir el adobe (y la tierra en general), el ladrillo, la piedra, el concreto y el agua.

2.4.2.3. Cargas térmicas en un edificio

Se entiende como carga térmica de un edificio a la cantidad de energía que se necesita en un área de un edificio para conservar determinadas condiciones de temperatura y humedad.

Para determinar la carga térmica es necesario evaluar lo siguiente:

Cuadro 13: Parámetros a evaluar para determinar la carga térmica de un edificio

Datos atmosféricos del sitio. Lo que implica obtener datos o medir parámetros climatológicos como: radiación solar horaria, humedad relativa del aire, velocidad del viento, debe incluirse recopilación estadísticas sobre lluvias y estudio de las sombras.
Características y orientación de la edificación. Deben considerarse las dimensiones físicas, la orientación del edificio, materiales de construcción empleados, característica y espesor del aislamiento y la utilización de superficies acristaladas.
Concentración de personas dentro del edificio.
Las fuentes de calor internas.

Dependiendo del clima, estas cargas térmicas pueden ser favorables (invierno) o desfavorables (verano).

Las cargas térmicas en los edificios pueden ser debidas a factores externos (el Sol

principalmente) o a factores internos (estufas, hornos, aparatos eléctricos, personas), por lo que reciben el nombre de cargas externas y cargas internas, respectivamente.

Dado que en climas fríos, estas cargas térmicas son deseables es que se les llama ganancias térmicas.

Las cargas o ganancias térmicas externas se deben a varios fenómenos de intercambio de calor del edificio con el exterior, por ejemplo:

Cuadro 14: Fenómenos que producen intercambio de calor del edificio con el exterior

Transmisión de calor por conducción, que es la que se da a través de los elementos constructivos que separan el interior del exterior del edificio (muros, techos)
Aire que se infiltra al edificio y que es necesario para una adecuada ventilación
Radiación solar a través de las aberturas del edificio (ventanas, tragaluz)
Calor interno producido por las personas
equipos como focos, televisores, hornos, y otros como estufas, calentadores, etc

2.4.2.4. Reflectancia solar

La reflectancia de las superficies es la capacidad que tienen éstas para reflejar la luz. Se define como la relación entre el flujo luminoso reflejado y el flujo luminoso incidente.

La reflectancia de una superficie se expresa como una fracción entre 0 y 1, o como un porcentaje entre 0 y 100. Por poner algunos ejemplos, tenemos que la reflectancia del Hormigón Natural está entre el 20% y 10%, la del mármol de entre 70% y 60% y la reflectancia de los ladrillos esmaltados blancos es de 85% al 75%. Es importante notar que los valores de reflectancia medidos son independientes de la calidad y cantidad de la luz usada para iluminar la muestra.

Las pinturas reflectivas están diseñadas para reflejar la mayor cantidad de luz solar y permiten perder calor más eficientemente que otras superficies, lo que las mantiene mucho más frescas durante el día.

Es por estas características que conveniente utilizarlas para pintar los techos de los edificios en zonas de alta insolación. Al pintar los techos con pinturas reflejantes se logra reducir las ganancias de calor en edificios, mejorar con ello las condiciones de confort térmico trayendo consigo ahorros significativos en los consumos de energía.

2.4.3. Soluciones constructivas para fachadas sostenibles (casos propuestos)

2.4.3.1. Fachadas diseñadas con estrategias pasivas

Las estrategias de diseño pasivo, denominadas por otros autores como pautas de diseño pasivo, o diseño solar pasivo, forman parte de la metodología de diseño implementadas por la arquitectura bioclimática y la arquitectura sustentable. Estas estrategias no son de uso general y deben adecuarse a cada condición y sitio particular donde se desee construir o diseñar un edificio bioclimático.

2.4.3.1.1. Estrategias de reducción de demanda de calefacción

Cuando el objetivo es reducir las demandas de calefacción en los edificios, la estrategia consiste en captar la mayor energía solar posible, almacenarla y distribuirla en el edificio, y finalmente conservarla durante las horas en las que no existe esa ganancia solar. Dicho en otras palabras, el arquitecto debe diseñar un edificio que permita que la radiación solar penetre en su interior, y por otra parte la envolvente térmica debe garantizar, a través del aislamiento de fachadas, vidrios adecuados y estanqueidad en carpinterías, que las pérdidas de energía a través de la envolvente sean las menores posibles.

La acción más inmediata a la hora de reducir la demanda energética es aprovechar al máximo las ganancias solares. Hemos visto como durante el invierno, la fachada sur de los edificios recibe numerosas horas de radiación al día. Si aprovechamos la energía calorífica de esta radiación para calentar el interior de edificio, estaremos necesitando, lógicamente, menos aportes del sistema de calefacción, y por lo tanto, estaremos ahorrando energía. En el informe de *“European Passive Solar Handbook”* se hace una clasificación de éstos sistemas de captación pasiva, dividiéndolos en captación directa y captación indirecta.

2.4.3.1.1.1. La captación directa

La captación directa es la solución más simple. La radiación solar penetra directamente en los espacios habitados a través de las superficies acristaladas, donde es recogido y acumulado gracias a la inercia térmica de los suelos y las paredes. Una ventana representa el ejemplo más sencillo de este sistema.

Para entender bien este concepto, es necesario refrescar algunos conceptos, como el de Efecto Invernadero. Estas aportaciones directas a través de los vidrios se fundamentan en lo

siguiente: la longitud de onda de la radiación solar que llega a la tierra se encuentra comprendida generalmente entre $0,3\ \mu\text{m}$ y $3,5\ \mu\text{m}$.

La mayor parte de los vidrios son permeables a estas longitudes de onda corta, lo que hace que aproximadamente un 80% de la radiación incidente sobre el vidrio lo atraviese, mientras que el otro 20% se refleja o lo absorbe el propio vidrio.

Esta radiación que ha atravesado el vidrio calienta las paredes, el suelo, y en general todas las superficies contra las cuales incide, de forma que estos cuerpos, al calentarse, re-irradian al ambiente una energía que, en esta ocasión es de onda larga (del orden de los $11\ \mu\text{m}$) frente a la cual el vidrio se comporta como un cuerpo opaco.

De esta forma, el vidrio se comporta como la compuerta de una trampa de calor, de forma que permite la entrada de la energía pero no su salida, calentando el ambiente exterior.



Figura 25: Efecto invernadero en edificios. Fuente: Wikipedia

Para que un sistema de captación directa sea eficiente, se debe cumplir que la ganancia de calor en invierno a través de la superficie acristalada sea mayor que las pérdidas por transmisión a través del vidrio, que no se produzca sobrecalentamiento en verano y, por último, que la contribución neta a las necesidades térmicas del edificio sea importante. Todo esto implica grandes superficies acristaladas de los muros con exposición sur, acristalamiento doble y/o protección nocturna, adecuada capacidad térmica expuesta a la radiación, y protección solar en verano.

2.4.3.1.1.2. La captación indirecta

Se denomina captación indirecta cuando entre la radiación solar y el espacio que se desea calefactar se colocan elementos intermedios que almacenan y, posteriormente, distribuyen la energía.

Así como en el caso anterior, el único fenómeno de transferencia de calor que interviene es la radiación, en este caso cobran importancia capital, además, la conducción y la convección. Se

genera entre el espacio a calentar y el exterior un espacio tampón que proporciona al edificio una protección adicional. Parte de la radiación solar entra directamente en el espacio interior, ya que entre el espacio tampón y el interior existen, a su vez, elementos transparentes que permiten la captación solar. Los sistemas más frecuentes son los espacios invernaderos (galerías adosadas) y los atrios.

Todos los componentes poseen una parte masiva que almacena la energía solar captada, emitiendo esta energía en forma de radiación térmica con un desfase temporal (mas tarde) que depende de las características de los materiales empleados. Básicamente existen dos tipos de sistemas: el que exclusivamente tiene un muro masivo, tras un vidrio (el cual produce el efecto invernadero, favoreciendo la absorción de energía del muro) y los que, además, combinan el almacenamiento con la convección introduciendo el aire caliente en el espacio que queremos calentar.

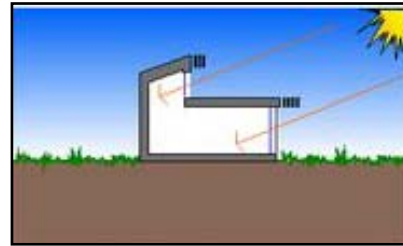


Figura 26: Sede CENER en Pamplona (España). Fuente: Guía integración fotovoltaica de la Comunidad de Madrid.

2.4.3.1.1.3. Clasificación de los sistemas solares pasivos

Cuadro 1. Sistemas esenciales solares pasivos

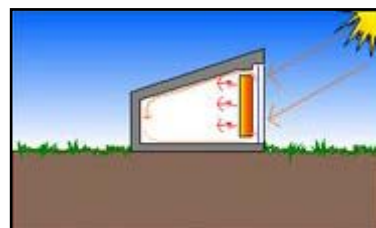
Ganancia directa: es el sistema más sencillo e implica la captación de la energía del sol por superficies vidriadas que son dimensionadas para cada orientación y en función de las necesidades de calor del edificio o local a climatizar.



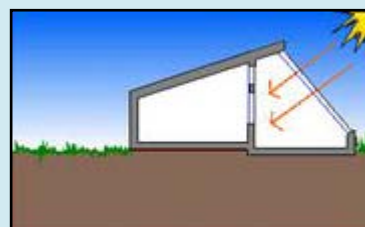
Muro de acumulación no ventilado: también conocido como muro trombe, es un muro construido en piedra, ladrillos, hormigón o hasta agua, pintado de negro o color muy oscuro en la cara exterior. Para mejorar la captación se aprovecha una propiedad del vidrio que es generar efecto invernadero por el cual la luz visible ingresa y al tocar el muro lo calienta emitiendo radiación infrarroja a la cual en vidrio es opaco. Por este motivo se eleva la temperatura de la superficie oscura y de la cámara de aire existente entre el muro y el vidrio.



Muro de acumulación ventilado: similar al anterior pero incorpora orificios en la parte superior e inferior para facilitar el calor entre el muro y el ambiente mediante convección.



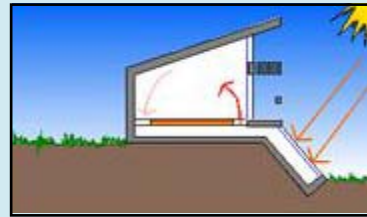
Invernadero adosado: en este caso al muro que da al mediodía se le incorpora un espacio vidriado que puede ser habitable y mejora la captación de calor durante el día y reduce las pérdidas de calor hacia al exterior.



Techo de acumulación de calor: en ciertas latitudes es posible usar la superficie del techo para captar y acumular la energía del sol. También conocidos como estanques solares requieren complejos dispositivos móviles para evitar que se escape el calor durante la noche.



Captación y acumulación de calor: es un sistema más complejo y permite combinar la ganancia directa por ventanas con colectores solares de aire o agua caliente para acumularlo debajo del piso. De modo similar al muro acumulador ventilado se lleva el calor al ambiente interior. Adecuadamente dimensionado permite acumular calor por siete o más días.



2.4.3.1.2. Estrategias de reducción de demanda de refrigeración

En los climas continentales como en el que nos encontramos en España, lo habitual es tener demandas de energía térmica tanto para calefacción como para refrigeración. En verano, la estrategia fundamental es evitar el sobrecalentamiento del edificio minimizando la radiación solar sobre los vidrios de fachada, ventilando y refrigerando el edificio cuando la temperatura exterior descienda, y reduciendo las cargas internas, sobre todo en el sector terciario.

2.4.3.1.2.1. Protecciones solares

Las protecciones solares del hueco acristalado son sin duda la medida más eficaz y rentable económicamente para reducir las demandas energéticas de refrigeración, especialmente en edificio de oficinas con un ratio vidrio/opaco elevado.

Una vez más, los arquitectos se encuentran con el problema de diseñar una protección solar que reduzca la radiación incidente sobre el hueco en verano, pero que permita la captación energética en invierno. Esto se consigue mediante la utilización de dos tipos de protecciones: fijas o móviles, aunque también se pueden considerar el efecto de árboles u otro tipo de elemento vegetal.



Figuras 27 y 28: A la izquierda protecciones solares móviles y a la derecha protecciones solares fijas. Fuente:

<http://www.talleresinox.com>

En la orientación sur son muy eficaces los elementos horizontales fijos integrados en el diseño arquitectónico – voladizos, lamas horizontales, pérgolas, etc. Sin embargo, este tipo de protecciones no son eficaces en las orientaciones este y oeste. Debido a la baja altura solar en esas orientaciones, la radiación llega al edificio muy horizontal, y no es bloqueada por un

voladizo horizontal. En estas orientaciones lo más eficaz es colocar protecciones móviles, o bien fijas en forma de lamas verticales.



Figura 29: Edificio de oficinas Cliensor en Sant Cugat del Vallès. Fuente: <http://www.talleresinox.com>

El dimensionado de las protecciones solares fijas depende de la orientación de la ventana considerada (y también de la latitud).

Una posibilidad interesante es la de integrar en los elementos de protección solar, los sistemas de captación de energía solar, de forma que un solo elemento nos proteja de la radiación solar y a la vez, esté captando o generando energía.

Por último, y aunque resulte una obviedad, recordar que en caso de trabajar con árboles como protección solar, las especies deberán ser de hoja caduca, de forma que protejan de la radiación solar en verano, pero permitan las ganancias solares en invierno.

2.4.3.1.2.2. Soluciones de protección solar

2.4.3.1.2.2.1. Pantallas rígidas. Parasoles, salientes y voladizos.



Figura 30: La illa de Rafael Moneo
Fuente: Revista INNOTECH Vol. 1, Eficiencia Energética



Figura 31: Biblioteca Can Llauredor de Teia. Godia&Barrio. Fuente: Revista INNOTECH Vol. 1, Eficiencia Energética



Figura 32: Asociación hilanderos (Ahmadabad). Le Corbusier. Fuente: Revista INNOTECH Vol. 1, Eficiencia Energética

El voladizo horizontal fijo elimina los rayos solares que tienen una mayor altura solar, pero reduce la entrada de luz natural siendo poco apropiado para orientaciones Este y Oeste. Tampoco es la solución más apropiada en lugares donde existe un alto nivel de radiación y el exceso de calor es un problema, como es en las zonas cálidas en el sur de Europa (clima mediterráneo).

Es recomendable que el voladizo horizontal cuente con una ventilación superior para evitar la acumulación del calor en las zonas cercanas al dintel del hueco.

Tabla E.11: Factor de sombra para obstáculos de fachada: Voladizo

			$0,2 < L/H \leq 0,5$	$0,5 < L/H \leq 1$	$1 < L/H \leq 2$	$L/H > 2$
ORIENTACIONES DE FACHADAS	S	$0 < D/H \leq 0,2$	0,82	0,50	0,28	0,16
		$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,87	0,64	0,39	0,22
		$D/H > 0,5$	0,93	0,82	0,60	0,39
	SE/SO	$0 < D/H \leq 0,2$	0,90	0,71	0,43	0,16
		$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,94	0,82	0,60	0,27
		$D/H > 0,5$	0,98	0,93	0,84	0,65
	E/O	$0 < D/H \leq 0,2$	0,92	0,77	0,55	0,22
		$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,96	0,86	0,70	0,43
		$D/H > 0,5$	0,99	0,96	0,89	0,75

NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

Figura 33: Factor de sombra para voladizos. Tabla del CTE.

Para ángulos bajos de incidencia del sol, es decir, al amanecer los que provienen del este y al atardecer del oeste, los protectores solares verticales y frontales son adecuados para ventanas en fachadas sur, sureste y suroeste.

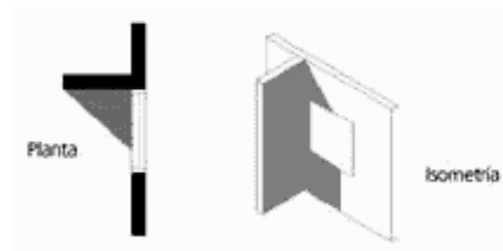


Figura 34: Detalle de un protector solar vertical para bloquear ángulos bajos del sol en fachadas sur, sureste y suroeste

Los protectores solares fijos en ventanas son elementos que requieren una importante inversión económica inicial, por lo cual en muchos casos se descarta su aplicación. Sin embargo, es recomendable realizar una evaluación técnica y económica, debido a que este tipo de protectores, cuando están bien diseñados, reporta altos beneficios en la calidad térmica de los ambientes y en la disminución de la carga de enfriamiento del sistema de aire acondicionado.

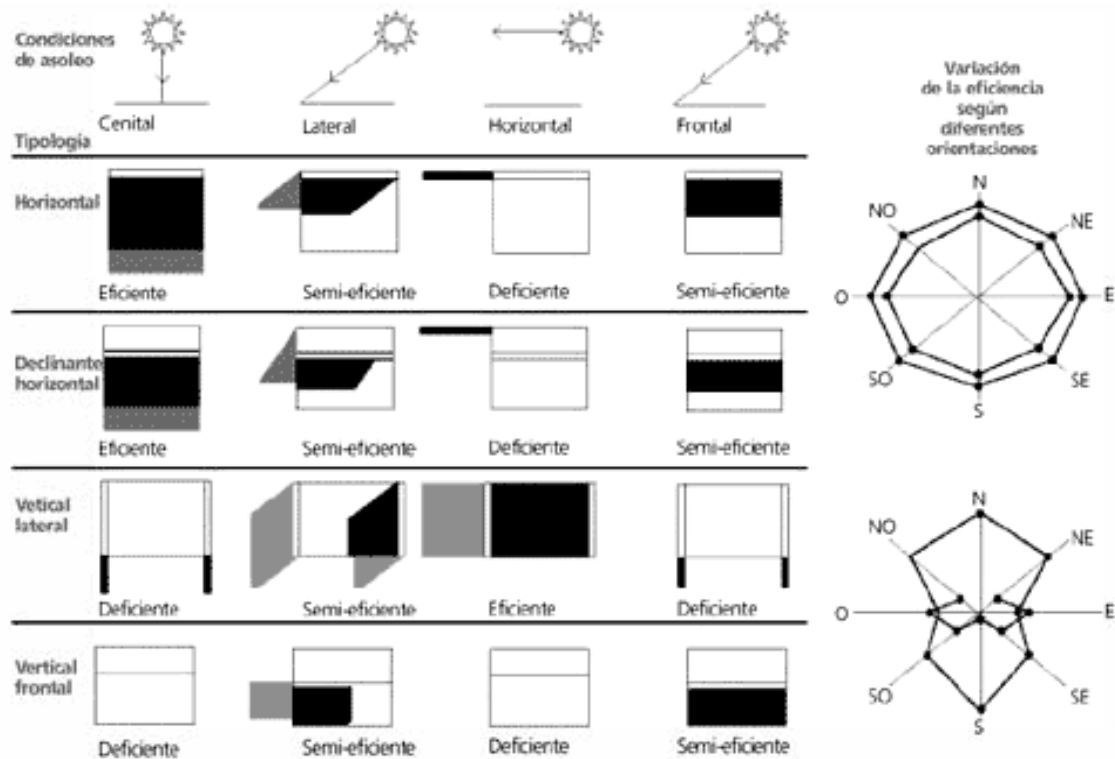


Figura 35: Variación de la eficiencia de los protectores solares fijos en ventanas según las diferentes orientaciones. Fuente: CTE

2.4.3.1.2.2.2. Filtros solares: Celosías de lamas.

Los sistemas de celosías o "brise soleils" son sistemas de lamas que permiten el paso de la luz (luminosidad) pero que, a la vez, impiden, total o parcialmente, la radiación solar directa en el interior del edificio en condiciones de verano.

Los materiales más utilizados son el aluminio, la madera y el PVC. En cuanto a la geometría de las lamas, las más comunes son la lama elíptica, la lama tipo Z y la lama arqueada. La lama elíptica, actualmente, es la más utilizada en el campo de la protección solar de fachadas, permitiendo la disposición de las lamas en vertical u horizontal, fijas o móviles, ya sean manuales o mediante motor eléctrico.

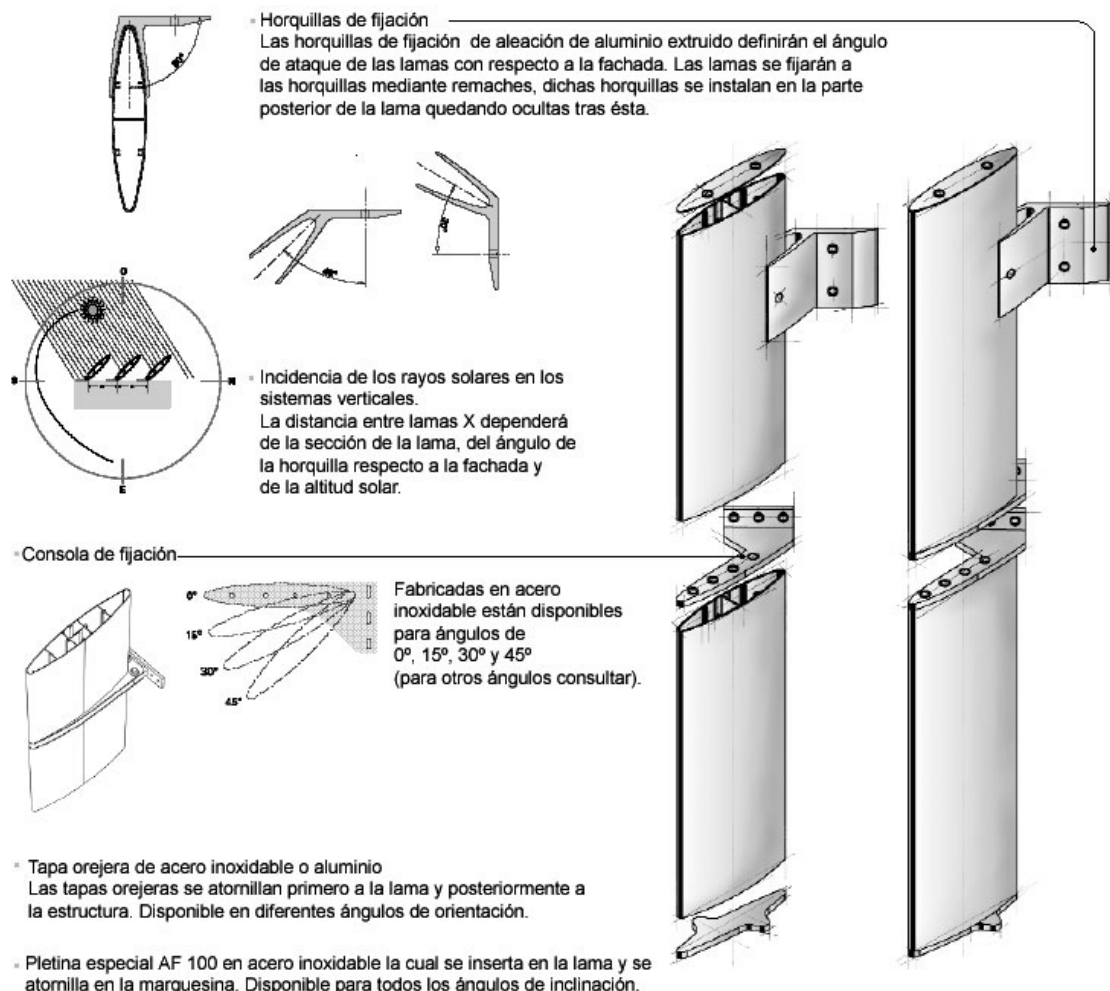
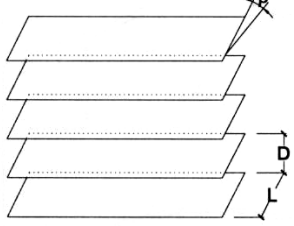
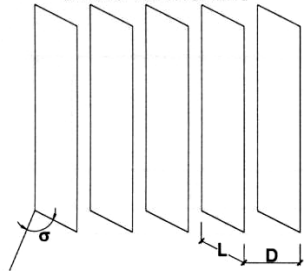


Figura 36: Lamas elípticas de protección solar. Fuente CTE

Tabla E.13 Factor de sombra para obstáculos de fachada: lamas

LAMAS HORIZONTALES		ANGULO DE INCLINACIÓN (β)		
		0	30	60
	SUR	0,49	0,42	0,26
	SURESTE/ SUROESTE	0,54	0,44	0,26
	ESTE/ OESTE	0,57	0,45	0,27

LAMAS VERTICALES		ANGULO DE INCLINACIÓN (σ)						
		-60	-45	-30	0	30	45	60
	SUR	0,37	0,44	0,49	0,53	0,47	0,41	0,32
	SURESTE	0,46	0,53	0,56	0,56	0,47	0,40	0,30
	ESTE	0,39	0,47	0,54	0,63	0,55	0,45	0,32
	OESTE	0,44	0,52	0,58	0,63	0,50	0,41	0,29
	SUROESTE	0,38	0,44	0,50	0,56	0,53	0,48	0,38

NOTAS Los valores de factor de sombra que se indican en estas tablas han sido calculados para una relación D/L igual o inferior a 1.
El ángulo σ debe ser medido desde la normal a la fachada hacia el plano de las lamas, considerándose positivo en dirección horaria.

Figura 37: Factor de sombra para lamas. Tabla del CTE.

Lamas Fijas

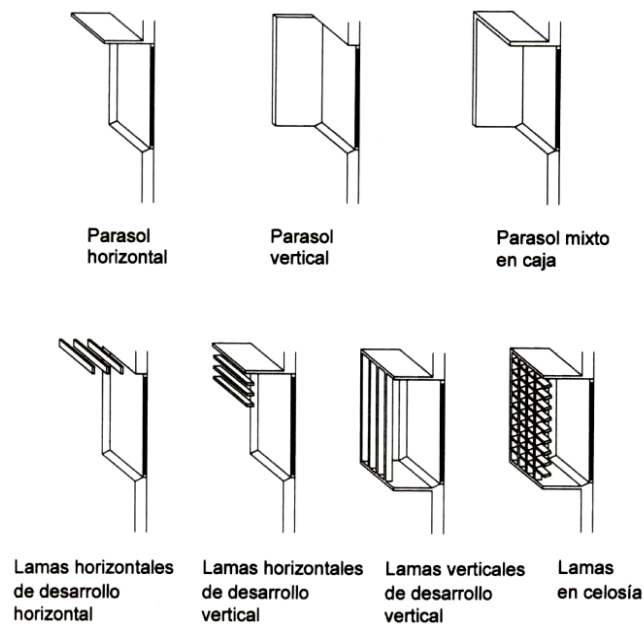


Figura 38: Diferentes tipos de apantallamientos verticales y horizontales.

Las protecciones fijas tienen la ventaja de exigir poco mantenimiento y, si están bien diseñadas y dimensionadas, no se pueden utilizar incorrectamente equivocando sus funciones.

Debido al ángulo de incidencia solar, los dispositivos fijos horizontales son recomendables para fachadas con orientación Sur (en el hemisferio norte), para asegurar la protección solar durante el final de la primavera, todo el verano y principio del otoño.

La radiación solar directa con una baja altura solar (Este y Oeste) es más difícil de proteger.

Las lamas verticales fijas, si son realmente efectivas, excluyen una gran parte de luz natural y obstruyen la visión, es preferible que sean lamas móviles.

Lamas móviles

Los apantallamientos móviles son los que permiten una mejor interceptación de la radiación solar en cualquier orientación, ya que adaptan su posición y geometría a cada situación concreta. También permiten la captación flexible de la radiación solar directa en función de la época del año o la actividad que se vaya a desarrollar en el local a acondicionar.



Figura 39: Lamas móviles con accionamiento oculto. Fuente: <http://www.cortizo.com>

Es conveniente que estos protectores solares sean de buena calidad, ya que al estar situados a la intemperie van a ser continuamente atacados por el sol, la lluvia, el viento y las altas y bajas temperaturas, estropeándose fácilmente sus mecanismos si no cuentan con una calidad aceptable.

En las fachadas con orientación Este u Oeste, al estar sometidas a una altura solar reducida, es preferible utilizar mecanismos verticales regulables para controlar la radiación directa solar y

permitir la entrada de luz y las vistas en los momentos del día en los que la protección solar no sea necesaria.

Una alternativa a las lamas móviles son las ventanas mallorquinas o contraventanas de lamas fijas, en las cuales las lamas están fijadas a un bastidor. Este bastidor puede ser corredero o practicable



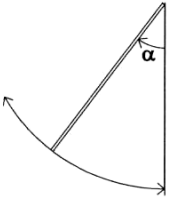
Figura 40: Ventanas mallorquinas o contraventanas de lamas. Fuente: <http://www.tamiluz.info>

2.4.3.1.2.2.3. Pantallas flexibles: Toldos y persianas exteriores

Para las ventanas expuestas al sol se puede disponer de elementos individuales de protección solar ligeros, como toldos o persianas exteriores, los cuales permiten controlar, a requerimiento de la ocupación del espacio, la cantidad de luz solar con entrada directa hacia el interior de las estancias; a la vez que reducir las ganancias de calor interno.

Los toldos constituyen uno de los mecanismos más clásicos de apantallamiento móvil exterior. Generalmente pueden ser verticales, horizontales o proyectados. Los apantallamientos móviles son los que permiten una mejor interceptación de la radiación solar en cualquier orientación, ya que adaptan su posición y geometría a cada situación concreta. Son flexibles en función de características variables como la época del año, ocupación o la actividad desarrollada en el local a ocupar.

Tabla E.14 Factor de sombra para obstáculos de fachada: toldos

	CASO A		Tejido opacos $\tau=0$		Tejidos translúcidos $\tau=0,2$	
	α		SE/S/SO	E/O	SE/S/SO	E/O
	30		0,02	0,04	0,22	0,24
	45		0,05	0,08	0,25	0,28
	60		0,22	0,28	0,42	0,48

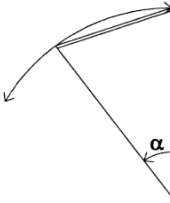
	CASO B		Tejido opacos $\tau=0$			Tejidos translúcidos $\tau=0,2$		
	α		S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O
	30		0,43	0,61	0,67	0,63	0,81	0,87
	45		0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60
	60		0,14	0,39	0,28	0,34	0,42	0,48

Figura 41: Factor de sombra para toldos. Tabla del CTE.

Los mecanismos graduables son los que proporcionan un mejor resultado, ya que al poder adaptarlos al recorrido solar, que varía según las estaciones, permite conseguir sombra en verano y beneficios caloríficos en invierno.

Las persianas enrollables con guía fija o articulada, (con lamas fijas o graduables) están constituidas por una serie de lamas articuladas unas con otras que en forma conjunta corren por unas guías laterales, deslizándose paralelamente al plano de la carpintería hasta enrollarse en un tambor ubicado en el dintel de la ventana. Las guías pueden ser fijas, articuladas o proyectantes al exterior. Las lamas se fabrican en madera, plástico o aluminio.

Las persianas exteriores, cuya función consiste en regular el paso de la luz al interior, sirven de protección a la radiación solar, gradúan la ventilación, ofrecen el cerramiento parcial de vistas y la protección y seguridad para evitar accesos forzados.

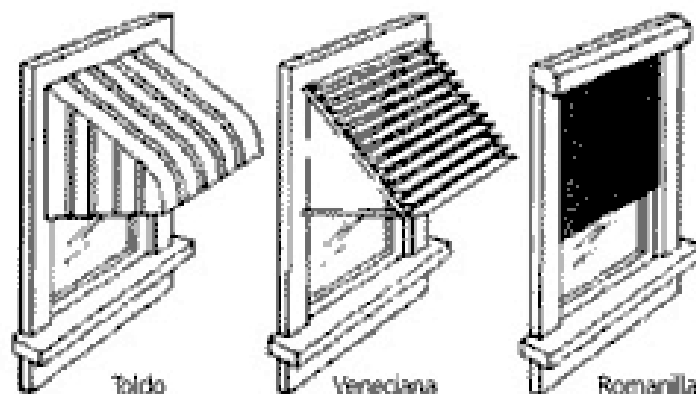


Figura 42: Sombreadores móviles. Fuente: Wikipedia

Cortinas, contraventanas interiores.

Los arreglos interiores en ventanas, tales como cortinas, persianas interiores y pantallas, reducen las ganancias de calor al disminuir la cantidad de luz solar directa hacia el interior de los espacios. Sin embargo, estos elementos no trabajan tan eficientemente como las protecciones exteriores, debido a que el aire que circula entre el vidrio y el protector se calienta y, eventualmente, se transmite al interior del ambiente.

Adicionalmente, las protecciones interiores pueden reducir la temperatura interior, pues evitan el contacto de los rayos solares con los materiales de elevada masa térmica, como los forjados de hormigón. Las protecciones solares interiores protegen los muebles de la radiación directa. Estas protecciones solares se desarrollan en paralelo al vidrio y a poca distancia de éste, para formar una cámara de aire entre ambos que sirva para aumentar la resistencia térmica del hueco.

Son protecciones a la radiación solar y a su vez a la transmisión de calor. Inciden doblemente sobre el intercambio energético a través de los huecos acristalados: por una parte sirven para proteger del sol en condiciones de verano, obstruyéndolo total o parcialmente, y por otra parte reducen la transmisión térmica por las noches en condiciones de invierno.

2.4.3.1.2.2.4. Películas de control solar (vidrio de protección solar)

Un tipo de acristalamiento con una cierta coloración y capaz de absorber el calor intercepta alrededor de un 40% de la energía radiante. Esta característica representa una aportación considerable para permitir la disminución de la temperatura en verano, pero se traduce en una pérdida de calor útil en invierno.

Existen principalmente dos tipos de acristalamientos de protección solar:

Cuadro 16: Tipos de acristalamientos de protección solar.

Acristalamiento entintado: Los tonos que se emplean habitualmente son ahumados, carbón y gris. Estas películas están disponibles en varias intensidades dependiendo del grado de transmisión de luz y calor que se quiera rechazar.

Acristalamiento reflectante: Habitualmente dan tonos color plata, azul plata, bronce plata, oro plata, humo plata... Esta línea de películas reduce hasta un 83% el calor y el reflejo, el aspecto exterior es especular.

Los cristales de alto rendimiento o espectralmente selectivos reducen la cantidad de calor transmitido a través de las ventanas, a la vez que permiten el paso de altos niveles de luz visible. De esta manera puede reducirse la necesidad de energía para enfriamiento y, al mismo tiempo, se reducen las necesidades de luz eléctrica.

Se han desarrollado vidrios espectralmente selectivos y de baja emisividad (Low-e).

No todos son adecuados pero existen algunos sistemas de vidrio que han sido diseñados para climas templados y funcionan manteniendo los espacios fríos en verano y cálidos en invierno.

Es importante no confundir los vidrios espectralmente selectivos y Low-e con el color del vidrio. Los vidrios con tinte no reflejan la radiación infrarroja, por el contrario, la absorben. Al absorber la radiación se acumula calor que eventualmente puede ser reirradiado al interior como energía calórica. Algunos tintes oscuros admiten más calor que luz visible. Por ejemplo, un cristal con tinte color gris oscuro puede tener un alto factor solar y un bajo coeficiente de transmisión de luz natural. Adicionalmente, el color del cristal puede producir ambientes en penumbra y mayor consumo de energía y costos por iluminación. Los vidrios espectralmente selectivos y Low-e de colores verdes y azules transmiten mejor la luz solar.



Figura 43: Torre en Frankfurt contruida en 2003 con vidrios de protección solar. Fuente: www.reflectiv.com

2.4.3.1.3. Estrategias de Ventilación y refrigeración

Una de las estrategias más interesantes a la hora de reducir las cargas de refrigeración es el uso de la ventilación de los edificios. La entrada de aire a temperatura inferior a la de confort favorece la disipación del calor acumulado en la masa térmica, “descargando” térmicamente el edificio y actuando también sobre la sensación de confort de los ocupantes, aumentando la evapotranspiración.

La acción del viento sobre la envolvente del edificio genera diferencias de presión (positivas o negativas) producidas al intentar el flujo de aire superar el obstáculo que supone el edificio, y que encuentran un “atajo” en las aberturas que hubiera en la envolvente, provocando corrientes de aire en el interior del edificio.

Como es lógico, cuando exista carga de calefacción, la ventilación solo será deseable cuando la temperatura exterior sea inferior a la temperatura de confort; cuando por medio del movimiento del aire sea posible disipar cargas internas y ganancias solares o cuando sea necesario reducir los niveles de humedad o de contaminación del aire.

Un parámetro de diseño que el proyectista ha de tener en cuenta es la ubicación de los puntos de entrada de aire del exterior. La radiación incidente sobre cada fachada, la exposición a los vientos dominantes, la presencia de vegetación, agua o zonas de alta carga interna pueden hacer variar sensiblemente la temperatura del aire de ventilación.

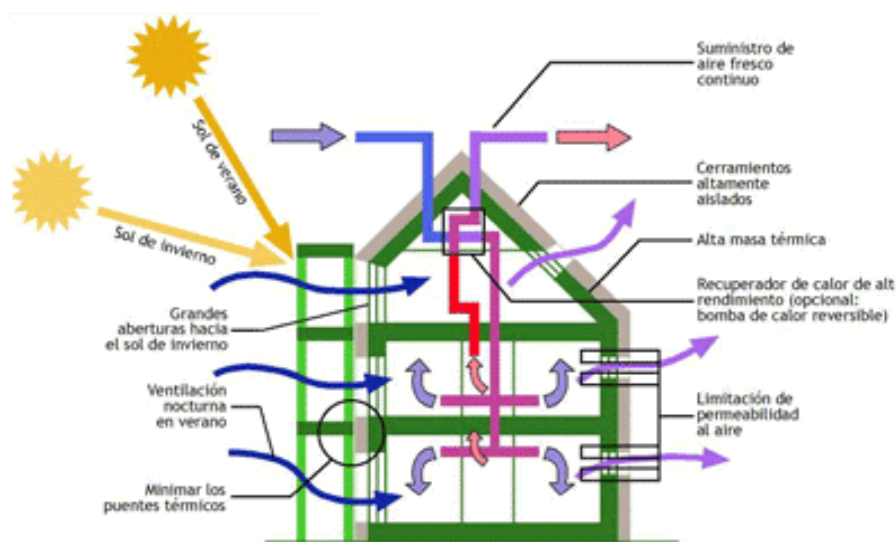


Figura 44: Ventilación natural Passivhaus. Fuente: Passivhaus

Existen diferentes tipos de ventilación. A continuación se detallan las más interesantes en este contexto de construcción sostenible:

Cuadro 17: tipos de ventilación

Ventilación simple: es la que se produce a través de una única fachada. No es una estrategia eficiente, ya que tiene escaso potencial de ventilación, al no existir otra abertura que permita la salida del aire y por lo tanto, el flujo pasante. En cualquier caso, es siempre preferible la apertura de dos huecos en una fachada, aunque sean de menor tamaño, que de un solo hueco, aunque sea de mayores dimensiones.

Ventilación cruzada: La ventilación cruzada es una de las estrategias fundamentales para reducir las cargas de refrigeración. Consiste en disponer de las estancias ventiladas de una entrada de aire fresco, y una salida de aire caliente y viciado. Por eso, si se persigue un edificio de elevada eficiencia energética, el arquitecto tendrá que diseñar los espacios previendo cuales podrían ser los flujos de ventilación, y adecuando los espacios, aberturas y salidas de aire de forma que se consiga la mayor eficiencia.

En este punto, es importante recalcar que, si bien en el diseño de viviendas, la experiencia y la intuición del arquitecto pueden ser suficientes para diseñar un buen sistema de ventilación cruzada, el edificios de oficinas y sector terciario en general, el problema se complejiza mucho, debido a la gran cantidad de variables que influyen en la ventilación, siendo indispensable la simulación del efecto de la ventilación con programas informáticos de fluidodinámica.

La ventilación mecánica: consiste en inducir el flujo de aire mediante algún tipo de dispositivo mecánico. Esta es una importantísima vía de investigación al basarse en componentes de gran efectividad sobre el confort, con grandes posibilidades de individualización, bajo coste y consumo mínimo (un ventilador doméstico tiene un consumo equivalente al de una bombilla incandescente: 60-140 W).

Los sistemas de ventilación mecánica no deben plantearse como alternativa a los sistemas de acondicionamiento natural o artificial. Su diseño integrado puede permitir un amplio abanico de posibilidades de combinación y coordinación entre sistemas de acondicionamiento que multipliquen la eficiencia global.

Existen principalmente dos tipos de sistemas: aquellos que por medio de una red de conductos toman el aire del exterior y lo introducen en cada uno de los espacios y aquellos únicamente destinados a hacer recircular el aire del interior de los locales.

Los primeros se asocian habitualmente a la renovación o la climatización del aire interior con el objetivo de mantener la calidad de este. Se componen de ventiladores, filtros, una red de conductos de impulsión o extracción y unos elementos terminales o difusores.

Los ventiladores por el contrario tienen como objetivo la manipulación de la velocidad del aire interior sin modificar sus condiciones de temperatura o humedad, generando o direccionando corrientes de aire, desestratificando bolsas de aire frío o caliente, incrementando el intercambio convectivo entre la corriente y la masa interior o reduciendo la temperatura de sensación de los ocupantes.

Enfriamiento gratuito

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, RITE, obliga a incorporar un sistema de enfriamiento gratuito (también conocido por su denominación en inglés, free cooling), basado en la inyección de aire exterior en aquellos sistemas todo aire cuyo régimen de funcionamiento exceda de 1000 horas/año. El ahorro de energía que comportan es considerable en grandes instalaciones gracias al aprovechamiento de las energías del entorno siempre que esto sea posible.

El sistema funciona de la siguiente forma: La admisión de aire exterior se basa en la comparación de entalpías. Si la energía contenida en el aire exterior (entalpía) es netamente inferior a la del aire interior, se renueva completamente el aire interior sin consumo de energía por parte de los compresores.

En el caso de que la entalpía exterior sea inferior a la interior, se fuerza una renovación parcial del aire con un consumo energético para su climatización ajustado en todo caso al mínimo necesario.

La ventilación nocturna consiste en el establecimiento de corrientes de aire, de forma natural o mecánica, con el objetivo de refrigerar el interior durante la noche aprovechando el descenso de las temperaturas.

2.4.3.2. Fachadas solares fotovoltaicas

La arquitectura contemporánea está mostrando un creciente interés por las cubiertas y fachadas ventiladas y por los diferentes tipos de materiales de las que éstas pueden componerse. Aprovechar la amplia superficie de la fachada de un edificio para instalar placas solares es una opción que agrega tanto beneficios económicos, como energéticos y medioambientales.



Figura 45: Sede Acciona en Sarriena. Fuente: blog.is-arquitectura.es

Las instalaciones solares integradas en las fachadas de los edificios son sistemas cada vez más presentes en la arquitectura actual ya que ofrecen la posibilidad de conseguir un resultado estético atractivo desde el punto de vista del diseño y ofrecen al mismo tiempo la posibilidad de generar electricidad por medio de la energía solar.

Las llamadas fachadas solares integran células fotovoltaicas que pasan a ser una alternativa sostenible de energía, haciendo interesante la introducción de estas fachadas en cualquier proyecto nuevo o de renovación, siendo una innovadora tecnología, tanto estética como ambiental. Existe la posibilidad de convertir la fachada en una gran manta solar, que combine la colocación de placas solares fotovoltaicas –destinadas a generar electricidad– y sistemas solares térmicos – para agua caliente sanitaria y calefacción.

El sistema de funcionamiento está basado en el efecto fotovoltaico, que consiste en convertir la energía lumínica del sol en energía eléctrica. De este modo, se genera una electricidad renovable, y por tanto, no contaminante. Además, no emite gases nocivos, no genera ruidos y su mantenimiento es mínimo.

2.4.3.2.1. El panel solar térmico

El sistema solar térmico funciona calentando agua a partir de energía solar. Los paneles solares térmicos tienen unos captadores térmicos que transforman la energía del sol en calor. Esta agua caliente se utiliza para tres fines posibles:

Cuadro 18: Utilización del agua caliente mediante paneles solares

Como agua caliente sanitaria.
En un sistema de calefacción central de agua caliente.
En un sistema combinado de agua caliente sanitaria y calefacción central.

Los paneles solares térmicos están compuestos por captadores que absorben el calor de los rayos del sol para calentar agua sanitaria. Hay varios tipos de captadores solares térmicos:

Cuadro 19: Captadores solares térmicos

Los captadores que funcionan con agua: un líquido portador de calor, que circula por un circuito de tubos, absorbe el calor. Existen diferentes tipos de captadores que funcionan con agua: • Captadores no vidriados: el líquido portador de calor circula a través de unos tubos de plástico negro. • Captadores solares planos: el fluido circula a través de una caja con cubierta de vidrio. • Captadores solares de vacío: tubos de metal que recubren el tubo metálico que contiene el fluido dejando entre ambos una cámara que actúa como aislante.
Los captadores que funcionan con aire: El aire circula a través de los tubos y se calienta. Permite calentar la vivienda y se puede utilizar con fines industriales.

Componentes de las instalaciones de paneles solares térmicos

Los paneles solares térmicos son conectados a un sistema situado en el interior del edificio. El sistema se compone de:

Cuadro 20: Componentes de las instalaciones de paneles solares térmicos

Un circuito hidráulico que contiene un medio portador de calor. Une los paneles al resto de la instalación.

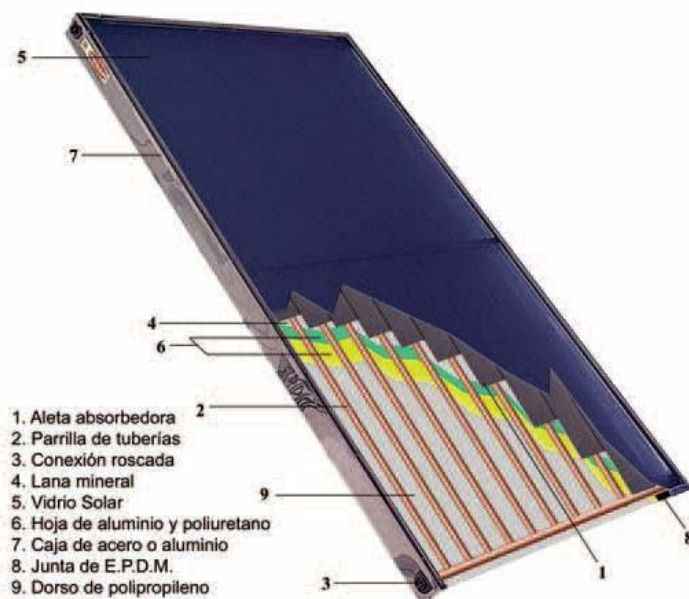
Un sistema auxiliar para hacer de relevo a la energía solar.

Un dispositivo de almacenamiento de agua caliente o depósito.

Por último, los emisores de calor (en el caso de la calefacción central): radiadores, calefactores...

El circuito hidráulico es un circuito cerrado: el líquido portador de calor es calentado por los captadores solares y cede el calor al agua del circuito de distribución. Una vez que se ha enfriado, vuelve hacia los paneles para volver a calentarse.

El circuito de calefacción central también es un circuito cerrado: el agua es calentada por el líquido portador de calor y transportada hacia los radiadores. Una vez que se ha enfriado, vuelve hacia el circuito hidráulico.



2.4.3.2.2. El panel solar fotovoltaico

El principio de funcionamiento del panel solar fotovoltaico se basa en la transformación de la luz en electricidad. Para ello utiliza materiales semiconductores como el silicio.

El efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico fue descubierto en 1839 por Alexandre-Edmond Becquerel. El efecto fotovoltaico es la capacidad de los materiales semiconductores de transformar la luz del sol en electricidad.

Cuando los fotones presentes en la luz solar llegan a un material semiconductor hacen que los electrones de dicho material se pongan en movimiento. Es este movimiento el que constituye la corriente eléctrica continua. Así pues, no es el calor del sol lo que genera energía, sino su luz. En un panel solar no hay piezas mecánicas sino módulos fotovoltaicos de materiales semiconductores.

Un módulo fotovoltaico es una pieza hecha de un material semiconductor que unida a otras forma un panel solar fotovoltaico. Existen diversos tipos de módulos fotovoltaicos:

Cuadro 21: Tipos de módulos fotovoltaicos

Las células planas cristalinas: pequeñas piezas de unos 0,2 mm de grosor. Cada una produce una pequeña cantidad de electricidad. Por ello, las conectamos entre sí para obtener la potencia deseada. Son unas piezas muy frágiles que están protegidas por un cristal sólido.

Las capas planas: la técnica consiste en depositar sobre un cristal una capa fina y uniforme de polvo de un material semiconductor. Los módulos son todavía mucho más grandes y captan mejor la radiación difusa. El material que se suele emplear es silicio amorfo.

Silicio cristalino y arseniuro de galio son la elección típica de materiales para celdas solares. Los cristales de arseniuro de galio son creados especialmente para uso fotovoltaico, mientras que los cristales de silicio están disponibles en lingotes estándar más baratos producidos principalmente para el consumo de la industria microelectrónica. El silicio policristalino tiene una menor eficacia de conversión, pero también menor coste.

Cuando es expuesto a luz solar directa, una celda de silicio de 6 cm de diámetro puede producir una corriente de alrededor 0,5 amperios a 0,5 voltios (equivalente a un promedio de 90 W/m², en un rango de usualmente 50-150 W/m², dependiendo del brillo solar y la eficacia de la celda). El arseniuro de galio es más eficaz que el silicio, pero también más costoso.

Las células de silicio más comúnmente empleadas en los paneles fotovoltaicos se puede dividir en tres subcategorías:

Cuadro 22: Silicio empleado en los paneles fotovoltaicos

Las células de silicio monocristalino están constituidas por un único cristal de silicio. Este tipo de células presenta un color azul oscuro uniforme.

Las células de silicio policristalino (también llamado multicristalino) están constituidas por un conjunto de cristales de silicio, lo que explica que su rendimiento sea algo inferior al de las células monocristalinas. Se caracterizan por un color azul más intenso.

Las células de silicio amorfo son menos eficientes que las células de silicio cristalino pero también menos costosas. Este tipo de células es, por ejemplo, el que se emplea en aplicaciones solares como relojes o calculadoras.

Los lingotes cristalinos son cortados en discos finos como una oblea, pulidos para eliminar posibles daños causados por el corte. Se introducen dopantes (impurezas añadidas para modificar las propiedades conductoras) dentro de las obleas, y se depositan conductores metálicos en cada superficie: una fina rejilla en el lado donde da la luz solar y usualmente una hoja plana en el otro. Los paneles solares son contruidos con estas celdas cortadas en forma apropiada. Para protegerlos de daños en la superficie frontal causados por radiación o por el mismo manejo de éstos se los enlaza en una cubierta de vidrio y se cementan sobre un sustrato (el cual puede ser un panel rígido o una manta blanda). Se realizan conexiones eléctricas en serie-paralelo para determinar el voltaje de salida total. La cimentación y el sustrato deben ser conductores térmicos, ya que las celdas se calientan al absorber la energía infrarroja que no es convertida en electricidad. Debido a que el calentamiento de las celdas reduce la eficacia de operación es deseable minimizarlo.

Los ensamblajes resultantes son llamados paneles solares o grupos solares.



Figura 46: paneles con módulos de células planas cristalinas. Fuente: www.publispain.com



Figura 47: panel de módulos de capas planas. Fuente: www.imperindec.com

Las estructuras para anclar los paneles solares son generalmente de aluminio con tornillería de acero inoxidable para asegurar una máxima ligereza y una mayor durabilidad en el tiempo. Las estructuras pueden ser estándares para las medidas más habituales (superficie, orientación e inclinación, tanto en horizontal, como en vertical).

Componentes de las instalaciones de paneles solares fotovoltaicos

Los paneles solares fotovoltaicos se conectan al resto del sistema eléctrico del edificio. Están constituidos por:

Cuadro 23: Componentes de las instalaciones de paneles solares

Un regulador de carga: elemento primordial en el sistema, puesto que controla el estado de carga de la batería y protege la instalación. Los modelos más sofisticados registran los datos.
Una batería: almacena la electricidad y la reserva para los momentos en los que hay menos luz y por tanto se genera menos electricidad fotovoltaica.
Un inversor: transforma la corriente continua producida por los paneles en corriente alterna de las mismas características que la que utilizamos en nuestra vida cotidiana. Está conectado a las tomas y distribuye la electricidad por todo el edificio.

Si vende la electricidad que no utiliza su inversor estará además conectado a un contador que mide la cantidad de electricidad que va a parar a la red de distribución.

Las fachadas fotovoltaicas aportan soluciones que otorgan interesantes beneficios a los edificios, entre los que destacan los siguientes:

Cuadro 24: Ventajas de las fachadas solares

La electricidad generada por la instalación puede ser directamente vertida a la red, y por tanto, comercializada a los grandes distribuidores o ser empleada para autoconsumo.
Dependiendo de la orientación de la fachada, la ubicación del edificio y la tecnología fotovoltaica empleada, la energía eléctrica generada por un sólo metro cuadrado puede variar entre 40-200 kW/h anuales; energía suficiente para satisfacer hasta 10.000 horas de luz de bombillas de bajo consumo de 20W.
Son capaces de proveer de energía limpia y gratuita porque se consume en el mismo punto donde se genera, lo que evita muchas de las ineficiencias de su distribución y contribuye a disminuir la contaminación visual de las redes convencionales.
Ahorro del 40% de energía gracias al aislamiento.
Aumento del confort térmico en interiores, ya que la entrada de luz natural es uno de los sistemas de ahorro energético más eficiente, reduce la iluminación artificial para proporcionar

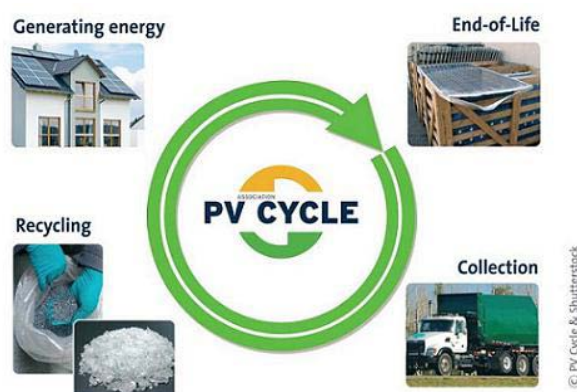
luz a un espacio y además se establece una conexión con el ambiente exterior.
Reducción de la contaminación acústica y filtración de UV dañinos
Trabaja como aislante y mantiene la temperatura idónea dentro de los edificios.
Se reduce la tarifa eléctrica al consumir menos recursos y se genera menos toneladas de co2 a la atmósfera.
La piel del edificio permite cubrir entre el 20%-40% de la energía consumida de un edificio.

Además de los evidentes beneficios medioambientales, en los países donde la venta de la electricidad está regulada e incentivada a través de una prima de obligado cumplimiento por parte de la compañía eléctrica, un metro cuadrado de fachada fotovoltaica puede generar un beneficio neto de más de 1.000 € a lo largo de su vida útil (25 años).

Desde el punto de vista financiero y dependiendo del tipo de edificio y su localización, la fachada fotovoltaica puede aportar una Tasa Interna de Retorno (TIR) superior al 25% y un periodo de amortización excelente.

Reciclaje de paneles

La mayor parte de los paneles fotovoltaicos puede ser tratada. Gracias a las innovaciones tecnológicas que se han desarrollado en los últimos años, se puede recuperar hasta el 95% de ciertos materiales semiconductores y el vidrio, así como grandes cantidades de metales ferrosos y no ferrosos utilizados en los módulos. Algunas empresas privadas y organizaciones sin fines de lucro, como por ejemplo PV CYCLE en la Unión Europea, están actualmente trabajando en las operaciones de recogida y reciclaje de paneles al final de su vida útil.



Dos de las soluciones de reciclaje más comunes son:

Para paneles de silicio los marcos de aluminio y las cajas de conexión son desmantelados manualmente al comienzo del proceso. El panel se tritura y las diferentes fracciones se separan - vidrio, plásticos y metales. Es posible recuperar más de 80% del peso entrante y, por ejemplo, el cristal mixto extraído es fácilmente aceptado por la industria de la espuma de vidrio el aislamiento. Este proceso puede ser realizado por los recicladores de vidrio plano ya que la morfología y composición de un panel fotovoltaico es similar al cristal plano utilizado en la industria de la construcción y del automóvil.

Para paneles de otros materiales, hoy en día contamos con tecnologías específicas para el reciclaje de paneles fotovoltaicos que no contienen silicio, algunas técnicas utilizan baños químicos para separar los diferentes materiales semiconductores. Para los paneles de telurio de cadmio, el proceso de reciclaje empieza por aplastar el módulo y, posteriormente, separar las diferentes partes. Este proceso de reciclaje está diseñado para recuperar hasta un 90% del vidrio y 95% de los materiales semiconductores. En los últimos años, algunas empresas privadas han puesto en marcha instalaciones de reciclaje a escala comercial.

Desde 2010 se celebra una conferencia anual en Europa que reúne a productores, recicladores e investigadores para debatir el futuro del reciclaje de módulos fotovoltaicos. En 2012 tuvo lugar en Madrid.

2.4.3.2.3. Clasificación de fachadas solares

Hoy en día la arquitectura solar atraviesa por una verdadera revolución a causa del desarrollo, entre otros, de fachadas solares diseñadas para la calefacción, ventilación, aislamiento, sombreado, generación de energía eléctrica e iluminación natural de las edificaciones. Sin embargo, su aplicación va acompañada de importantes desafíos en términos de la complejidad de los procesos, las tecnologías utilizadas y la capacidad de adaptación de estas soluciones para diferentes áreas geográficas con condiciones climáticas específicas. Este problema ha suscitado un gran interés en la comunidad científica internacional, la que ya ha llevado a cabo numerosos estudios sobre fachadas solares. La figura siguiente ilustra una clasificación general de dichas fachadas solares.

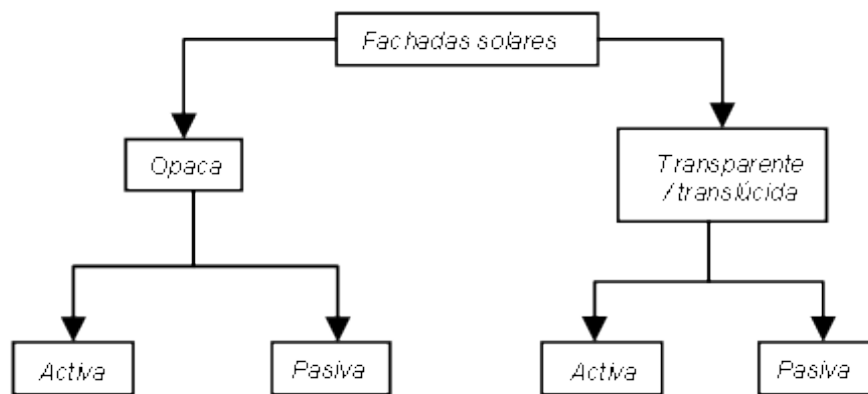


Figura 48: Clasificación de las fachadas solares. Fuente: Una revisión bibliográfica de estudios sobre fachadas solares opacas y transparentes.

Fachadas solares opacas y activas

Las fachadas solares opacas absorben y reflejan la radiación solar incidente y no permiten la ganancia solar directa hacia el interior de la edificación. Si dichas fachadas son capaces de transformar la radiación solar incidente en electricidad para su uso inmediato, o si ellas emplean aparatos eléctricos o mecánicos (bombas, ventiladores, válvulas, equipos de control) para transferir la energía térmica al edificio, entonces se identifican como fachadas solares opacas y activas.

Fachadas solares opacas y pasivas

Las fachadas solares opacas y pasivas pueden ser paredes o superficies opacas acristaladas que transforman la energía solar incidente en energía térmica para la calefacción o ventilación del edificio, sin necesidad de utilizar aparatos eléctricos o mecánicos (bombas, ventiladores, válvulas, equipos de control).

Fachadas solares transparentes / translúcidas activas

Las fachadas solares transparentes / translúcidas no sólo absorben y reflejan una parte de la radiación solar incidente, sino también permiten la ganancia solar directa hacia el interior de la edificación. Se denominan fachadas solares transparentes / translúcidas activas, si además son capaces de transformar la radiación solar incidente en electricidad, para su uso inmediato, o si emplean aparatos eléctricos o mecánicos (bombas, ventiladores, válvulas, equipos de control) para transferir la energía térmica al edificio.

Fachadas solares transparentes / translúcidas pasivas

Las fachadas solares transparentes / translúcidas pasivas pueden ser superficies acristaladas que transforman la luz solar en energía térmica para la calefacción o ventilación del edificio. No utilizan dispositivos mecánicos o eléctricos (bombas, ventiladores, válvulas, equipos de control) y permiten la ganancia solar directa hacia el interior de la edificación.

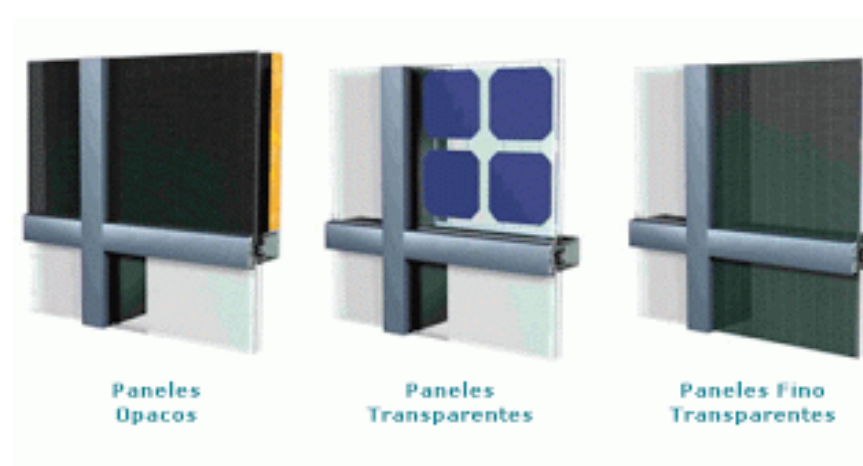


Figura 49: Paneles opacos y transparentes. Fuente: Wikipedia

2.4.3.2.4. Opciones de integración solar fotovoltaica en fachadas de edificios

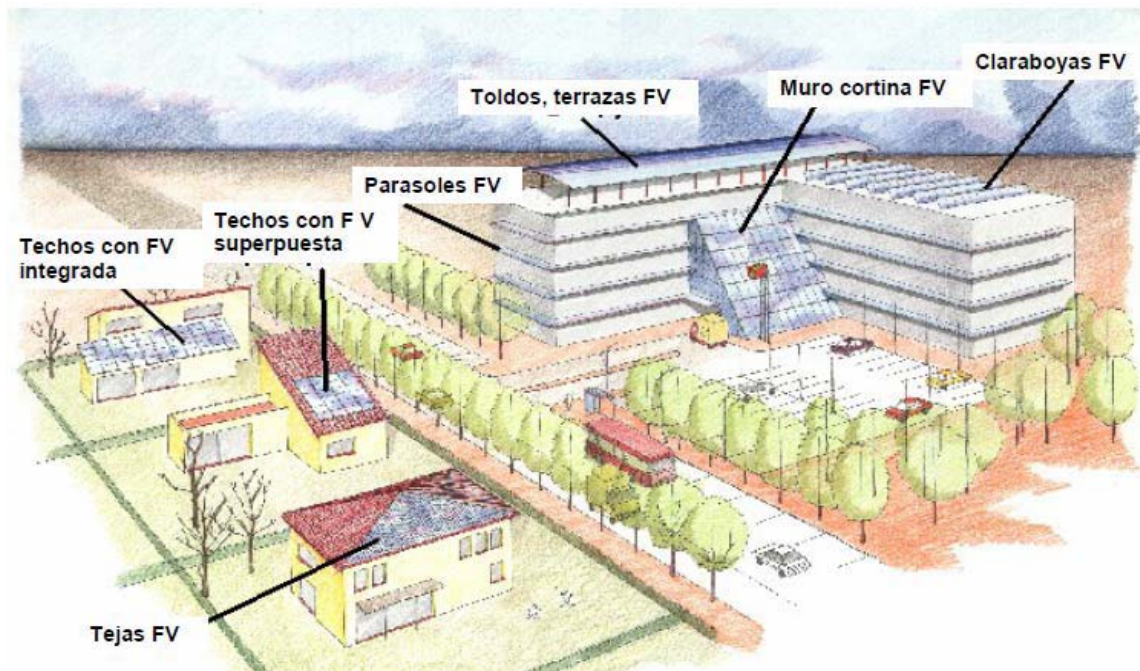


Figura 50: Opciones de integración fotovoltaica en edificios. Fuente: Una revisión bibliográfica de estudios sobre fachadas solares opacas y transparentes.

Las fachadas proporcionan una primera visión del edificio al visitante. Es el medio que suelen emplear los arquitectos y diseñadores para transmitir la idea del edificio y los deseos del cliente a través de un lenguaje de formas y colores.

Si se está interesado en proyectar una imagen futurista, sofisticada y ecológica, los materiales fotovoltaicos ayudarían en gran medida. Su integración en la fachada puede ser llevada a cabo siguiendo dos maneras diferentes de proceder:

Cuadro 25: Instalación de los paneles solares fotovoltaicos

La primera de ellas, consiste en integrar módulos fotovoltaicos convencionales sobre una fachada ya construida. Se acoplan directamente mediante sistemas de sujeción tradicionales y no es necesario proporcionar al panel de protección atmosférica. Los paneles más demandados para esta aplicación son los policristalinos, debido a los brillos que emiten en distintos tonos azules y que resultan visibles desde distancias considerables.

La segunda forma posible de integración, consiste en configurar la fachada del edificio empleando para ello los módulos fotovoltaicos como material de construcción.

Los paneles pasan a formar parte integral de la estructura del edificio y como tales, tiene que proporcionar las características resistentes necesarias y protegerles frente a los agentes externos.

En lo referente al diseño arquitectónico, la fachada adquiere una estética muy ordenada y pulcra gracias al perfecto ensamblaje que se logra entre los paneles, un diseño poco común y difícil de conseguir con otros materiales.

Esta modalidad de integración se realiza en edificios que estén en proyecto, resultando más ventajosa desde el punto de vista económico, porque no requieren un doble gasto en materiales fotovoltaicos y en convencionales de fachada (mármol, granito, etc.).

En el diseño de fachadas fotovoltaicas de edificios de nueva construcción, aspectos tales como la distribución de las ventanas, su orientación y el sistema de ventilación han de ser estudiados detalladamente para conseguir un mayor grado de integración y maximizar la eficiencia energética del edificio. La fachada principal deberá estar orientada hacia el Sur para que la superficie de exposición al sol sea máxima. Las ventanas, balcones y grandes puertas también es conveniente que queden orientadas hacia el Sur. Por el contrario, las que se ubiquen al Este, Oeste y sobre todo al Norte, deberán de ser el menor número y lo más pequeñas posibles con el fin de evitar las pérdidas de calor. Es conveniente aplicar una ventilación adecuada a los módulos para disipar el calor y mejorar, de esta forma, la eficacia de conversión fotovoltaica.

La figura 51 muestra una clasificación de los diferentes tipos de fachada que se pueden utilizar. Los tipos que aparecen en la parte inferior del gráfico son los que se desarrollarán con mayor profundidad a continuación. Las ventanas se consideran una aplicación externa, válida para todas las soluciones de fachada transparente, fachada opaca y de cubierta.

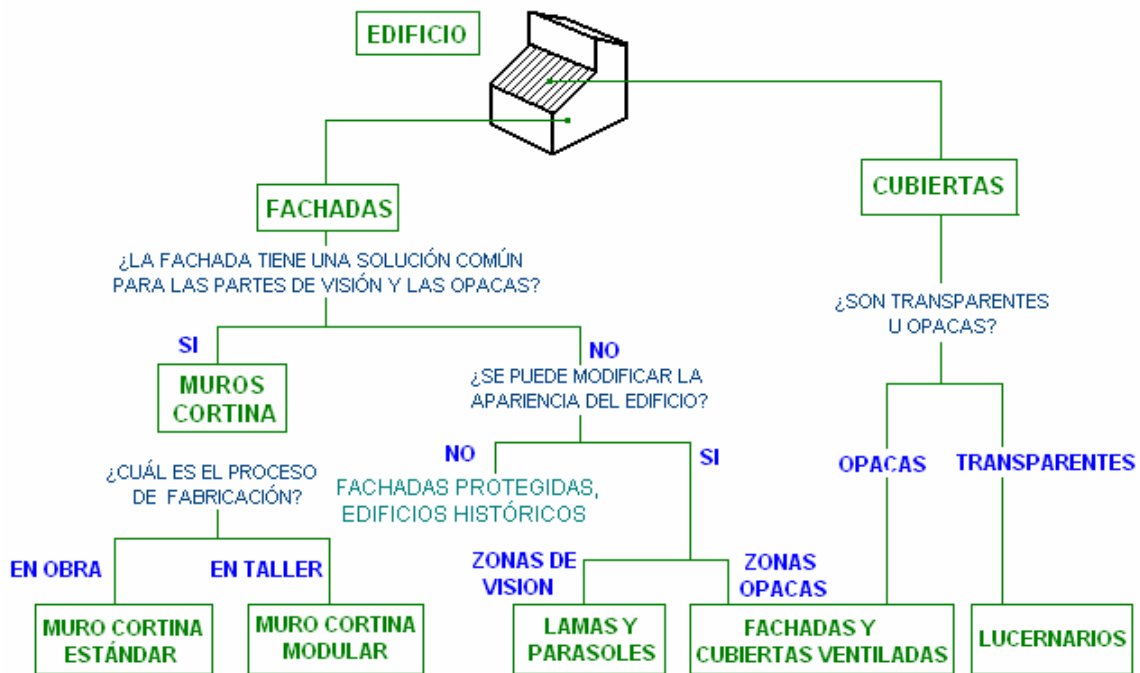


Figura 51: Posibilidades de aplicación de sistemas fotovoltaicos a la envolvente de un edificio en función de la posición y del tipo de cerramiento. Fuente: La envolvente fotovoltaica en arquitectura.

2.4.3.2.4.1. Fachada Ventilada

Las fachadas ventiladas fueron desarrolladas sobre todo en países nórdicos para dar una solución constructiva al problema de la entrada de agua a través de un cerramiento ligero. El concepto se basa en dividir la fachada en dos pieles independientes y con usos distintos, separadas por una cámara de aire ventilada. La piel interior es la fachada resistente, estanca y aislada, mientras que la piel exterior tiene como objetivo proteger a la interior de la acción directa de la lluvia y, hoy en día, ser un elemento estético.

La capa interior de una fachada ventilada, que lleva y transmite todas las cargas de las acciones del peso propio, el viento y la nieve, pueden ser bien de hormigón bien de ladrillo. En su cara exterior se fija un aislamiento térmico, una barrera de vapor entre el aislamiento y el muro, y se añade una lámina impermeable respirante al exterior del aislamiento para protegerlo. Se

deja entre las dos hojas de la fachada un hueco para garantizar la ventilación y evitar así humedades indeseables.

Las fachadas ventiladas con la hoja exterior superpuesta representan una muy buena oportunidad para la integración de los paneles fotovoltaicos. La tecnología de las fachadas ventiladas ya ha desarrollado todos los elementos necesarios para incorporar estos sistemas, sin más que sustituir los paneles de vidrio, aluminio o cerámica por paneles fotovoltaicos.

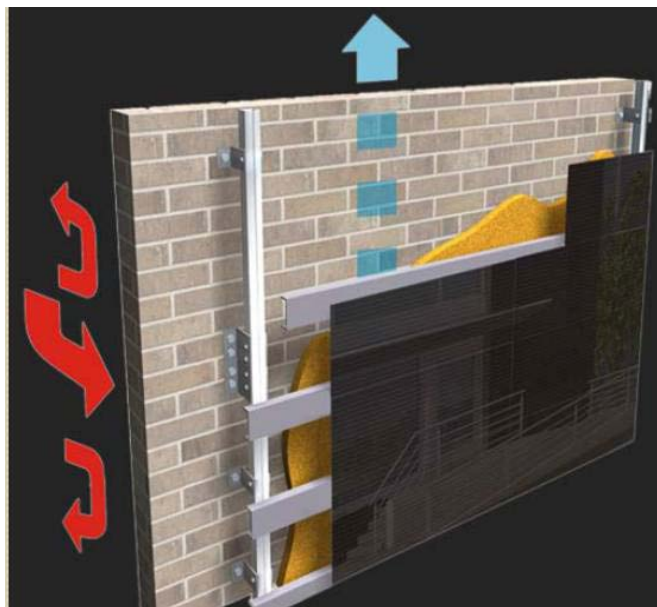
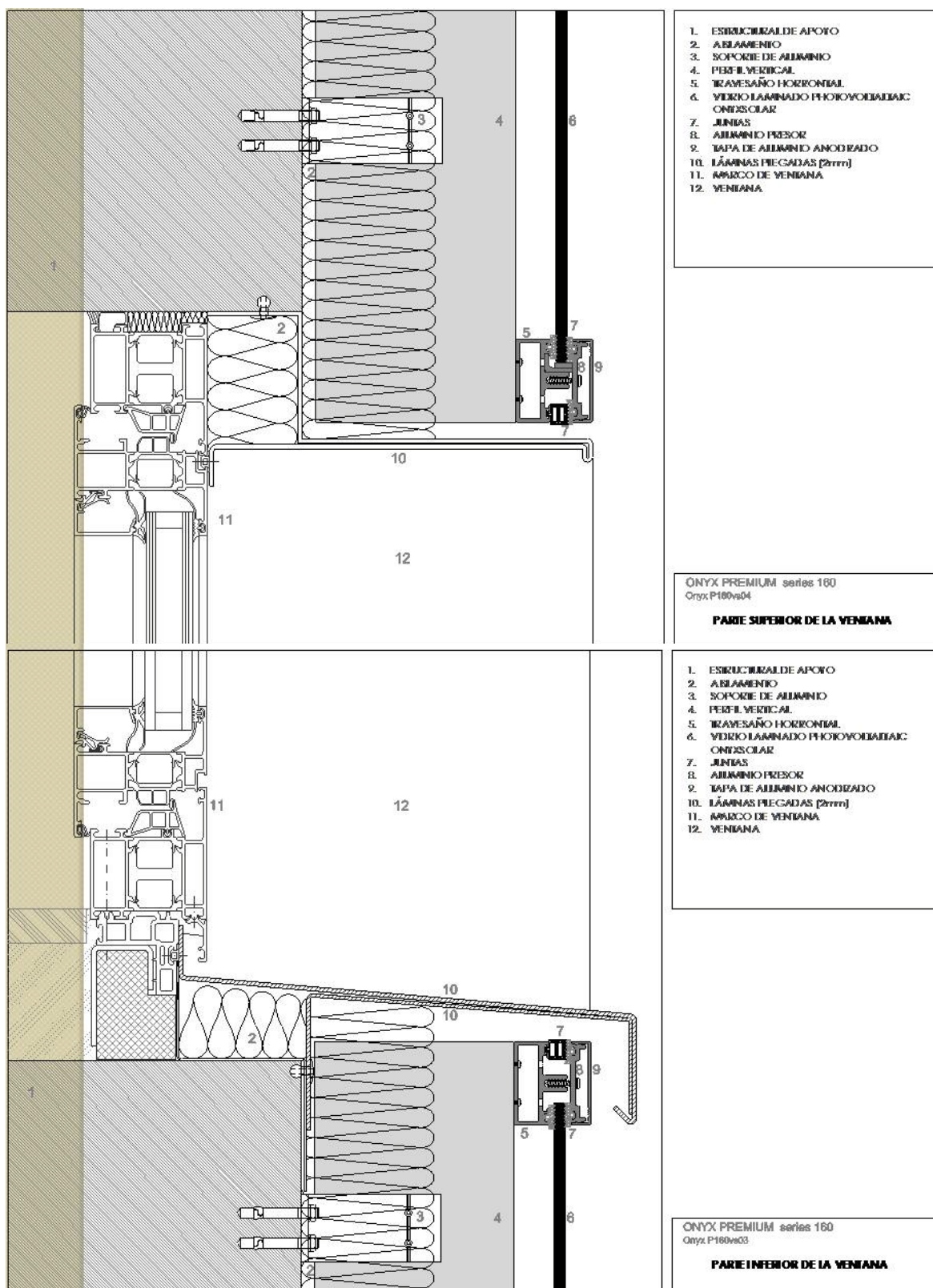


Figura 52: Fachada ventilada fotovoltaica. Fuente: Onixsolar

Se pueden distinguir dos familias de soluciones de fachadas ventiladas con paneles fotovoltaicos: las basadas en vidrio y las basadas en otros soportes opacos.

En la primera de ellas se parte de sistemas existentes de muro cortina de vidrio sobre fachadas opacas, en los que unos montantes verticales en forma de T o de U reciben paneles de vidrio fijados a un cerco perimétrico de aluminio. El vidrio puede estar sujeto perimétricamente al acero mediante junquillos exteriores fijados a presión mediante pegado con silicona estructural. La integración del módulo fotovoltaico consiste en sustituir el vidrio templado o laminar de la hoja exterior, generalmente opaco, por un panel de vidrio laminar con células fotovoltaicas de silicio cristalino o amorfo.

En la segunda familia se parte de cualquier sistema de fachada ventilada a base de paneles ligeros opacos fijados sobre una estructura de perfiles verticales en U: bandejas de aluminio plegado, paneles laminados de alta densidad, etcétera.



Figuras 53 y 54: Detalles constructivos de fachada ventilada fotovoltaica con paneles de vidrio. Fuente: Onixsolar

La ventaja de incorporar paneles fotovoltaicos a este tipo de fachadas es la posibilidad de ventilar el trasdós del panel, lo que aumenta sensiblemente su rendimiento en función de la temperatura exterior y del grado de ventilación de la cámara. La caja de conexiones del panel puede fijarse sobre la cara interior de los paneles, aprovechando el ancho de la cámara. El cableado de conexión puede canalizarse a lo largo de los perfiles verticales que soportan los paneles, y atravesar la piel interior en un punto determinado, ya sea en la base o en el extremo superior de la fachada.

Las dimensiones de la fachada pueden ajustarse a las medidas estándar de los módulos fotovoltaicos, con lo que se reducen los costes de suministro. En todo caso, la combinación de varios módulos estándar puede encajar con las dimensiones típicas de la fachada ventilada, ya sea la altura entre plantas o la anchura total. De esta forma pueden evitarse paneles de dimensiones especiales o laminados no convencionales.



Figura 55: Propuesta ganadora del Solar Decathlon de 2009, del Equipo Alemán, titulada surPLUShome. Fuente: edificacionenergetica.blogspot.com

Desde el punto de vista del rendimiento eléctrico, es preferible que la fachada ventilada donde se sitúan los paneles sea del tipo drenado y trasventilado, porque en él la ventilación de la cámara es mayor y la temperatura de la cara interior del panel fotovoltaico desciende más rápidamente. Por otra parte, si la fachada que hay que cubrir es de grandes dimensiones -y,

sobre todo, si es de gran altura- es preferible optar por una fachada ventilada con ecualización de presiones, para reducir así, la cantidad de agua presente en la cámara, que podría dañar el cableado o penetrar por los pasos a través de la hoja interior.

Hay que hacer hincapié en elegir adecuadamente el tipo de anclaje. Es favorable que el proveedor del anclaje haga unas pruebas in situ de tracción para comprobar los diferentes tipos de anclaje y estar así seguro que la unión con el edificio es segura y que transmita las cargas correctamente.

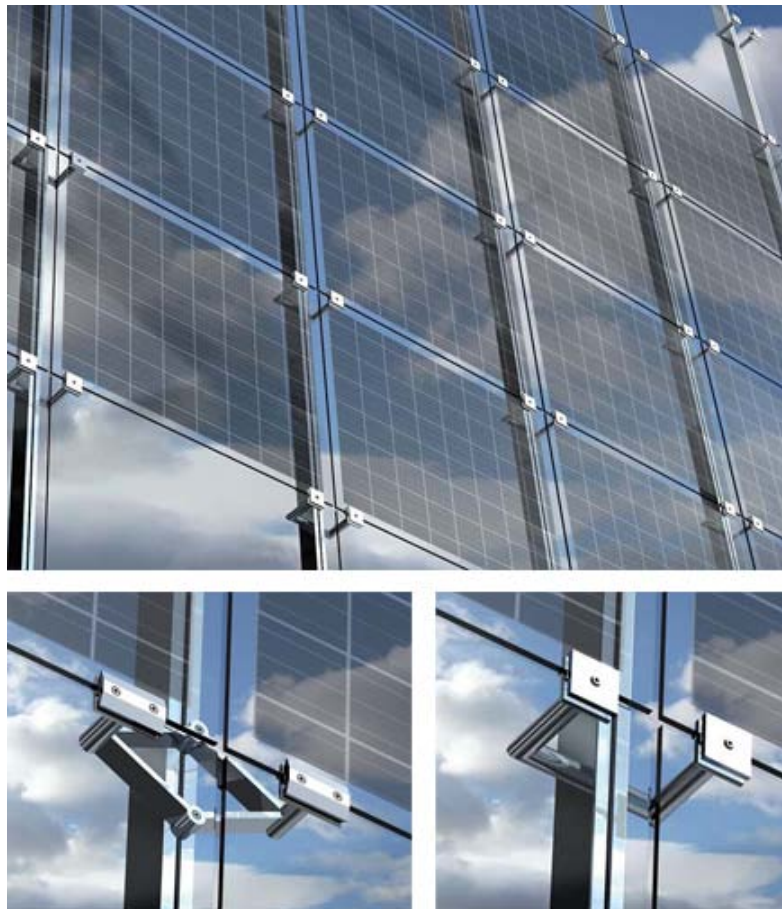


Figura 56: Tipos anclajes fachada ventilada fotovoltaica. Fuente: Guía integración solar fotovoltaica de Madrid.

2.4.3.2.4.2. Muro cortina

El concepto constructivo de una fachada del tipo muro cortina es una fachada ligera que deja de ser un elemento portante del edificio. Es un cerramiento colgado, no apoyado. La solución más habitual es la de montantes y travesaños donde se integra un doble acristalamiento. Los montantes se suelen fijar a los cantos del forjado portante. Al tratarse de un cerramiento no portante, los montantes transmiten tan sólo cargas horizontales debidas al viento y al peso propio vertical del muro cortina a la estructura principal. Interesa un alto grado de “premontaje” en el taller para reducir y facilitar el montaje de los sistemas in situ.



Figura 57: Esquema muro cortina con panel fotovoltaico. Fuente: Onixsolar

En un muro cortina de montantes y travesaños, los paneles fotovoltaicos se pueden insertar tanto en los vidrios de visión como en los vidrios opacos. Tanto si el acristalamiento es simple como si es doble, el vidrio convencional se puede reemplazar por otro que incorpore células fotovoltaicas de algún tipo. La manera más sencilla es colocar el panel fotovoltaico como un vidrio, fijado con prensos exteriores, y realizar unas canalizaciones en la cara interior de la perfilería para alojar el cableado de conexión entre módulos.

Si los módulos fotovoltaicos están integrados en la zona de visión del muro cortina, las células estarán embebidas en un vidrio laminado que formará la hoja exterior del doble acristalamiento. Si se trata de células mono o policristalinas -que son opacas-, la transparencia se logra con células entre sí, encapsuladas en EVA (etil-vinilacetato) transparente. Si se trata de

un módulo de silicio amorfo semitransparente, éste ocupará la totalidad de la superficie. Es importante hacer notar que en ambos casos las células solares actúan como una capa de control solar que absorbe parte de la radiación solar y, por tanto, reducen el factor solar, lo que es positivo para el comportamiento del muro cortina en condiciones de verano. En la hoja interior del vidrio doble se suele insertar una capa de baja emisividad para reducir la transmisión térmica del vidrio. Si las propias células no bastasen para alcanzar el factor solar requerido, se puede añadir una capa de control solar en la cara interna de la hoja exterior, siempre por detrás del módulo fotovoltaico para no reducir la cantidad de energía solar que reciben las células.

Para evitar la rotura del vidrio por choque térmico, el vidrio laminado será templado o termoendurecido. El cálculo de los espesores del vidrio tendrá en cuenta además las acciones del viento y las exigencias de resistencia a impactos tanto externos como internos.

Cuando los módulos fotovoltaicos se integran en las partes opacas de un muro cortina -por ejemplo, en la banda correspondiente al paso de forjado-, se puede emplear un vidrio laminar con células opacas o semitransparentes. El módulo fotovoltaico puede insertarse en el hueco como un vidrio doble o bien como un vidrio sencillo que forme parte de un panel ciego aislante. En el primer caso, la hoja interior será opaca para ocultar el interior de la fachada, por lo que deberá ser templada. En el segundo caso, el vidrio sencillo con el módulo fotovoltaico se fija a una bandeja que en su cara interior aloja un panel sándwich formado por dos chapas de acero o aluminio y un relleno intermedio de lana de roca u otro material aislante. Entre el panel fotovoltaico y el panel sándwich se crea una cámara de aire que deberá estar ecualizada con la presión exterior, drenada y lo más ventilada posible para no penalizar el rendimiento por exceso de temperatura.

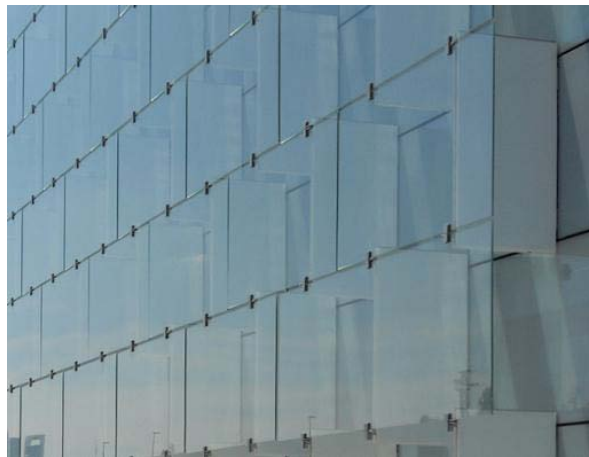
Cuando las partes opacas del muro cortina están formadas por paneles sándwich de acabado metálico o por paneles composite, es fácil adherir a la cara exterior de los paneles un módulo fotovoltaico. Si éste es de silicio amorfo, la ventaja es que la caída del rendimiento por temperatura es menos acusada que en otras tecnologías, por lo que su uso es adecuado en fachadas sin ventilación trasera. Los encuentros del módulo con el panel base deberán estar sellados en fábrica.



Foto 58: Muro cortina fotovoltaico. Fuente: Onyxsolar

Hemos descrito la integración del panel fotovoltaico por sustitución del vidrio convencional. Aunque esta solución resulta adecuada desde el punto de vista del coste, dado que sustituimos un vidrio por otro, no lo es tanto desde el punto de vista del rendimiento, ya que la ventilación de la cara interior del panel fotovoltaico es nula o bastante reducida. Una alternativa para resolver esto es que los módulos fotovoltaicos de vidrio se coloquen por fuera del plano del muro cortina, simulando una fachada de doble piel. La fijación se puede hacer por puntos, atravesando la fachada ligera en los montantes e insertando una perfilería soporte cuya única misión sea recibir los módulos.

La opción de insertar los módulos fotovoltaicos en la piel exterior de un muro cortina, además de técnicamente muy adecuada –por la ventilación y la posibilidad de acceso a las conexiones desde pasarelas colocadas entre ambas pieles-, supone una alternativa mediterránea a los muros de doble piel propios de climas del norte de Europa, donde el interés está en ganar calor solar y no defenderse de él.



Figuras 58 y 59: Sede de Telefónica en Las Tablas, Madrid. Sistema modular de doble muro cortina. Este edificio además tiene la cubierta fotovoltaica, que constituye el mayor campo de captación de energía solar europeo. Fuente: Fotos por Elaine Garrido



Foto 35: Cubierta fotovoltaica Sede de Telefónica en Madrid. Fuente: www.construible.es

Los puntos que deben controlarse en el diseño para la adecuada integración de los paneles fotovoltaicos en los muros cortina tradicionales son:

Cuadro 26: Puntos a controlar en la integración de paneles fotovoltaicos

La localización, el tamaño y la integración de la caja de conexiones sobre el trasdós del panel.
El recorrido y la accesibilidad del cableado de conexión entre los paneles, tanto en horizontal como en vertical, a lo largo de los travesaños y montantes.
La estanquidad y el mantenimiento de la barrera de vapor en las perforaciones para el paso de los cables a través de la perfilería de montantes y travesaños
La salida de los cables en el lateral del doble acristalamiento y su entrada en la caja de conexiones del trasdós del panel, asegurando la durabilidad de la barrera de vapor en el intercalario del doble acristalamiento y evitando así que se produzcan condensaciones en la cámara.
La evitación de sombras arrojadas por las tapas situadas sobre los laterales de los módulos, que producen una caída de rendimiento.
La capacidad del panel fotovoltaico de vidrio de asumir las cargas de viento y los requerimientos de impactos tanto exteriores como interiores.

Una cuestión clave es decidir si se mantiene el cableado externo con una sola penetración a través del muro cortina en un punto, generalmente en la base (posibilidad que permite la opción de doble piel fotovoltaica exterior) o si se hacen tantas penetraciones como paneles fotovoltaicos haya (opción inevitable si integramos el panel dentro de la perfilería, en sustitución del vidrio convencional).

En comparación con la simple sustitución de los vidrios en una rejilla convencional, la opción del muro cortina con módulo fotovoltaicos encolados con silicona estructural a bastidores de aluminio tiene ventajas en muchos de los aspectos mencionados. Entre éstas tenemos la ausencia de sombras provocadas por las tapas, la conexión a través de la bandeja realizada en taller, la facilidad de sustitución en caso necesario y la posibilidad de que las conexiones entre

módulos se hagan en el espacio intermedio definido por los bastidores, sin tener que atravesar la barrera de vapor interior más que en un punto.

Si queremos conseguir el máximo rendimiento por ventilación trasera y la máxima accesibilidad, la opción óptima es el muro de doble piel con pasarelas de registro, si bien su precio inicial será también mayor.

2.4.3.2.4.3. Lamas y parasoles

Es obvio que un elemento diseñado para protegernos del sol, como los parasoles y las lamas, en general, tiene una gran oportunidad de convertirse en el soporte ideal para integrar módulos fotovoltaicos. De esta manera, los paneles combinan dos funciones en un solo elemento: control solar y producción energética.

Aún siendo prometedora, la integración de los módulos fotovoltaicos en persianas y venecianas retráctiles resulta difícil por la fragilidad de las células o de las capas fotovoltaicas, y por la dificultad de asegurar sus conexiones. En cambio, la incorporación de módulos fotovoltaicos en parasoles o lamas exteriores -montados por fuera de la fachada para dar sombra constante al edificio- resulta la opción de integración más evidente. De hecho, cuando hablamos de integración fotovoltaica en los edificios más allá de las cubiertas, ésta es la primera opción que se considera.

Una primera solución es la de los parasoles fijos, que protegen del sol por encima de la línea de las ventanas y que pueden orientarse del modo más adecuado para asegurar la máxima captación solar. Las células fotovoltaicas pueden estar insertas en paños de vidrio laminado sujeto a una perfilera de aluminio en ménsula, a través de la cual se efectúan las conexiones eléctricas al interior del edificio. Otra variante es la de los parasoles metálicos revestidos con paneles solares de lámina delgada. En ambos casos, la limpieza suele ser el punto crítico, por lo que se debería confiarse sólo a la acción del agua de la lluvia. Se debe prever el acceso para la limpieza desde las ventanas de la planta superior, o desde la cubierta para la última planta, con ayuda de un brazo extensible conectado a una manguera.



Figura 60: Parasoles fotovoltaicos en el edificio centro de diseño en kuppenheim, Alemania. Fuente: Guía integración fotovoltaica

Una variante de los parasoles fotovoltaicos es la de los balcones en las terrazas de edificios de viviendas, que pueden actuar como elementos ciegos que incorporan células fotovoltaicas en su cara exterior. En este caso, la limpieza es fácil, y el punto crítico es su inclinación, ya que normalmente será vertical y puede estar sujeta a sombreados parciales, lo que afectará a su rendimiento.



Figura 61: Barandillas del Hotel Aguas de Ibiza formadas por módulos FV vidrio/vidrio de color verde. Fuente: Guía integración fotovoltaica

Tanto por su extensión como por su accesibilidad, la mejor opción de integración de módulos fotovoltaicos es la de las lamas que cubren una gran superficie de fachada, fijadas a una estructura intermedia con pasarelas registrables para limpieza.

En este caso, las lamas pueden ser ajustables y orientarse al sol en busca de la máxima sombra y el máximo rendimiento simultáneamente.

En este tipo de solución se va un paso más, buscando un posible deslumbramiento total del espacio interior. Básicamente hay tres soluciones: de forma mecánica, con motores eléctricos o con el sistema más sostenible, unos tubos que contienen un gas. Se mueven de forma automática por expansión del gas y viceversa según el ángulo de impacto de los rayos del sol. Lo más habitual, sin embargo, es la solución con motores eléctricos. La energía eléctrica necesaria para este ajuste fino a lo largo del día puede extraerse de los mismos módulos fotovoltaicos.

Las lamas se orientan según un algoritmo que calcula las diferentes posiciones del sol durante el año y que tiene en cuenta, además, las exigencias del edificio y de sus habitantes.



Foto 38: Detalle de las lamas fotovoltaicas orientables del centro para enfermos de Alzheimer, Madrid. Fuente: Guía integración fotovoltaica

Los elementos de fijación del vidrio y los montantes verticales de soporte del conjunto de las lamas deben incorporar registros para la inserción del cableado de conexión, tanto para conectar los módulos entre sí como para guiar su entrada en el edificio. El diseño de los montantes debe asegurar que los cables en la zona expuesta estén bien ventilados y drenados, sin que puedan producirse acumulaciones de agua. La conexión de los cables se debe realizar en un número limitado de puntos, de fácil registro, para minimizar el número de penetraciones a través de la piel interior estanca.

Tanto en los parasoles o frente de balcones como en las lamas, la integración de los módulos fotovoltaicos es muy eficaz, puesto que la ventilación del trasdós está asegurada y, por tanto, las pérdidas por exceso de temperatura son menos importantes que en las opciones de muro cortina. De lo que se tendrá que preocupar en estos casos es de facilitar la limpieza y de escoger una adecuada orientación.

2.4.3.3. Fachada ajardinada

El muro vegetal, pared verde, biomuro, jardín vertical o pared viviente; es un muro independiente o pared interna o externa de un edificio cubierto por vegetación, que fue concebido tras observar ciertos procesos en el ambiente natural, en el que las plantas requieren para su crecimiento muy poca tierra y se adhieren fácilmente a estructuras verticales de paredes, columnas, mallas o verjas. Proporcionan tantas ventajas de aislamiento térmico como las cubiertas verdes, pero con la ventaja adicional de no tener la presión estructural del peso extra. Además, por cada cubierta hay cuatro paredes, cuyo tamaño no es una limitante, dado que se trata de una solución muy liviana y con gran potencial de crecimiento.

La tierra no es un requerimiento esencial para el crecimiento de algunas plantas, como sí lo son el agua, la luz y el dióxido de carbono en el proceso de la fotosíntesis. Por ejemplo, en Malasia, de 8000 especies de plantas, 2500 crecen sin tierra, una característica que el célebre arquitecto Ken Yeang aprovechó para promover el diseño ecológico de rascacielos verdes, como ciudades verticales en el cielo.



Figura 62: Jardín vertical en París, obra de Patrick Blanc. Fuente: Estudio Patrick Blanc.

Las ventajas de disponer de un sistema de fachada ajardinada son las siguientes:

Cuadro 27: Ventajas fachadas ajardinadas

Mayor aislamiento de la vivienda
Reducción del efecto de calor urbano. Absorben el calor y no lo devuelven al ambiente.
Absorben el CO ₂ .
Absorben las partículas finas del aire, perjudiciales para las personas.
Suponen un estímulo de vida a las especies animales.
Retienen agua de lluvia, disminuyendo el caudal de agua que tiene que absorber el alcantarillado.

Existen dos categorías principales de jardines verticales:

Cuadro 28: Categorías jardines verticales

Las paredes verdes: Con plantas trepadoras que crecen directamente sobre ellas o en las estructuras soportantes, con las raíces aferradas a la tierra.
Las fachadas vivientes: Están conformadas, generalmente, por paneles modulares hechos con contenedores de acero inoxidable, geotextiles y sistemas de riego y vegetación, pero también pueden ser muros diseñados con ese propósito, que incorporen las perforaciones para acomodar el medio que le dé sustento a la planta. Esta última solución no es recomendable en zonas con alta actividad sísmica.

También hay un sistema con alfombras verticales, que sostienen plantas de raíces no muy grandes. Es apto para regiones sísmicas y su uso más común es en interiores, en los que requieren un buen sistema de riego y recirculación.

Se pueden conseguir contenedores especiales para hiedra, que evitan el daño que pueda ocasionar la planta a una fachada.

La solución más robusta por su aplicación, tanto en paredes internas como en muros externos, son los bloques diseñados para tal propósito, donde el pH se puede adecuar al tipo de planta y tienen la ventaja de su fácil mantenimiento, reparación y reemplazo.

Finalmente están los muros vivos activos, un sistema diseñado para halar o forzar el aire a través de las plantas de la pared, directamente al sistema de recirculación del aire acondicionado del edificio.

2.4.3.3.1. 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"x3" (61×61×7,6cm) que se complementa con módulos de otros tamaños 12" (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.

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 drena a través de toda la fachada y se recoge en la parte inferior.



Figura 63: sistema Green Living Technologies. Fuente: www.urbanarbolismo.es

Sistema de paneles modulares de 60x60.

Sistema de paneles de 60x60cm de chapa perforada con o sin base de poliestireno extruido 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 crecidas.



Figura 64: sistema de paneles modulares de 60x60. Fuente: www.urbanarbolismo.es

Patente Patrick Blank

El Muro Vegetal de Patrick Blank 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 grapan 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 fieltro, 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. Se prevé una poda anual de los arbustos.

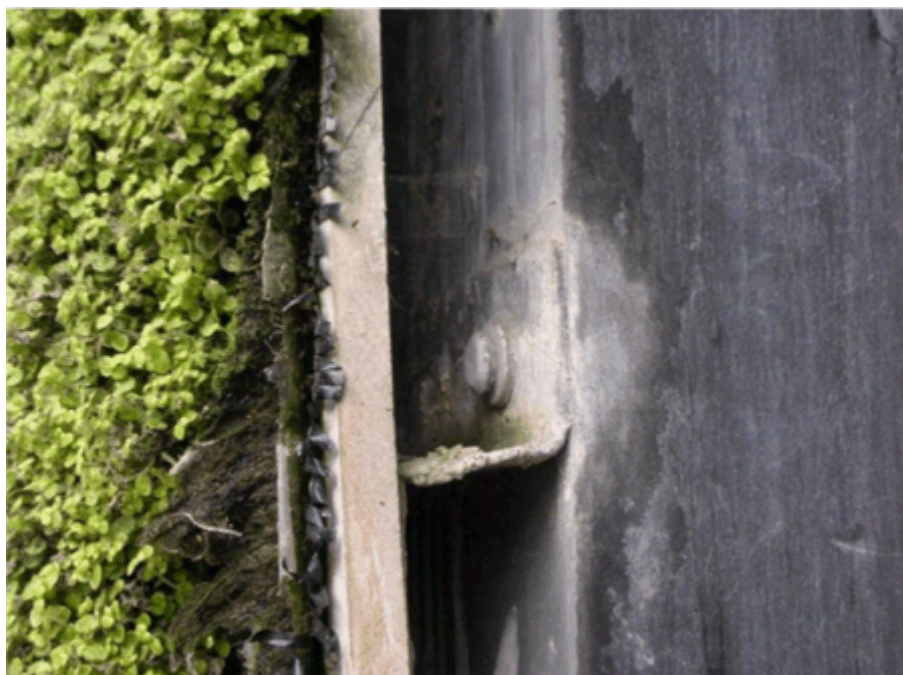
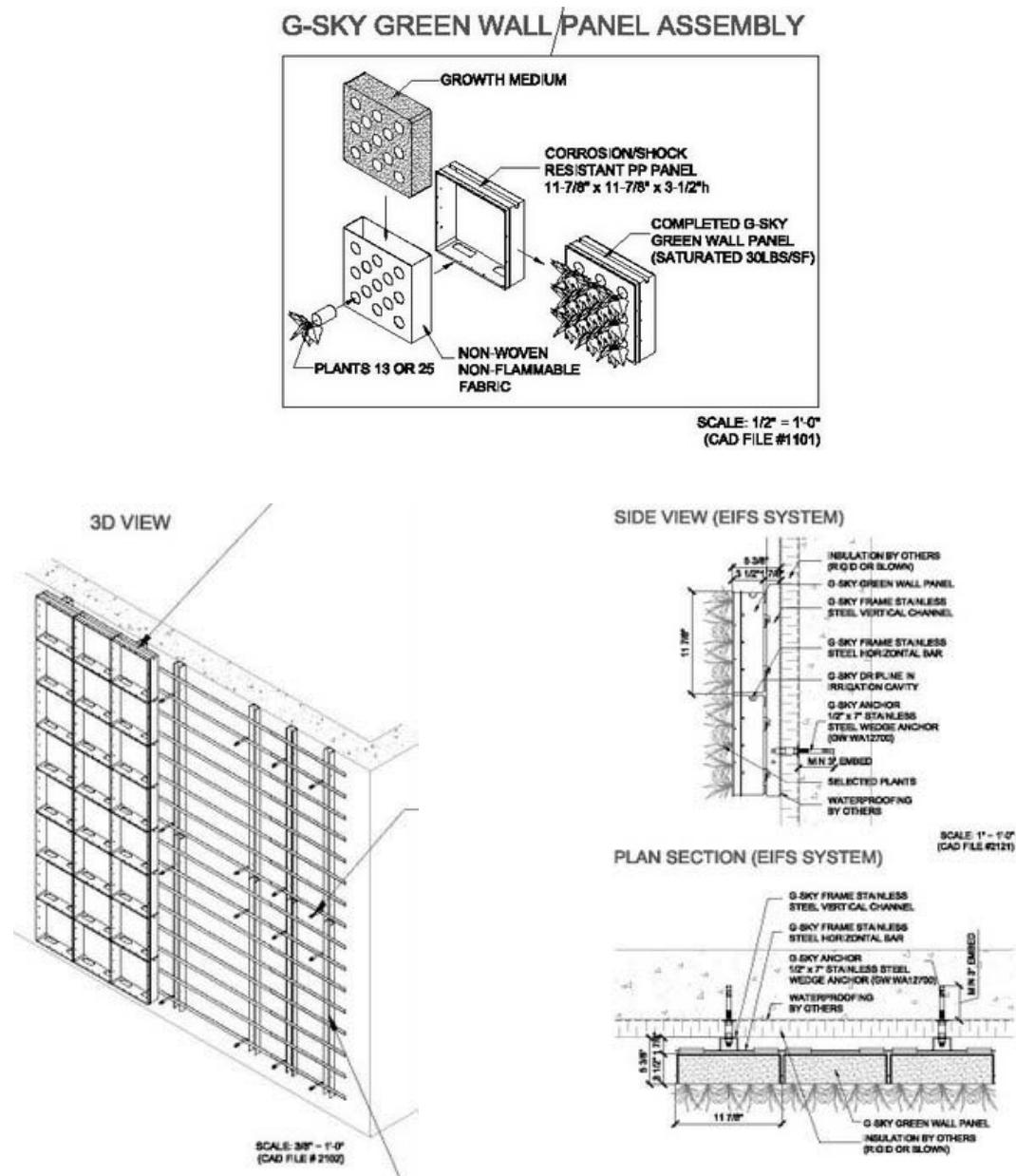


Figura 65: Patente Patrick Blank. Fuente: www.urbanarbolismo.es

Sistema G-Sky. Modular

Otro sistema modular, es un panel de 12×12 de polipropileno montado sobre soportes de acero. Viene pre plantado 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 bitmap.



Figuras 66,67 y 68. Fuente: www.urbanarbolismo.es

Hormigón vegetal

La vegetación crece en los poros del hormigón que se humedece con un sistema de tuberías y aspersores vistos, se espera que las plantas cubran el hormigón en su totalidad. Diseñado por la empresa franco-brasileira Triptyque.

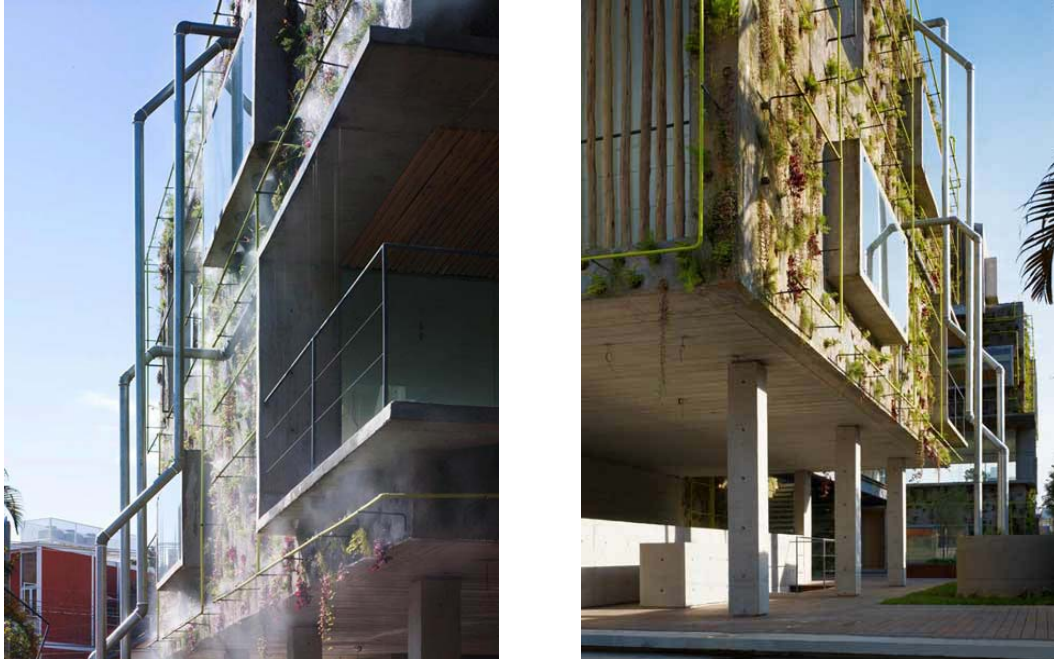


Figura 69: Edificio de oficinas en la zona oeste de Sao Paulo. Por Triptyque. Fuente: www.urbanarbolismo.es

Sistema Elt. Elevated Landscape Technologies

Elt es un sistema modular fabricado de HDPE 100% reciclado de paneles de de 20"x20"x2.5" que contienen listones que sostienen el sustrato y las plantas

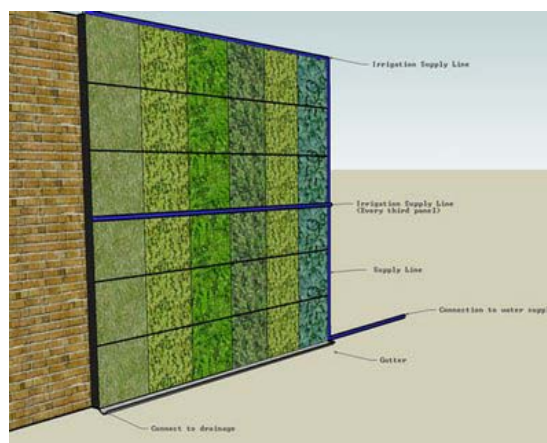


Figura 70: Sistema Elt. Fuente: www.urbanarbolismo.es

3. ESTUDIO DE SUSTENTABILIDAD EN FACHADAS DE EDIFICIOS DE MADRID

3.1 Edificios con fachadas diseñadas con estrategias pasivas

3.1.1. Edificio de oficinas en la M-30 (Calle Ramírez de Arellano 37) Madrid. Ciudad Lineal. 2002-2006



Figura 71: Vista Nordeste. Fuente: Inmobiliaria Colonial S.A.

Ficha técnica

Cliente: Inmobiliaria Colonial S.A.

Superficie Construida: 11.000 m²

Autores de Proyecto: Jerónimo Junquera, Liliana Obal

Director de Proyecto: Juan M. Palacios

Fecha de Proyecto: 2002 - 2004

Fecha de Obra: 2005 - 2006

Aparejadores: María Vallier, Ángel Luis González

Estructuras: OTEP Internacional

Instalaciones: Úrculo Ingenieros Consultores

Estudios de Sostenibilidad: IDS Ingenieros

Asesor Iluminación Exterior: Ignacio Valero

Contratista: OHL

Fotografía: Juan Llamazares, Elaine Garrido Vázquez

3.1.1.1. Descripción

La confluencia de la carretera de circunvalación M-30 con la Avenida de América, donde comienza la Carretera Nacional II, forma un entorno arquitectónico consolidado de actuaciones basadas en el vidrio como material de fachada. Allí, edificios como el peculiar montaje de volúmenes de la calle Albacete 5, realizado por Aydin Guvan, Michele Andrault y Alain Capieu, o el triangular prisma de oficinas diseñado por Ramón Abarretegui Rodríguez, tras el edificio que nos ocupa, han creado una zona empresarial de relevancia dada su proximidad tanto del Aeropuerto de Barajas como del centro de la capital. Sin embargo, ante tantos tonos oscuros de las fachadas de su entorno, el edificio propuesto por Junquera y Obal retiene la imagen de la edificación preliminar creando una visión nueva, dinámica y clara, con vocación de punto representativo.



© copyright by JAVIER AZURMENDI. fotografía de arquitectura. teléfono: 91 5748065

Figura 72: Vistas desde el interior. Fuente: Inmobiliaria Colonial S.A.

El edificio está compuesto por nueve plantas sobre el terreno, donde se ha incidido en la creación de espacios diáfanos de gran funcionalidad, respetando la idea original de que el edificio albergara una sede corporativa.

Dadas sus dimensiones y este vacío de divisiones interiores, se puede hablar de un bloque totalmente exterior, permeable; un filtro que no intercede en la visión de la zona gracias a una composición amable entre materiales y cromaticidad nívea de la fachada, intensa desde la cercanía y transparente desde lugares remotos.

La construcción ha respetado prácticamente la totalidad de la estructura del edificio original, en el que Inmobiliaria Colonial, promotora del proyecto, decidió invertir para adecuarlo a las nuevas exigencias empresariales tras su uso por parte de una empresa aseguradora, al igual que hiciera con la antigua sede de Philips, muy cerca del edificio de Junquera. Con este lavado

de cara, el edificio de 25 metros de altura genera un oasis entre su fachada y el entorno, que hace proteger a sus inquilinos del intenso tráfico del punto en el que se encuentra, reduciendo así también la incidencia del ruido sobre el interior y facilitando su atenuación mediante una fachada económica.

Sus plantas sobre rasante se estructuran de manera simple, donde tres líneas horizontales de pilares permiten la creación de esa imagen interior limpia de cada estrato. Las representativas fachadas norte, este y sur serán las que muestren al exterior la estética acordeónica transmitida, mientras que la fachada oeste esconde, fuera ya de la percepción de las dos vías de tráfico que recorren su perímetro, un núcleo saliente incorporado al volumen, compuesto por la zona de desplazamiento vertical, los aseos de cada planta y algunos espacios adicionales para instalaciones.

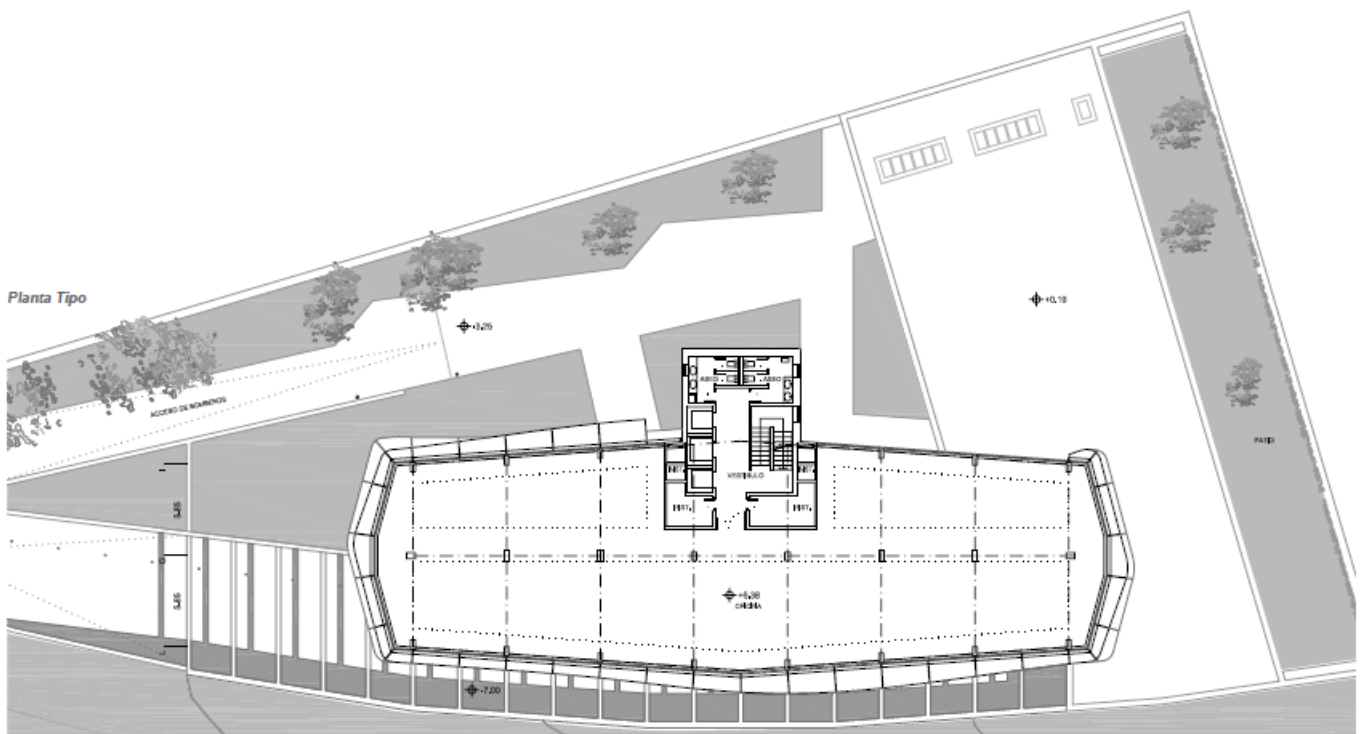


Figura 73: Plano de planta tipo. Fuente: Revista Promateriales: Edificio de Oficinas en Madrid

Su posición proporciona un mirador hacia el perfil de la ciudad que marca el corte de la carretera M-30, mientras que de un lado y otro las vistas obedecen a la carretera hacia el Henares, al norte, y la ciudad y sus grandes referentes arquitectónicos cercanos, como el Hotel Puerta de América o las Torres Blancas, al sur. Por lo tanto, la idea original debía potenciar esa “condición de mirador privilegiado”, según revela la memoria, teniendo sobre todo en cuenta

la incidencia de ruido y luz, y aportando una estética escultórica capaz de representar a su futuro inquilino, hoy una empresa de energía eólica Gamesa, por lo que la condición de sostenibilidad y ahorro energético sobre la que se ha trabajado está muy ligada entre residencia y habitante.

La orografía del terreno, dominada por un hundimiento central respecto a las vías que lo cercan, sugirió la incorporación de la entrada del edificio en planta bajo rasante tanto para vehículos como para peatones, liberando de ese espacio a las plantas de oficinas que hubieran limitado la superficie útil y, por tanto, provocado la necesidad de aumentar el espacio edificado. El acceso subterráneo ha permitido además que la planta base, la única sobre el terreno no protegida por las lamas de GRC, sea abierta al jardín dotándola de una gran calidad ambiental.

Esta peculiar planta se aísla del ruido y las vistas del entorno agresivo mediante la voluptuosidad del terreno contiguo, por lo que no hace necesaria la asistencia de los aleros en su exterior.

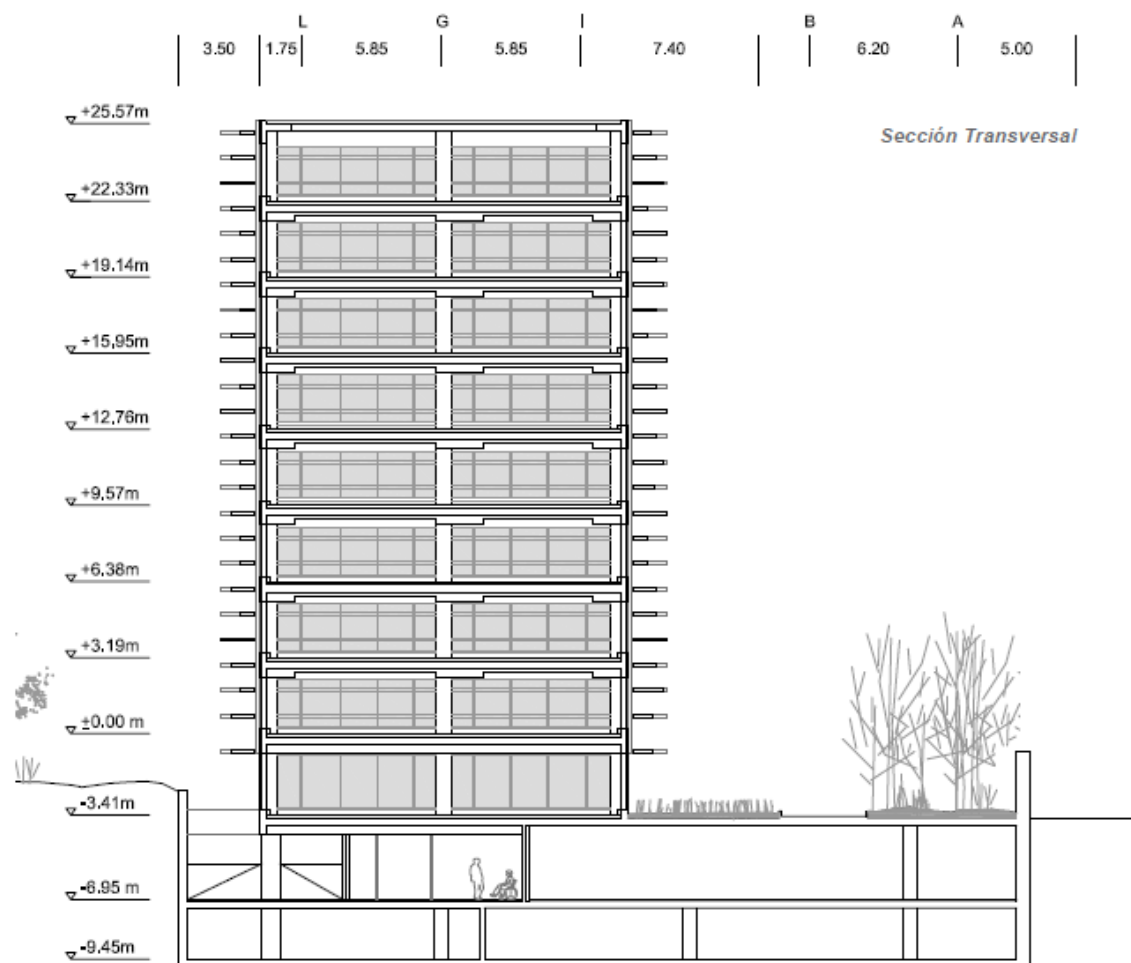
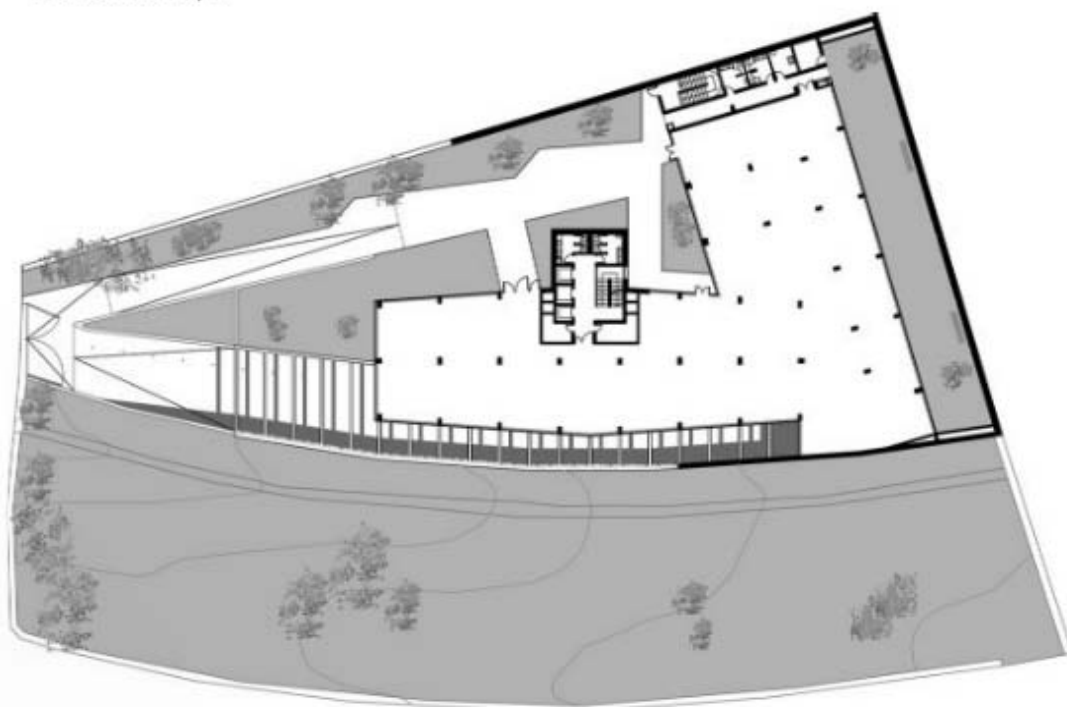


Figura 74: Sección transversal. Fuente: Revista Promateriales: Edificio de Oficinas en Madrid

Planta nivel -3,41



Planta nivel -6,95

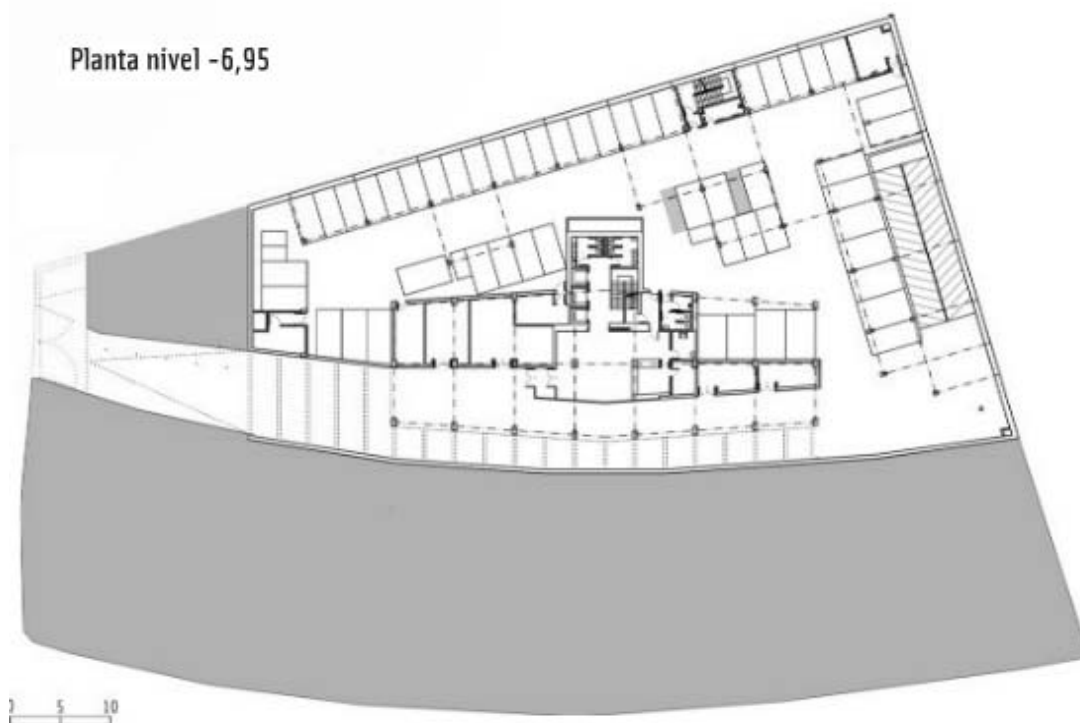


Figura 75: Planos de planta baja y planta sótano. Fuente: Revista Promateriales: Edificio de Oficinas en Madrid

3.1.1.2. Acústica e Iluminación

El intenso caudal de vehículos que transitan por el nudo automovilístico de grandes vías debía limitarse mediante la fachada, conformando una auténtica barrera sonora, que no cegara el interior de la luz del día y que, sin embargo, sí actuara de filtro ante la posición del edificio y la incidencia solar. Además, un condicionante era el aspecto económico de la fachada, protagonista del volumen, que “utilizando medidas pasivas, con materiales no sofisticados, de costo razonable y, sobre todo, que no reclamen una gestión compleja y costosa”, debían contener ambos agentes atacantes, lo que ocasionó finalmente que los arquitectos responsables del proyecto apostasen por buscar soluciones sostenibles y económicas avanzadas para la construcción.

Los condicionantes presentados para la obra eran, por lo tanto, dos: el ruido extremo por el denso tráfico de vehículos durante todo el día, por un lado, y las horas de radiación lumínica y la excesiva carga de radiación solar dada su posición, ya que mira hacia el este, por el otro.

La llegada de ambos incidentes hasta el vidrio de la fachada debía limitarse pues, aunque dicho material conforma una gran barrera, las excesivas cantidades tanto de ruido como de radiación hubieran sido insalvables, no cumpliendo además la normativa. Para mitigarlos, se eligió un elemento arquitectónico tradicional capaz de paliar la radiación y que, posteriormente, se consideró también beneficioso en la matización acústica. Este alero fue dimensionado para que en verano, otoño y primavera la radiación solar no llegue a la fachada sin ser limitado por su vuelo, mientras que en invierno, por la posición más baja del astro y por tanto paralela a estas piezas, se permita en cierta manera la llegada de la radiación hasta el interior para ayudar a atemperar las estancias.

Según la memoria de la obra, gracias al “trabajo conjunto entre ingenierías de instalaciones, de iluminación, de acústica y utilizando modelos virtuales, se llegó a un dimensionado equilibrado de una secuencia de aleros horizontales estratégicamente situados para conseguir domesticar las agresiones exteriores, manteniendo la visión desde el interior del espectacular horizonte que ofrece la singular posición de este edificio”.

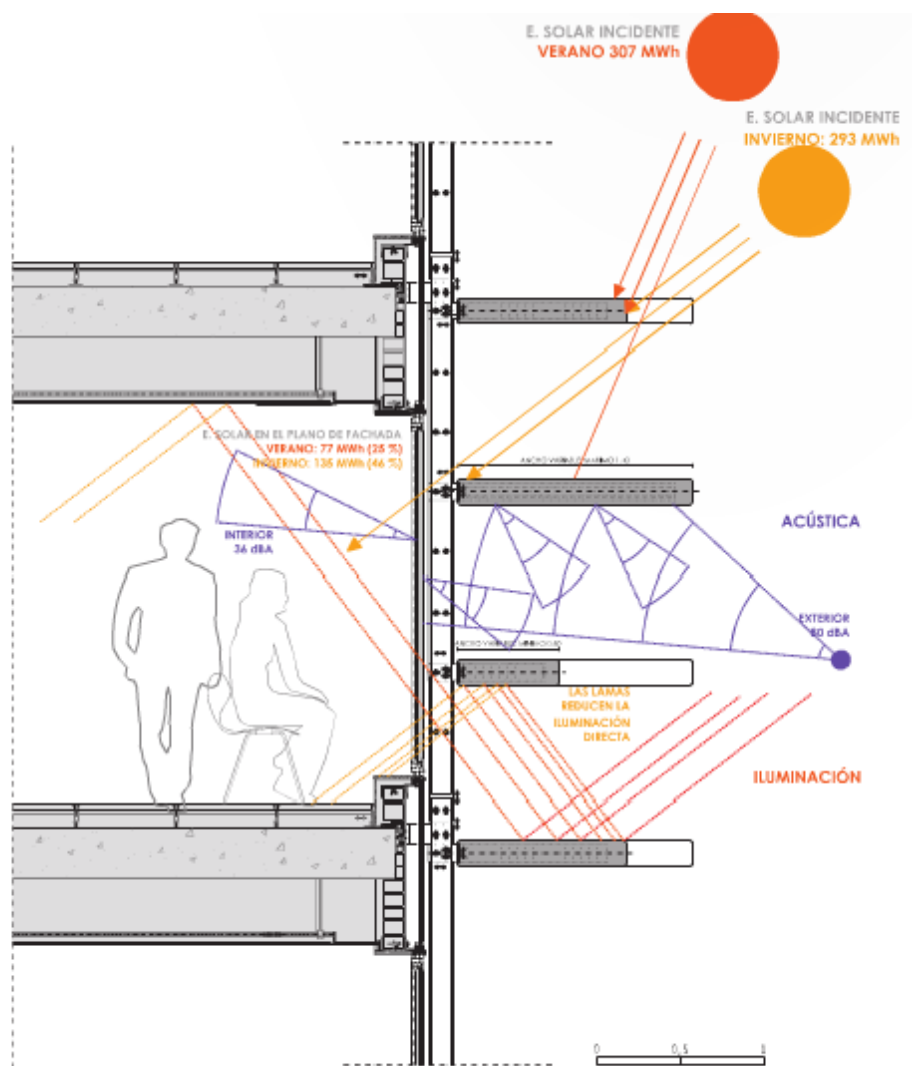


Figura 76: Sección de fachada sur. Comportamiento energético y acústico. Fuente: Revista Promateriales: Edificio de Oficinas en Madrid

3.1.1.3. Materiales

La fachada, elemento más representativo del edificio, se ha compuesto mediante una piel de vidrio Neutralux, formado por luna exterior de 6 mm., cámara de 12 y luna interior 4+4 Acustex, con lámina acústica L9, sobre una carpintería de aluminio sencilla Schüco R-65 sobre la que se superponen una secuencia de lamas horizontales de GRC, sujetas por medio de una estructura oculta de acero zincado. El reducido coste de la fachada, uno de los principales objetivos, fue finalmente de 707 euros por metro cuadrado, conformando además una epidermis de reducidos gastos de mantenimiento interior que no requiere de sistemas mecánicos complejos. El tamaño de las plantas, de 520 m² útiles, hacía que la repercusión del

coste de la fachada fuera fundamental sobre el precio de construcción, explotación y mantenimiento.

Respecto al material de los aleros, se investigó sobre una masa que permitiera la elaboración de piezas cuyo tamaño mantuviese la idea estética de la fachada desde la lejanía. Además, el tamaño deseado de las piezas y su posición en extensión desde la fachada requería un material ligero y resistente. El prefabricado de hormigón se presentó como opción idónea, dada la dificultad de fabricación de variedad de piezas diferentes en otros materiales, aunque su peso forzó la selección de un sustituto derivado más ligero, que finalmente dio como solución el GRC.

Este material, cuya versión final seleccionada fusiona hormigón blanco con hidrofugante en masa y coloración posterior en obra, es un material compuesto consistente en cemento Pórtland y arena, reforzado con fibra de vidrio alcalino resistente, cuya cantidad varía dependiendo de la aplicación del producto, así como el método de producción empleado. Las propiedades finales que aporta el material a la obra son reflexión de la luz y el sonido con su consiguiente atenuación, ligereza, facilidad de montaje y economía de la fachada, y estética particular mediante la elaboración de 826 piezas singulares de 250 modelos diferentes de entre 60 y 140 centímetros de anchura (33 por banda), gracias a que el GRC puede ser moldeado para los requisitos particulares de cada aplicación. Cada planta dispone de tres láminas separadas cada 1,063 metros.



Figuras 76 y 77: Aleros en construcción y fachada terminada. Fuente: Revista Promateriales: Edificio de Oficinas en Madrid y Foto Elaine Garrido

D-1

CARA SUPERIOR
CASA INFERIOR
D-1

D-2

CASA SUPERIOR
CASA INFERIOR
CASQUILLO M-14 INCORPORADO AL GRC

D-3

CARA SUPERIOR
CASA INFERIOR
REFUERZO # 3

LAMA-65

ALZADO CARA INTERIOR

PLANTA CARA INTERIOR (TRASDOS)

ALZADO CARA EXTERIOR

NOTAS:-
• CHAPLANES E
• DIMENSIONES EN mm
▲ ZONA ACABADO
△ ZONA ACABADO

Detalle de las lamas. Alzado lateral tipo.

Detalle de las lamas. Alzado de la cara exterior.

119

3.1.1.4. Comportamiento

La fachada presenta una reducción media del 62% de la radiación solar incidente, 75% en verano (de 307 MWh en exterior a 77 en interior) y 54% en invierno (de 293 a 135 MWh). La atenuación y reflexión mediante las lamas de GRC de la iluminación natural, y su diferente actuación durante las distintas épocas del año, suponen ahorros para el edificio entorno a 108.369 KWh de consumo eléctrico neto, y evita la emisión de 40 toneladas de CO₂ a la atmósfera.

En cuanto a la atenuación acústica, el choque del ruido contra los aleros y su posterior enfrentamiento al vidrio de la fachada consigue una reducción de 80 dBA, en el exterior debido al tráfico, a 36 dBA en el interior de las oficinas, cumpliendo ampliamente los objetivos de la normativa en cuanto a ruido. De noche, el edificio alcanza la distinción mediante una iluminación exterior inversa a la iluminación diurna, con focos cuya disposición obliga a las lamas de GRC a arrojar sombra unas sobre las otras, destacando su movimiento, sus formas y su disposición. La tonalidad azulada seleccionada para la estética nocturna se percibe como un acopio durante el día por parte del edificio del color del cielo, que mantiene posteriormente durante la noche añorando la gama cromática del firmamento.



Figura 80: Fachada iluminada por la noche. Fuente: Revista Promateriales: Edificio de Oficinas en Madrid

**3.1.2. 88 Viviendas de promoción pública en la calle los Clarinetes 9-21
Madrid .Carabanchel 2005-2007**

Ficha técnica
Autores: Foreign Office Architects: Farshid Moussavi. Arquitecta Alejandro Zaera Polo. Arquitecto Colaboradores: David Casino. Arquitecto. Dirección de Obra y Proyecto de Ejecución Leo Gallegos. Arquitecto. Proyecto de Ejecución Joaquim Rigau. Arquitecto. Proyecto de Ejecución Caroline Markus. Arquitecta. Proyecto de Ejecución Nerea Calvillo. Arquitecta. Proyecto Básico Alfonso Cuenca Álvarez. Arquitecto Técnico Proyecto de Estructuras y Arquitectura S.L.: Jesús Hierro. Arquitecto. Estructuras ASETECNIC. Instalaciones Promotor: Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo S.A. del Ayuntamiento de Madrid Empresas Constructoras: ACCIONA Fotografía Alejandro García González Elaine Garrido Vázquez



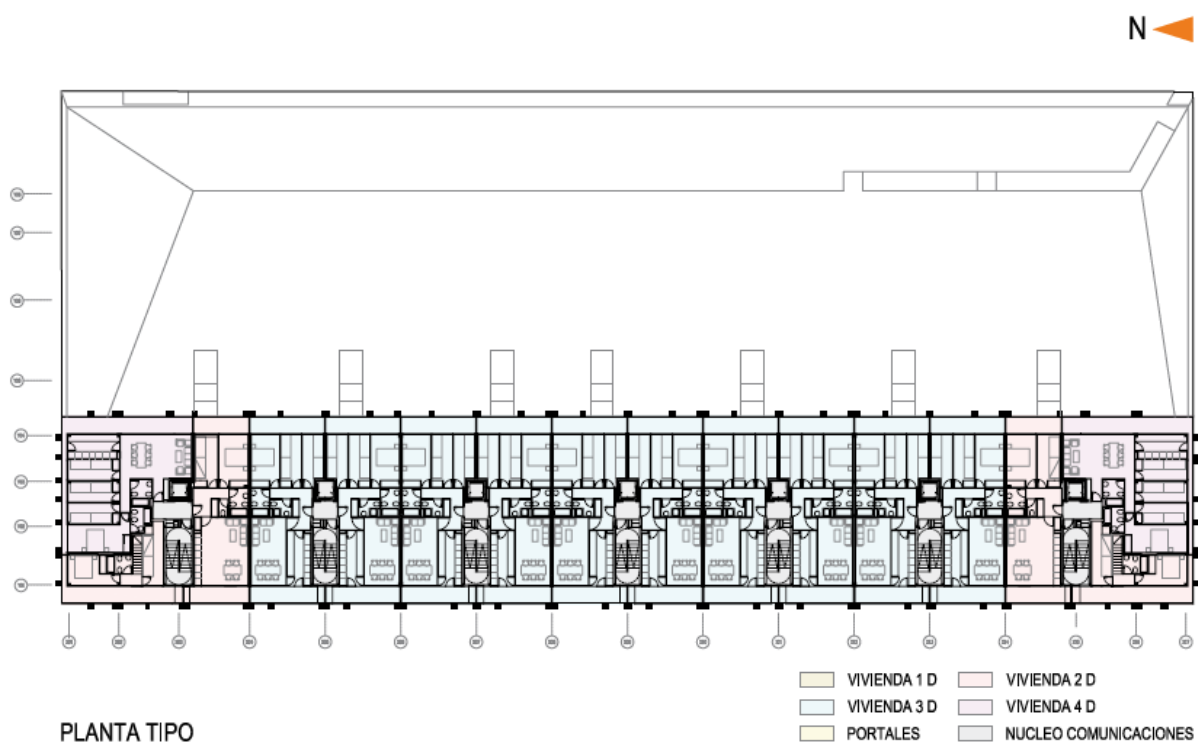
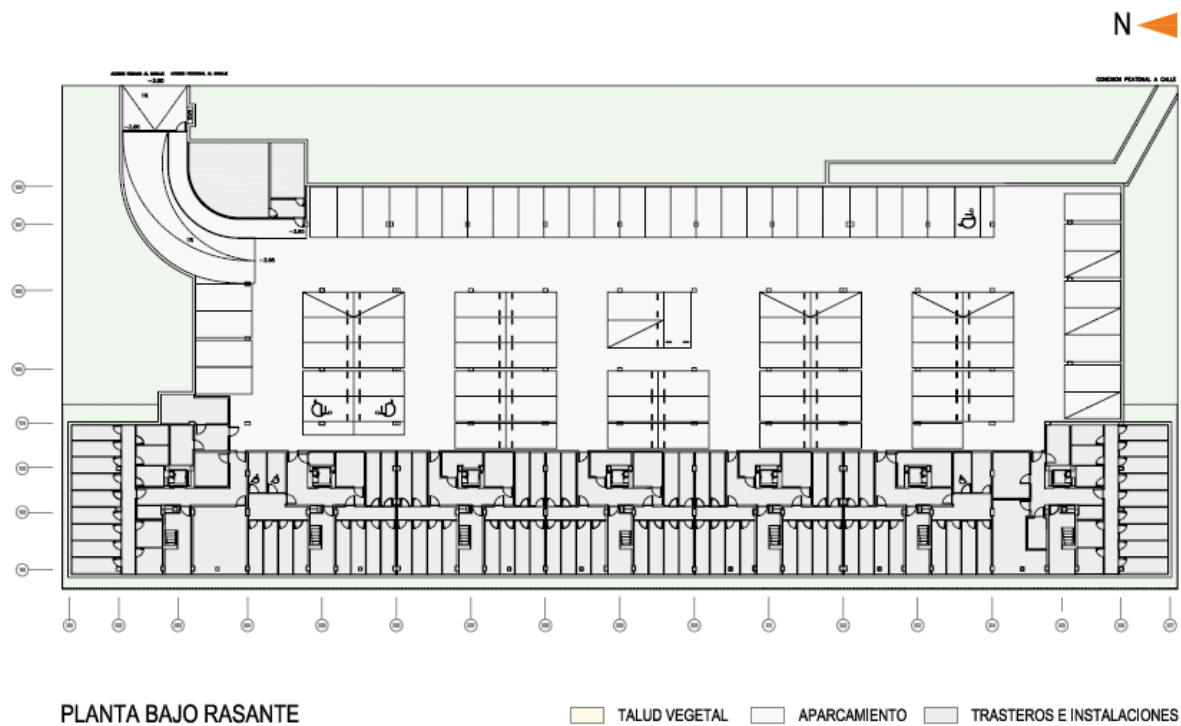
Figura 81: Fachada de bambú. Fuente: Foto Elaine Garrido

3.1.2.1. Relación con el entorno

El edificio consiste en un único bloque edificado, de 98 metros de longitud por 16.40 metros de profundidad y con una altura de 19.20 metros; que alberga un programa residencial de 88 viviendas distribuidas en cinco plantas residenciales más planta baja. La edificación ocupa el 38.31% de la parcela, liberando el resto de su superficie para espacios libres comunes que se dedicarán a zonas de juegos y vegetación. Así, todas las viviendas tendrán una doble orientación Este-Oeste hacia dos zonas verdes de distinta configuración.

3.1.2.2. Estructura y circulaciones

Con el objeto de alcanzar la máxima optimización del edificio con el entorno y con el programa residencial requerido, el esquema del edificio se estructura en siete núcleos de circulación vertical que sirven a dos viviendas en cada planta y a tres viviendas en las esquinas Norte y Sur del edificio. El esquema estructural de forjados de hormigón y pilares metálicos plantea unas crujeas de 6.60 metros en la orientación Este y Oeste y de 4 y 5.10 metros en las caras Norte y Sur, que responde perfectamente a la escala de vivienda de la que es objeto este proyecto.



Figuras 82 y 83: Planos de planta. Fuente: Revista INNOTECH Vol. 1, Eficiencia Energética

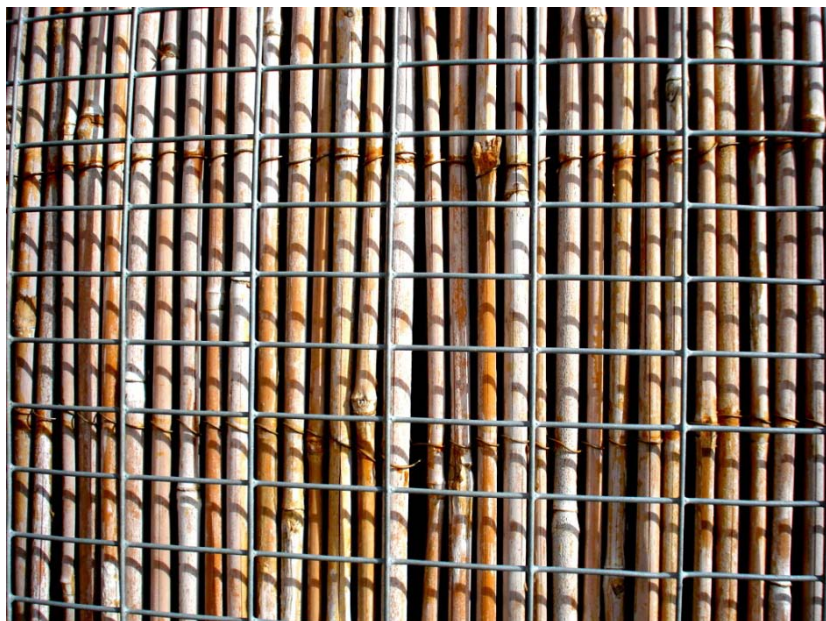
3.1.2.3. Fachadas y terrazas perimetrales

La piel que conforma el cierre físico y climático de las viviendas está constituida por una carpintería corredera enteramente vidriada en todo su perímetro y paneles de aluminio. En el exterior, cada una de las viviendas posee amplias terrazas de 1.50 m en las fachadas Este y Oeste, y balcones de 45 cm en caras Norte y Sur.

A efectos de protección solar y visual, el edificio se envuelve con una piel formada por una celosía continua con un sistema de apertura en acordeón. Esta segunda fachada establece el cierre de las terrazas exteriores y proporciona el control de las vistas y de los rayos de sol a cada uno de los usuarios de las viviendas. A su vez, dota al edificio de un colchón térmico, acústico y visual que lo protege, en invierno, de la lluvia y el viento, y en verano, de las altas temperaturas de Madrid, otorgando una imagen y un carácter unitario al volumen.



Figura 84: Protecciones solares de bambú. Fuente: Revista INNOTECH Vol. 1, Eficiencia Energética



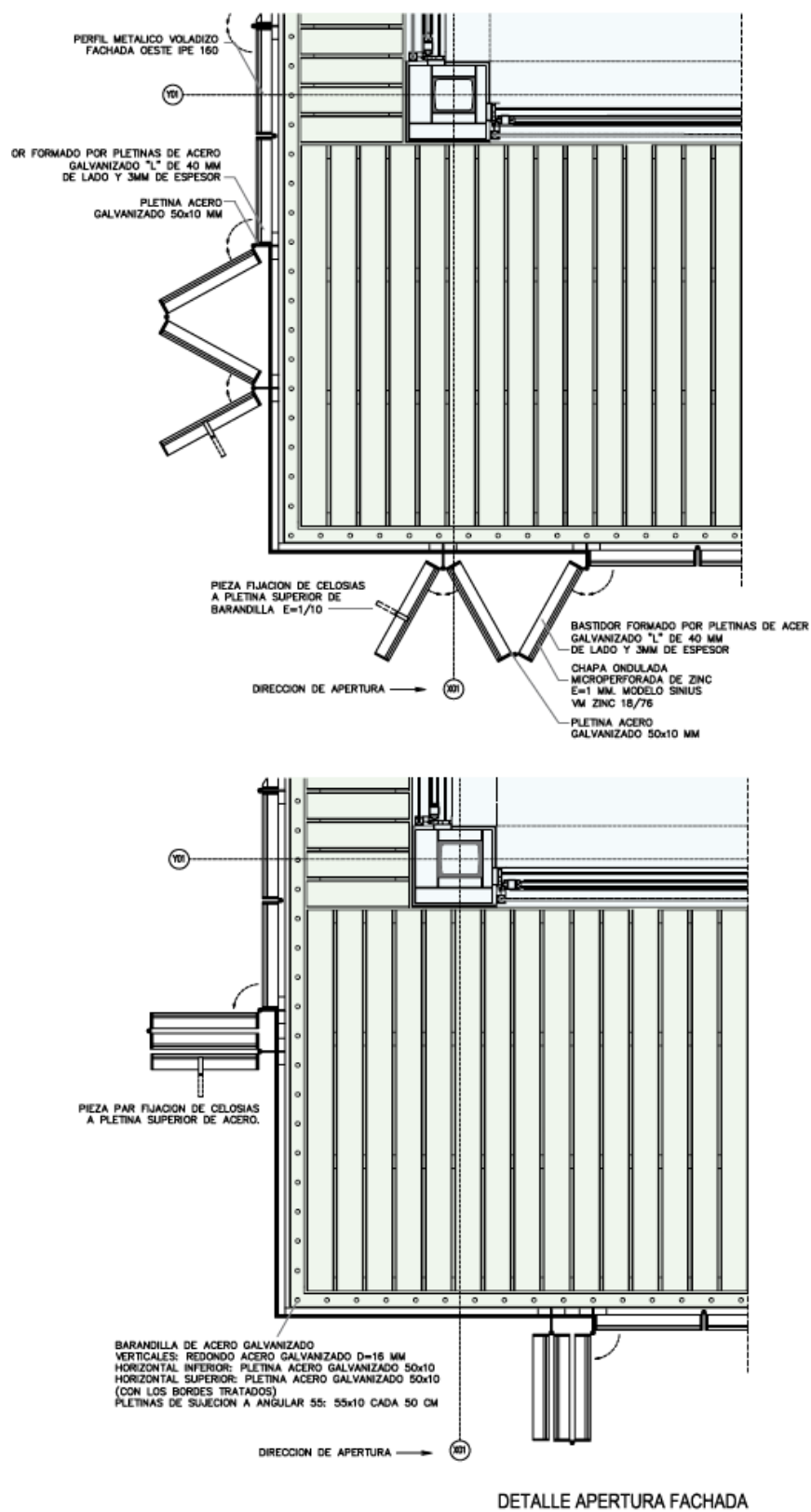


Figura 85. Fuente: Revista INNOTECH Vol. 1, Eficiencia Energética

3.1.2.4. Basamento y accesos

El volumen se sitúa sobre un basamento con una altura máxima de 5 metros sobre la rasante, en la esquina noreste de la parcela, que contiene el programa de aparcamiento, trasteros e instalaciones del edificio. Esta planta situada bajo el edificio ocupa el 71.09% de la parcela y permite incluir un total de 92 plazas de aparcamiento y 88 trasteros.

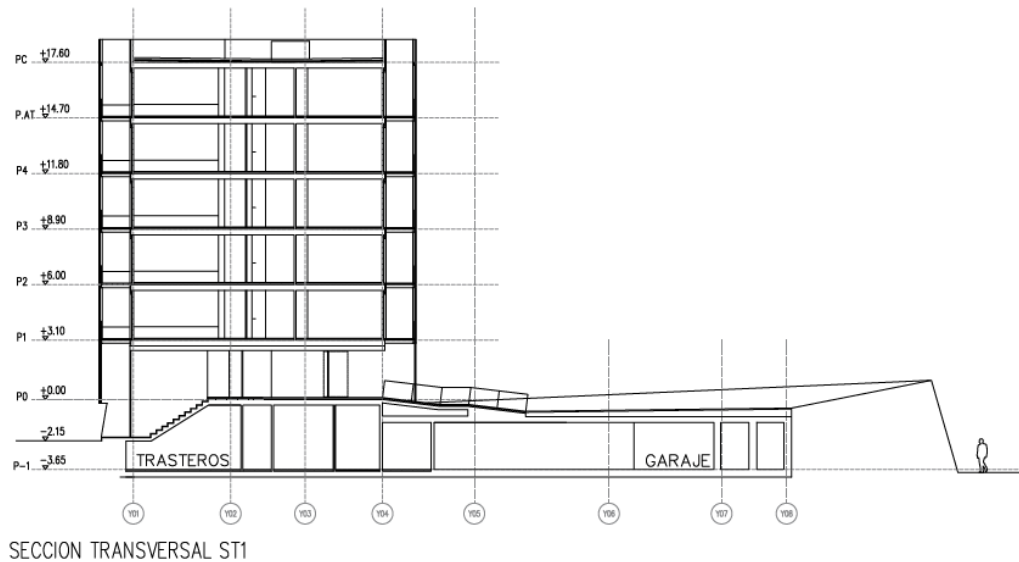


Figura 86: Sección transversal. Fuente: Revista INNOTECH Vol. 1, Eficiencia Energética

Las fachadas del basamento se realizan con muro ecológico y plantación vegetal, que proporciona al proyecto la imagen de un edificio de cañas de bambú apoyado sobre un terreno natural moldeado. La cubierta de este zócalo actúa como la plaza-jardín de las viviendas; con áreas ajardinadas en sus bordes y una superficie de pavimento terroso dedicada a juegos y paseos de sus habitantes.

Los accesos al edificio se concentran en la fachada oeste, con siete portales que comunican la calle Clarinetes y la plaza-jardín; y en la zona este, con el acceso al aparcamiento y una rampa peatonal que sirve de conexión entre el edificio y la calle de las Tubas.

3.2 Edificios de fachadas fotovoltaicas

3.2.1. Edificio de servicios sociales y de mayores José Villareal (Calle Guillermo de Osma 14)

Madrid. Arganzuela 2005-2007

Ficha técnica

Proyecto:

Carmen Gil Torres. Arquitecta

Dirección facultativa:

Carmen Gil Torres. Arquitecta

M^a Ángeles Mingot. Arquitecta Técnica

Colaboradores:

GDL asistencia técnica dirección de obra

Tresi ingeniería de instalaciones

Wagner, instalación fotovoltaica

Promotor :

Ayuntamiento de Madrid

Fotografía:

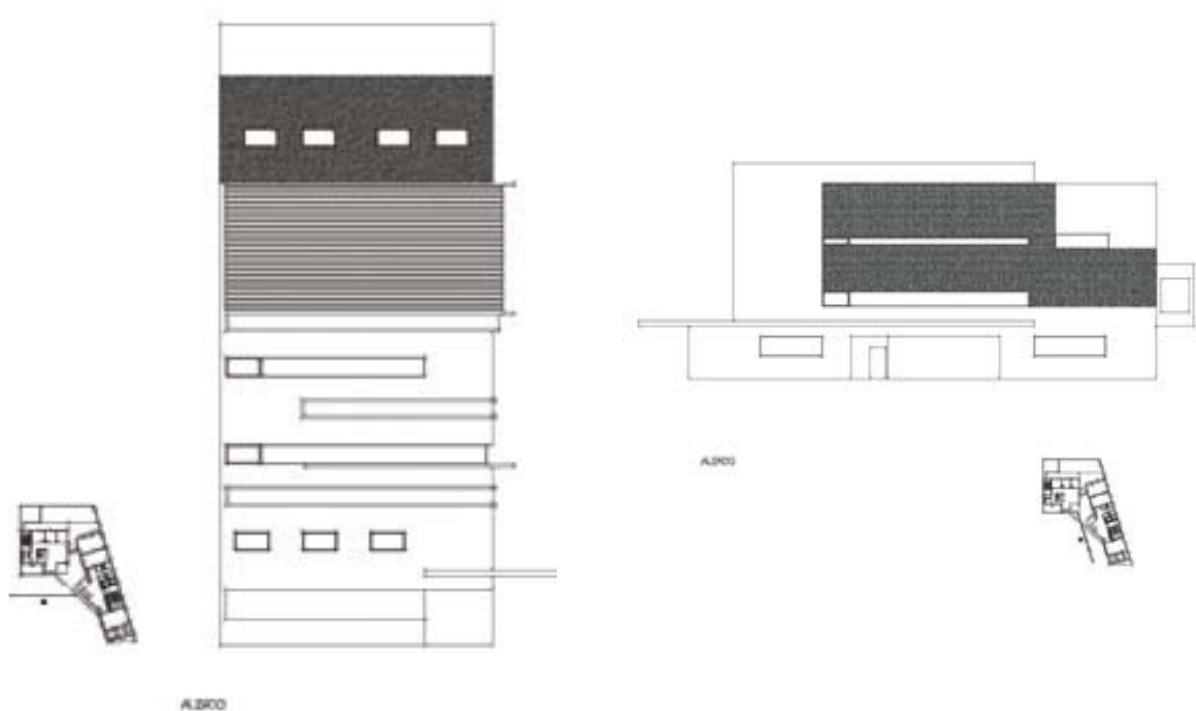
Elaine Garrido Vázquez



3.2.1.1. Relación con el entorno

El centro de día se sitúa cerca del cruce de dos grandes vías, el Paseo de las Delicias y la Calle de Embajadores, aunque su ubicación está casi escondida. Junto a la plaza que lleva el mismo nombre, José de Villarreal, el propio edificio configura una de las esquinas del espacio, en una singular estrategia que compone la manzana: el edificio queda a su vez rodeado perimetralmente, completando la manzana de cara a las calles exteriores, mediante elementos residenciales. En el centro de la plaza, la Parroquia de la Beata María Ana de Jesús, es el principal elemento en torno al cual se desarrolla el envoltorio de edificaciones, separado de estas por una vía de tráfico restringido, entre las que se encuentra en primera instancia, el Centro público. El solar sobre el que se construye es de forma trapezoidal, medianera en tres de sus lados, con parcelas de uso residencial, presentando fachada en línea quebrada al espacio público y a la plaza.

Junto con la propia configuración geométrica de la parcela, los usos de este edificio público resultan fundamentales para comprender la decisión de realizar los dos volúmenes en que se divide, con usos diferentes, así como la posición de los mismos.



Figuras 88 y 89: Detalle alzados. Fuente: Revista Promateriales

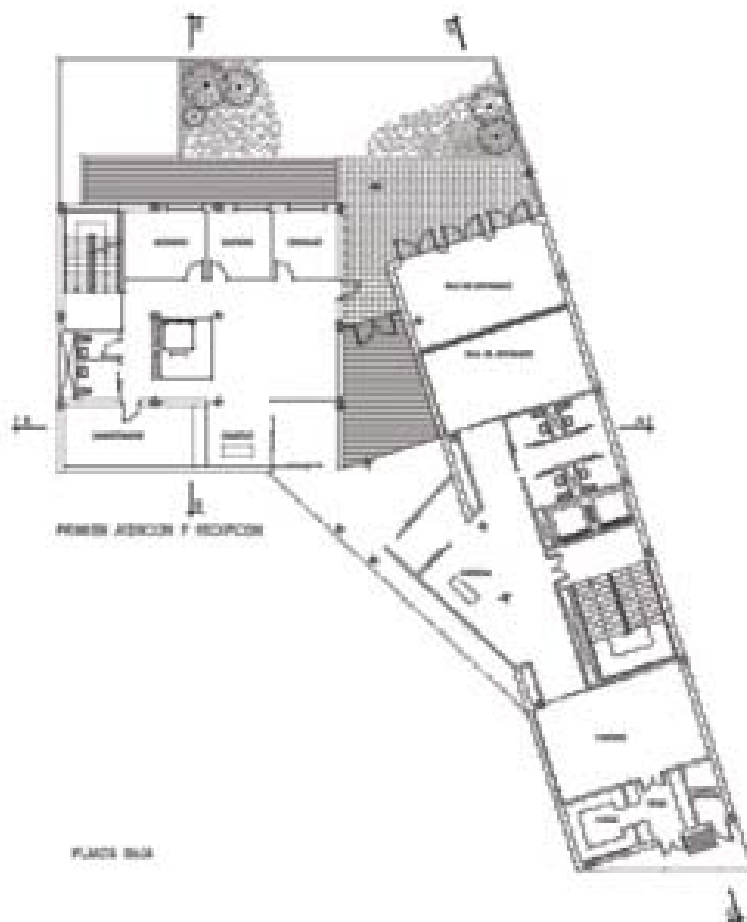


Figura 89: Detalle Planta baja. Fuente: Revista Promateriales

La configuración espacial, por tanto, dependerá además de sus usuarios:

De un lado, el módulo más alto, posicionado a la izquierda en el solar y adosado al edificio residencial colindante -con medianera en toda su altura-, se destina a Centro de Servicios Sociales, dedicado a la atención y ayuda al ciudadano dentro de su zona de influencia, en el distrito de Arganzuela. En él se realizan tareas de información, orientación y asesoramiento sobre derechos y recursos sociales, tramitación y gestión de servicios sociales municipales (ayuda a domicilio, teleasistencia, centro de día municipal, piso tutelado, etc.), gestión y tramitación de servicios y prestaciones de la Comunidad de Madrid (residencias de mayores, discapacitados, mujer, menores...), etc. Para estos usos se programan despachos y salas de espera o reunión.

Su distribución se resuelve mediante la posición perimetral de los espacios respecto al núcleo de transporte vertical, donde se ubica el elevador, que cumple una doble función: la básica, de

transporte, y una adicional de iluminación natural, gracias a la realización interior de un ascensor panorámico con foso de paredes de vidrio, que hace posible incorporar luz cenital a todas las plantas del edificio. Separada queda la zona de escaleras, que se dispone en una de las esquinas del cuadrilátero. En este volumen, las plantas mantienen una configuración similar de despachos con la salvedad de la planta quinta, destinada en parte a biblioteca y a espacio abierto, por lo que el espacio en dicho nivel es diáfano, sin particiones interiores, y por último el ático, también diáfano.



Figura 90: Alzado de los dos volúmenes que componen el edificio. Fuente: Revista Promateriales

Del otro lado, un volumen más alargado y de menor número de plantas se destina a Centro de Día, en el que las personas mayores del barrio, con disminuciones físicas o problemas derivados de enfermedades como el alzhéimer, pueden disponer de un centro de actividades donde pasar el día. Aquí se imponen las salas de estar, de actividades, los recorridos y las zonas de paso como área de paseo. Su altura menor responde a una necesidad de evitar, en la medida de lo posible, los desplazamientos en altura de estas personas con dificultades físicas.

Este volumen, que no contacta con los residenciales cercanos, se desarrolla en forma de pastilla, con el núcleo de comunicaciones en el punto medio de la planta, procurando la sencillez compositiva a fin de una mejor comprensión del espacio por los mayores que lo utilizarán. En cuanto a usos, dispone en la planta baja de los servicios más necesarios y con mayor afluencia, comedor (con cocinas anexas) y salas de actividades. Desde esta planta, además, se hace accesible la parte de la parcela no ocupada por los dos módulos, un patio trasero al aire libre. Las dos siguientes plantas cuentan con despachos y salas de otros usos, como la de rehabilitación. Por último, la planta de cubierta permite la instalación de la maquinaria del edificio y una zona libre abierta en el ático.

3.2.1.2. Estructura

Su estructura se configura mediante un sótano y una planta baja que unifican el complejo. Sobre ésta, descansa una lámina a modo de marquesina, que con 20 centímetros de canto recorre todo el perímetro exterior hacia la plaza, configurando la unión visual del conjunto. Mientras, a partir de las alturas superiores, se desarrollan los dos módulos de forma independiente. El bloque izquierdo cuenta con siete plantas más cubierta, mientras que el derecho, más limitado, tiene sólo cuatro plantas más la cubierta –en este cálculo se cuenta la planta baja para ambos módulos-. El edificio se resuelve con losas macizas de hormigón armado de canto variable mínimo de 28 centímetros, que ayudan a resolver los grandes voladizos del módulo de más altura. También se han empleado pilares apantallados de hormigón armado sin núcleos de rigidización horizontal.

Para la cimentación se han empleado pantallas también de hormigón armado, resolviendo la presencia del nivel freático a una cota superior a la del sótano.

3.2.1.3. Fachada: estrategia y luz

El Centro, encargado por la Concejalía de Servicios Sociales del Ayuntamiento de la Capital, consigue con la división en dos módulos independientes, mayor superficie de fachada y, por tanto, mayor espacio para huecos, iluminación y ventilación. El proyecto propiedad del Ayuntamiento de Madrid, asume en su diseño la responsabilidad que tiene la Administración de realizar edificios de calidad y de carácter ecológico, con este ejemplo de construcción sostenible, dotando a la ciudad de un edificio representativo tanto en arquitectura como en ahorro de recursos.

La posición de los módulos de forma independiente consigue una mayor superficie de fachada, que en este caso añade un uso adicional al tradicional. Además de envolver los edificios,

unificando el aspecto del conjunto, los materiales empleados recogen la necesidad de generar energía limpia para la ciudad. Si bien es necesaria la implantación de elementos colectores de energía solar, la estrategia en esta arquitectura utiliza como recurso la propia demanda, sustituyendo fachada por captador -o utilizando captador como fachada-. Lejos de considerarse como un inconveniente estético, los paneles enriquecen el diseño y la funcionalidad de la piel, aportando mecanismos de producción de energías limpias y otras cualidades compositivas. Gracias a su formación, estos paneles son además capaces de controlar la incidencia del sol hacia las dependencias interiores, ayudados por una estudiada disposición de los huecos en la fachada.



Figura 91: Paneles solares en fachadas. Fuente: Foto de Elaine Garrido

Gracias a su fachada, el edificio no sólo cumple con los fines sociales derivados de su carácter de servicio público, sino que además produce de forma solidaria energía eléctrica gratuita, que se suma a la oferta eléctrica de la ciudad, por superar las demandas propias del funcionamiento del edificio, y con contaminación cero.

Finalmente, se defiende una calidad arquitectónica en la construcción de ciudad desde la propia Administración, animando a la construcción privada a la implantación de sistemas sostenibles de energía similares.

Además, la propia estructura del edificio procura introducir la mayor cantidad posible de luz natural. En el volumen más alto, para incrementar la iluminación del distribuidor interior, se diseñan unos huecos bajo el forjado, pero sobre el techo de los despachos, que conducen la luz oblicuamente al interior. El volumen dispuesto como Centro de Día, que debe ser más cálido, se orienta al Sur abriéndose mediante un muro cortina, donde las placas solares se utilizan de parasol, recibiendo y energía y dejaffndo pasar algunos rayos de sol al interior.



Figura 92: vista interior del edificio. Fuente: Revista Promateriales

**3.2.2. Centro de Investigación, Centro de día, y Residencia para enfermos de Alzheimer “Fundación Reina Sofía” (Calle Valderrebollo 5)
Madrid. Villa de Vallecas 2002-2006**

Ficha técnica
Proyecto: Carlos Lamela, Arquitecto Francisco Gutiérrez, Arquitecto Dirección facultativa: Carlos Lamela, Arquitecto Colaboradores: Paula Abadalejo Virginia Hernández Cristina Jorge Jose Luis Segura Javier Torrecilla Javier Muñiz Fabián González Isabel Ruiz Miguel Ángel Cordero Fernando Arias Promotor: Fundación Reina Sofía. Casa Real

El edificio de investigación del Proyecto Alzheimer tiene lamas fotovoltaicas en la estructura envolvente del edificio, aunando protección frente a la radiación solar y generación fotovoltaica en un claro ejemplo de integración arquitectónica y apuesta por las energías renovables, en una instalación ejecutada por Abasol Grupo.



Figura 93: Fachada fotovoltaica de la Fundación Reina Sofía. Fuente: Guía Integración Fotovoltaica comunidad de Madrid

El proyecto está auspiciado por la Fundación Reina Sofía, que aúna los esfuerzos de la Administración (local, autonómica y central), otros organismos, profesionales sanitarios especializados y asociaciones y patrocinadores. El proyecto Alzheimer intenta hacer frente a las consecuencias que la enfermedad de Alzheimer ocasiona tanto en quienes la padecen como en su entorno familiar.

Este centro, de referencia nacional, cuenta con una Residencia para enfermos en régimen de internado, un Centro de Día para atención ambulatoria y sendos Centros de Formación e Investigación.

El complejo se levanta sobre una parcela de 18.500 m², en el nuevo PAU de Vallecas. Todos los edificios del complejo se han proyectado y construido con los más elevados estándares de arquitectura bioclimática y utilización de energías renovables.



Figura 94: Complejo PAU de Vallecas. Fuente: Guía Integración Fotovoltaica comunidad de Madrid

En el edificio de investigación, con la mayor altura del conjunto y, por tanto, con un valor representativo considerable, se ha desarrollado una fachada con una segunda piel envolvente de lamas, en las fachadas sureste, suroeste y noroeste del edificio. Las lamas de las dos primeras, contienen células fotovoltaicas y la tercera, cuya orientación no es útil para la producción de energía, está formada por lamas con serigrafía de imitación de las células para mantener la homogeneidad del conjunto.

Los módulos fotovoltaicos constituirán las lamas de un sistema de protección ante la radiación solar, dispuesto en la fachada del edificio. Formando una segunda piel y separadas 80 cm de la fachada, se dispone una estructura de aluminio que soportará las lamas de vidrio.

Unos montantes verticales en perfil de aluminio, constituyen el soporte de las pinzas de fijación de las lamas, que se disponen con una inclinación de 60º y una separación de 45cm entre cada una de las 25 filas del conjunto.

Tanto los materiales de la estructura soporte en aluminio, como las lamas fotovoltaicas y ornamentales han sido suministradas por Schüco Internacional, en una fabricación especial para ésta aplicación.



Figura 95: Montantes verticales para la instalación de las lamas fotovoltaicas en el edificio del Proyecto Alzheimer. Fuente: Guía Integración Fotovoltaica comunidad de Madrid

El campo solar está formado por 400 lamas fotovoltaicas, en un montaje conocido como de tipo *glass-glass*, en el que las células solares se encapsulan entre dos láminas de cristal templado.

Las lamas tienen diferentes características tanto morfológicas como eléctricas, para adaptarse a las condiciones de la fachada. Así, tienen forma rectangular y trapezoidal y, en este ultimo caso, distintas formas, para poder formar adecuadamente las esquinas.

Las células solares se disponen en dos filas por lama, y en un número variable. Resulta así un conjunto de diferentes potencias pico 51,8 Wp, 39,8 Wp, y 43,8 Wp según las distintas configuraciones de las lamas. La potencia total de la fachada es de 19.920 Wp.

Con el objeto de minimizar el efecto del sombreado, que por la inclinación de 60º con la que se colocan las lamas en la fachada, se produciría en determinadas épocas del año, Abasol especificó que, en la fabricación se realizara la conexión eléctrica entre células formando una serie eléctrica independiente en cada una de las dos filas de la lama.

Con todo ello, resulta una configuración eléctrica de cierta complejidad, en la que la combinación de las diferentes orientaciones de lada una de las fachadas, el número variable de células en cada una de los tipos de lama y el potencial sombreado de la serie superior de cada

una de las lamas, dan lugar a un elevado número de ramas, con diferentes niveles de insolación y de corriente, que deben necesariamente llevarse a inversores de pequeño tamaño que permitan diferenciar cada una de las series.

La configuración de inversores que se propone, recoge las 19 ramas del sistema, en un conjunto formado por 2 unidades de 5 kW, 2 de 1,3 kW, una de 2,5 kW y otra de 1,8 kW, para un total de 19,9 kW nominales.

El sistema está monitorizado y muestra la potencia puntual de la instalación, la energía producida acumulada y las emisiones de CO₂ evitadas, que son de unas 10 toneladas anuales.

El coste de la inversión de la instalación de paneles fotovoltaicos fue de 226.532,19€.

El edificio fue inaugurado el 8 de marzo de 2007.

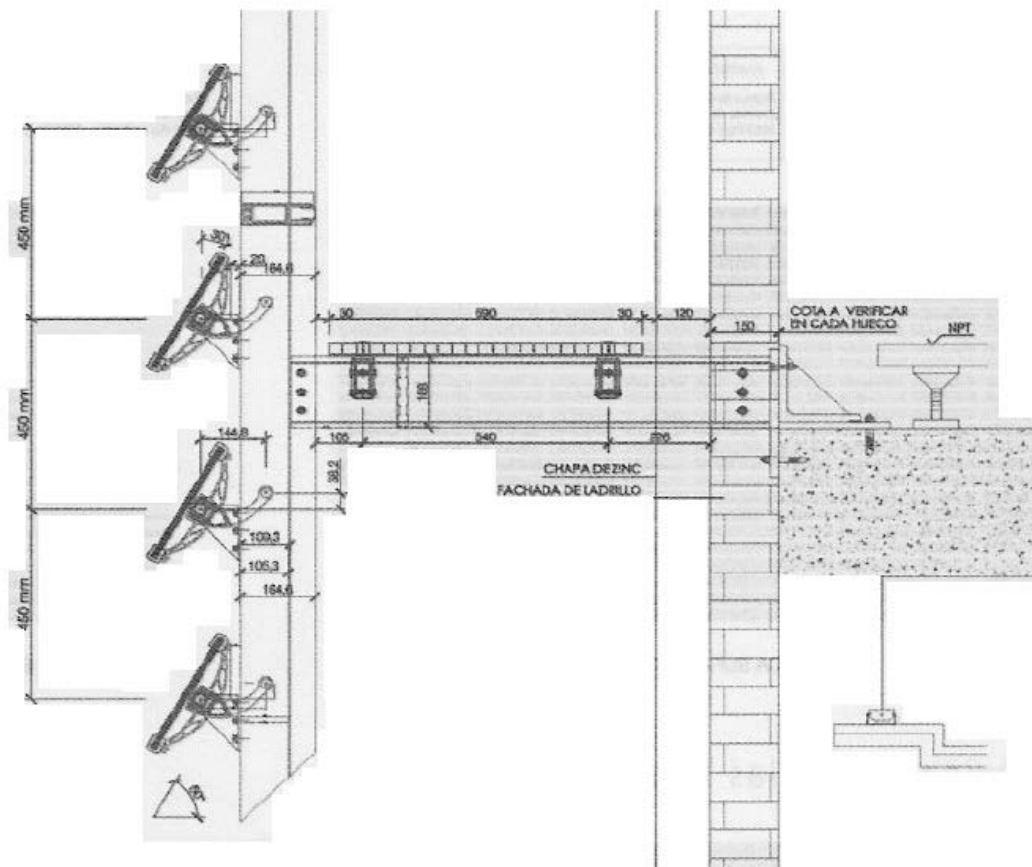


Figura 9: Detalle de sección transversal de fachada. Fuente: Guía Integración Fotovoltaica comunidad de Madrid

3.3 Edificios con fachadas ajardinadas

3.3.1. Jardín vertical en la sede Caixa Forum. (Paseo del Prado 36) Madrid. Centro 2007-2008

Ficha técnica
Proyecto: Patrick Blanc
Promotor: Fundación La Caixa
Fotografía: Cedidas estudio Patrick Blanc

Patrick Blanc, el prestigioso botánico francés ha popularizado en nuestro país los jardines verticales gracias a la instalación de un jardín vertical en el Caixa Forum de Madrid.



Figura 97: Vista de la rehabilitación y la fachada ajardinada del Caixa Forum. Fuente: Caixa Fórum

3.3.1.1. Relación con el entorno

El edificio está situado en la mitad sur del Paseo del Prado, enfrente del Real Jardín Botánico colindante con el Museo del Prado. Se encuentra en un lugar intermedio entre dos grandes museos de la zona, el Museo Thyssen-Bornemisza y el Museo Reina Sofía. La vecindad de tales museos ha conferido a este centro un notable éxito de público: un millón de visitantes en poco más de medio año de apertura. El acceso a las exposiciones inicialmente era gratuito, pero desde mayo de 2013 se cobra entrada a los no clientes de la entidad. En el interior, dedicado casi en su totalidad a las salas de exposición, también se encuentran una tienda-librería y una zona de descanso.

El Jardín vertical, un impresionante tapiz natural formado por 15.000 plantas de 250 especies que han transformado en un sorprendente jardín vertical una de las medianeras que delimitan el espacio urbano de Caixa Forum Madrid, la nueva sede de la Obra Social "la Caixa" en el Paseo del Prado.

Las plantas no necesitan tierra, sólo agua, minerales, luz y dióxido de carbono. A partir de tan sencillo axioma, Patrick Blanc construyó por primera vez un jardín vertical en 1988, concretamente en el museo de la Villette de París. Su invento está presente hoy en ciudades de todo el mundo: París, Bruselas, Nueva York, Osaka, Bangkok, Nueva Delhi y Génova, por citar algunas. El de CaixaForum Madrid no es solo el primero instalado en España, sino también el mayor que se ha implantado hasta la fecha en una fachada sin huecos, pues ocupa una superficie vegetal de 460 m². 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 tiempo.



Sin duda es un pulmón vegetal en el centro de Madrid, además de ofrece un atractivo artístico y natural a cualquier visitante se destacada la función aislante para reducir el consumo de energía interno del edificio, funciona como regulador natural del ambiente, reduce la isla de calor y contribuye con la restauración de la biodiversidad.

3.3.1.2. Estructura

El Jardín vertical cubre absolutamente toda la medianera que delimita la nueva plaza pública que da acceso, desde el Paseo del Prado, a CaixaForum Madrid por su lado norte.

"Las plantas no necesitan tierra, ya que la tierra no es más que un medio. Sólo el agua y los múltiples nutrientes disueltos en ella, junto con la luz y el dióxido de carbono, son esenciales para las plantas. Allá donde el agua no falta nunca, como en los bosques tropicales, las plantas se extienden sobre los troncos de los árboles, las rocas de los acantilados... Por ejemplo, unas 2.500 de las 8.000 especies de plantas conocidas en Malasia crecen sin tierra", explica Blanc. Desde 1982, el botánico investiga en el Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) de París cómo las plantas son capaces de adaptarse a situaciones extremas.

Consciente de la habilidad de las raíces de crecer no sólo hacia el interior sino también a lo largo de una superficie, en 1988 patentó su invento, al que bautizó como muro vegetal "Cuando la raíces pueden crecer en profundidad dentro de una pared, fácilmente pueden dañarla y causar destrucción. Este daño se puede evitar si el agua se facilita de forma regular a las plantas. Las raíces se esparcen sólo por la superficie, sin dañar el interior de la pared".

El Jardín vertical está formado por tres elementos principales: una estructura metálica, una lámina plástica y una capa de fieltro de poliamida. En el caso de CaixaForum Madrid, tiene una altura de 24 metros, un grosor de casi un metro y una longitud de 19 metros. Se ha colocado ligeramente separado de la fachada del edificio existente, a fin de no transmitirle esfuerzo alguno. La superficie vegetal resultante se extiende a lo largo de 460 m². Está formada por 15.000 plantas de 250 especies diferentes. Entre ellas, *Lonicera nitida*, *Yucca filamentosa*, *Cistus purpureus*, *Cedrus deodora*, *Pilosella aurantiaca*, *Dianthus deltoides*, *Arenaria montana*, *Cornus sanguinea*, *Lonicera pileata*, *Sedum alpestre*, *Campanula takesimana*, *Bergenia cordifolia* y *Garrya elíptica*. Muchas de ellas son autoctonas, como el arbusto caducifolio *Cornus sanguinea* (cornejo rojo); otras son foráneas, pero se adaptan bien al clima de Madrid, como la *Bergenia cordifolia*, comúnmente conocida como hortensia o begonia o col de invierno, propia de Siberia y Mongolia.



Figura 98: Variedad de especies en el jardín vertical. Fuente: www.construible.es

El resultado es un jardín vertical que permite recrear un sistema viviente semejante al de la naturaleza y que rememora los jardines colgantes de la antigua Babilonia. El peso total incluyendo las plantas y el marco metálico, es inferior a 30 kilos por m². Dado el poco peso, ese tipo de jardines puede desarrollarse en cualquier pared, sin limitación de tamaño o altura. Gracias a su efecto de aislamiento térmico, permite reducir el consumo de energía (en invierno, aísla del frío; en verano, actúa como un sistema de refrigeración natural) y limpia el aire (las partículas de polución son atraídas por el fieltro, donde poco a poco se descomponen y remineralizan, convirtiéndose entonces en fertilizante para las plantas).

El soporte del jardín consiste en una subestructura metálica fijada a la medianera, sobre la que se sitúa una capa de PVC expandido de 1cm de espesor, que rigidiza la estructura y garantiza la impermeabilidad del conjunto. Sobre el PVC se fija una capa de poliamida con una alta capilaridad cuya función es distribuir el agua de forma homogénea. Sobre esta lámina se desarrollan las plantas.

El sistema de riego está automatizado y consiste en un tubo perforado que se sitúa en la parte superior del muro. Al agua se le añaden nutrientes.

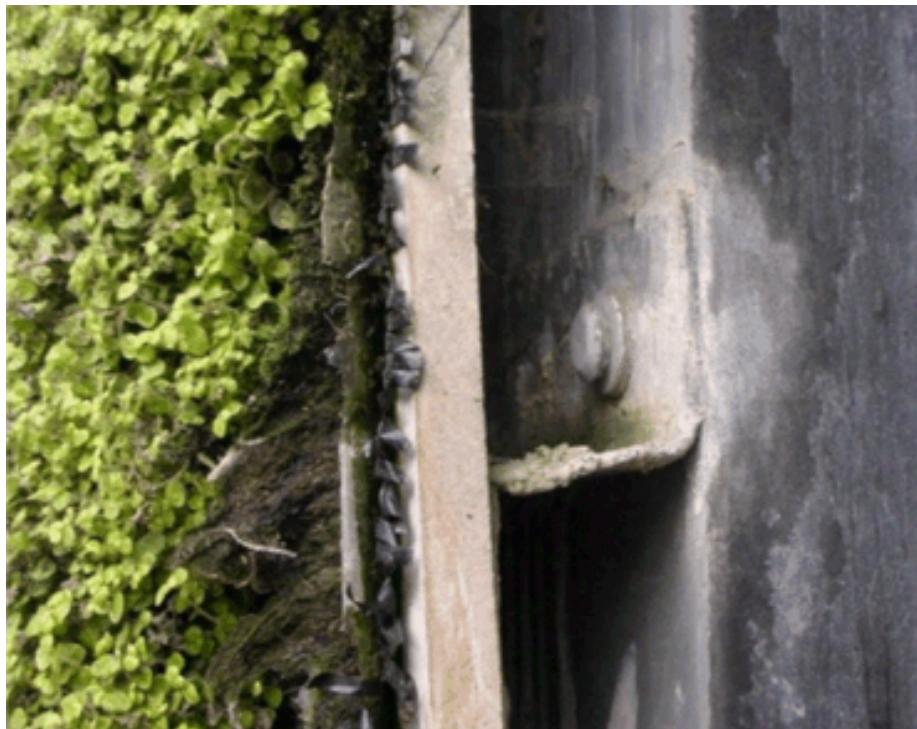


Figura 99: Sistema Patrick Blanc. Fuente: www.urbanolismo.es

4. CONSIDERACIONES FINALES

Como conclusiones generales podemos sacar como primer concepto, que la arquitectura sostenible no debe ser una opción, si no una pauta a seguir. Si bien es cierto, los principales sistemas de energías renovables de los que se disponen actualmente son excesivamente caros a corto plazo, y amortizables a largo plazo, de manera que es difícil la inversión en este tipo de tecnología. Sin embargo, una mayor profundización en los aspectos relativos a la arquitectura **bioclimática y lo que ella comporta nos puede dar las claves para obtener un rendimiento energético optimo**. Es cierto que en grandes ciudades, o no tan grandes, no resulta aceptable construir con materiales altamente ecológicos, como se hablaba de barro, maderas o otros tipos de conglomerados, si es cierto que quizás en otros ámbitos más reducidos puede resultar una opción más interesante.

Desde los últimos 200 años, el número de ciudades que superan el millón de habitantes ha crecido de manera que en la actualidad existen más de 500, de manera que resulta obvia la necesidad de generar núcleos de población ecológicos, que respeten el medio ambiente y se integren con la naturaleza. Aun así, resulta demasiado utópico imaginar una urbe con semejantes características, como la propuesta *Masdar city* de Foster&Partners, ya que el concepto gran ciudad rompe absolutamente con la naturaleza y todo aquello que la envuelve.

Para ello, es necesario que todos los elementos que forman la ciudad aúnen esfuerzos, desde la instalación de placas solares en los tejados, así como filtros depuradores del agua de lluvia que permitan utilizar el agua de la lluvia, o purificadores que permitan reutilizarla, pasando por un tipo de planeamiento que evite las grandes masificaciones de hormigón y la desaparición de parques. En Brasilia pude ver la intención de crear un concepto de ciudad diferente, donde cada conjunto de viviendas fuera autosuficiente y donde se podía disfrutar de un entorno verde en cada uno de los espacios que dividían las cuerdas de la ciudad. Es un concepto muy bueno, pero hay que llevarlo al extremo.

La arquitectura bioclimática nos da unas pautas para obtener un tipo de edificación que se adapta a unas condiciones que resultan naturales para el ser humano, desde el cálculo de la cantidad de luz necesaria, el aislamiento térmico y acústico, hasta el tipo de distribución que debe tener espacio para resultar más agradable.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baldwin, Roger (1996) Environmental Assessment and Management of Buildings (The UKiewpoint, Report 7150/1 for consultation, BSRIA)

Brian Edwards. Guía Básica de la sostenibilidad. Londres 2005.

Casado Martínez, N (1996) Edificios de alta calidad ambiental (Ibérica, Alta Tecnología ISSN 0211-0776)

Castro Bonaño 2002 Tesis: “Indicadores de Desarrollo Sostenible Urbano. Una Aplicación para Andalucía”. www.eumed.net/tesis/jmc

Directiva Europea 2010/31/UE / fenercom / SYRKEL / WIKIMEDIA COMMONS / Intelligent energy europe.

Dr.M. Achkar. Indicadores de sustentabilidad.

Edificios de vivienda de protección pública. Premios de urbanismo, arquitectura y obras públicas 2007. Comunidad de Madrid

Guía Construcción sostenible. Antonio Baño Nieva, 2005

Guía integración fotovoltaica de la Comunidad de Madrid

La envolvente fotovoltaica en la arquitectura. Nuria Martín Chivelet; Ignacio Fernández Solla. Editorial Reverté.

Luis de Garrido-“*Indicadores sostenibles-naturalezas artificiales*”*Arquitecto, ingeniero y Presidente de la Asociación Nacional para la Arquitectura Sostenible (ANAS). España*”- Barcelona 2008

Marcelo Caprioglio, Magister arquitectura, ETSAB Barcelona.

Moch, Yves (1996) *Impacte Ambiental dels materials de construcció*, I Jornades Construcció i Desenvolupament Sostenible (Barcelona, 16, 17 i 18 de maig de 1996)

Quiroga, 2001. Indicadores de Sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: Estado del Arte y perspectivas. CEPAL, Santiago de Chile

Revista Construir America Central y el Caribe

Revista digital Summa+ nº102. “Mil Hojas”

Revista INNOTEC Vol. 1, Eficiencia Energética

Revista Promateriales: Edificio de Oficinas en Madrid

Speare, R.S. (1995) *Recycling of structural Materials* (The Structural Engineer, Volume 73, N. 13, 4 July 1995)

Una revisión bibliográfica de estudios sobre fachadas solares opacas y transparentes- *Chaire de recherche industrielle t3e, École de technologie supérieure, Montreal, Canadá*

Uso eficiente de energía en fachadas y cubiertas. Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica de México

Wikilibro: Construcción sostenible > Capítulo 4: Eficiencia energética en edificación.
www.eoi.es

WWF (1993) The Built Environment Sector, Pre-Seminar Report
(Council for Environmental Education WWF, Department of Environment, De Monfort University Leicester)

<http://www.arqhys.com/construccion/integracion-arquitectura.html>

<http://www.urbanarbolismo.es/blog>

<http://www.ayecertificaciones.com/areatecnica/fachadas-fotovoltaicas-energia-limpia>

http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_solar

<http://www.noticiasarquitectura.info/especiales/viviendas-carabanchel.htm>

<http://carmengiltorres.com/JoseVillareal.html>

<http://www.lamela.com/>

www.junqueraarquitectos.com

www.inmocolonial.com