



Madrid**solar**



CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA

**Comunidad de Madrid**

[www.madrid.org](http://www.madrid.org)

# Guía de Integración Solar Fotovoltaica





# Guía de Integración Solar Fotovoltaica



[www.fenercom.com](http://www.fenercom.com)



[www.madrid.org](http://www.madrid.org)

Depósito Legal:  
Impresión Gráfica:

# Autores

Esta Guía ha sido realizada por iniciativa de la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Consejería de Economía y Hacienda y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.

La elaboración técnica de los diferentes capítulos ha sido encargada a Conergy España, que ha aportado la experiencia de los proyectos realizados por SunTechnics Sistemas de Energía en todo el mundo en el campo de la integración solar fotovoltaica. La elaboración de este material ha sido realizada por Susana López y Michael Lill.

Además, en los ejemplos de integración arquitectónica, se ha contado con la colaboración de las siguientes empresas y entidades:

- Hoteles e Inmuebles, S.A.
- Fundación Metrópoli.
- Abasol, S.L.
- OpcionDos Energía Natural, S.L.
- Grupo Casabella Proyectos Inmobiliarios, S.A.



# Índice

1. INTRODUCCIÓN	11
2. APLICACIONES DE LA INTEGRACIÓN SOLAR EN EDIFICIOS	17
2.1. Introducción	17
2.2. Cubiertas	17
2.2.1. Cubierta inclinada	20
2.2.2. Cubierta plana	22
2.2.3. Cubierta curvada	24
2.2.4. Lucernario	25
2.2.5. Mobiliario urbano: cubiertas de parkings	27
2.3. Fachadas	28
2.3.1. Fachadas ventiladas	28
2.3.2. Fachada - Muro Cortina	36
2.3.3. Marquesina o <i>porche</i>	38
2.3.4. Lamas y parasoles	40
3. EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN	45
4. LOS MÓDULOS: TIPOS Y CARACTERÍSTICAS	59
5. EJEMPLOS DE INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA	67
5.1. Centro de visitantes Bahía de Cádiz	67
5.2. Casa de la Juventud de San Sebastián de los Reyes	69
5.3. Edificio Bioclimático Trasluz	70
5.4. Edificio Bioclimático sede de la Fundación Metrópoli	75
5.5. Complejo socio-sanitario del Proyecto Alzheimer de la Fundación Reina Sofía	81
5.6. Integración de energía solar fotovoltaica en el Centro Comercial Madrid-2 La Vaguada	86
5.7. Instalación solar fotovoltaica en Torre Garena	91





# Presentación

La vinculación tan directa que existe entre el consumo final de energía y el sector de la edificación ha hecho que en los últimos tiempos se hayan adoptado medidas tendentes a favorecer la eficiencia energética, la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y el ahorro de energía primaria.

La aprobación del Código Técnico de la Edificación contempla entre sus objetivos básicos actuar sobre la envolvente edificatoria, con el fin de reducir la demanda energética, y sobre la incorporación de energías renovables en el edificio, para cubrir parte de la citada demanda.

Entre las fuentes renovables se encuentra la energía solar fotovoltaica, que ha tenido un desarrollo espectacular en los últimos tiempos. Además, ésta se contempla en el CTE, para ciertos edificios, con un carácter obligatorio.

Aparecen así dos retos a corto plazo, que podrían concretarse en la *integración arquitectónica* y en el impulso al modelo de la *generación distribuida*. En el primero se deberá conseguir que este tipo de instalaciones, además de jugar una función energética, sirvan como un elemento o componente constructivo más dentro de los propios edificios. En el segundo, se trata de producir energía en lugares próximos a los centros de consumo y, por tanto, contar con pequeñas unidades que pueden funcionar de forma aislada, pero que interactúan mejor interconectadas a la red.

Con la **Guía de Integración Solar Fotovoltaica** se aportan criterios de diseño novedosos y originales, y una amplia colección de casos prácticos, que permiten vislumbrar el gran potencial de incorporación de estas instalaciones generadoras de energía eléctrica en los nuevos edificios y en la rehabilitación de los existentes.

**Carlos López Jimeno**

Director General de Industria, Energía y Minas  
Consejería de Economía y Hacienda  
Comunidad de Madrid



# 1 INTRODUCCIÓN

Al hablar de integración solar fotovoltaica nos estamos refiriendo *a cualquier instalación solar fotovoltaica integrada en cualquier superficie de un edificio, un tejado, una cubierta, una fachada, marquesinas, etc.*

La integración solar fotovoltaica ofrece a día de hoy infinitas posibilidades. Hasta el momento, se han estado desarrollando unos tipos de aplicaciones pero, con el tiempo, nadie duda que las posibilidades se irán ampliando.

Existen un sinfín de aplicaciones solares fotovoltaicas en edificios. Queda en manos de los arquitectos el diseño de estas nuevas aplicaciones, si bien deberán tener en cuenta las posibilidades que la industria fotovoltaica y su tecnología, en continuo desarrollo, les ofrece.

La clave para el desarrollo de estas soluciones pasa por el trabajo multidisciplinar, por la colaboración entre todos los que participan en este proceso, esto es: arquitectos, ingenieros, etc.

La integración fotovoltaica en edificios (*BIPV- Building Integrated Photovoltaics*) supone la sustitución de materiales convencionales de construcción por nuevos elementos arquitectónicos fotovoltaicos que son generadores de energía.

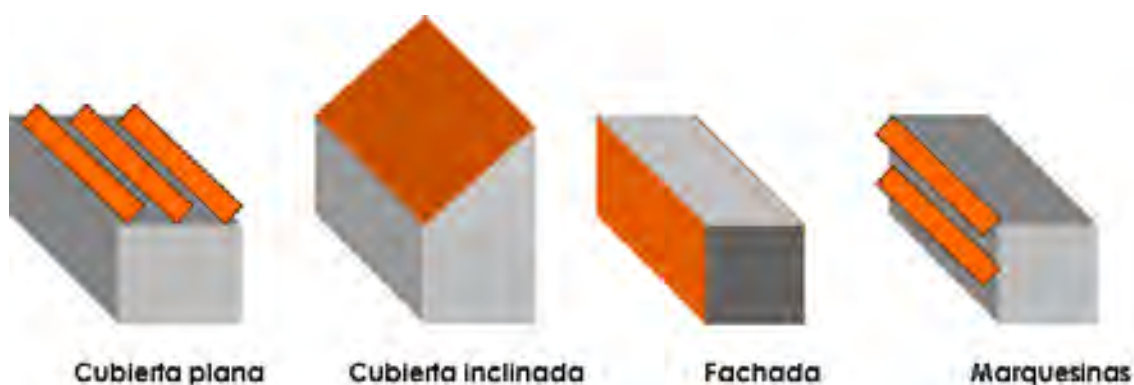


Figura 1. Ejemplos más comunes de aplicaciones de integración fotovoltaica.

A continuación se enumeran las aplicaciones más comunes de la integración fotovoltaica en edificios:

- *Cubiertas (acristaladas, sobre tejado).*
- *Lucernarios.*
- *Pérgolas.*
- *Muros cortinas.*
- *Fachadas de doble piel.*
- *Revestimientos de fachadas.*
- *Protección con lamas o voladizos.*
- *Mobiliario urbano:* barandillas de balcones, escaleras, parasoles y lamas de sombreado, entre otras.

Los sistemas fotovoltaicos integrados en edificios tienen unas características particulares. Siguiendo a Nuria Martín Chivelet e Ignacio Fernández Solla<sup>1</sup>, se puede señalar que:

1. No producen ruido.
2. No incluyen partes móviles.
3. Son modulares y fácilmente manejables como elementos de construcción.

Los módulos fotovoltaicos se convierten en las instalaciones de integración en edificios en un material más de construcción. Y este factor es clave para entender el desarrollo que en los últimos años está teniendo la industria fotovoltaica a la hora de buscar nuevos materiales, cada vez más atractivos, para aplicar en los edificios.

La energía solar fotovoltaica es un producto constructivo que los arquitectos tienen en cuenta.

Además, otra característica a destacar es el respeto y la colaboración con el medio ambiente, ya que estas soluciones no contaminan, constituyen la forma más limpia de generar electricidad. En estos tiempos en los que el calentamiento global ocupa buena parte de

---

<sup>1</sup> Nuria Martín Chivelet e Ignacio Fernández Solla, *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura*.

las agendas de los gobiernos, tanto a nivel local como global, la utilización de sistemas alternativos para generar energía verde, limpia, constituyen en sí mismos un atractivo añadido cada vez más común.

Incluir una de estas instalaciones en un edificio supone una forma de compromiso con las nuevas ciudades sostenibles. Las casas que llevan estos sistemas tienen claramente un valor añadido que las diferencia de las demás.

Vivimos en un mundo en el que tenemos que hacer frente a nuevos retos, y el respeto al medio ambiente se está convirtiendo poco a poco en una pieza fundamental de todos los ámbitos de nuestra vida, desde el político, al económico, el social o el cultural, por ejemplo.

La apuesta por las ciudades sostenibles es una realidad y cada día es más frecuente encontrar en nuestras urbes edificios, parques y avenidas cuyo diseño colabora con el medio ambiente.

Para José Antonio Torrecilla, arquitecto del Estudio Lamela, Coordinador de Medio Ambiente, *"las ciudades son los principales consumidores de energía y los principales productores de residuos; esto se debe atacar desde el punto de vista urbanístico y de infraestructuras con reciclaje de aguas y residuos a pequeña y gran escala. Las ciudades del futuro deben ser verdes, limpias, eficientes, con pocos vehículos y éstos que sean ecológicos, con edificios que producen la misma energía que consumen."*

*Uno de los principales objetivos de la lucha contra el cambio climático es la concienciación sobre estos temas. Cuantas más campañas de formación se pongan en marcha y cuanta más información exista, mejor conocimiento tendremos sobre el problema y mejor podremos solucionarlo. Todos tenemos nuestro granito de arena que aportar, desde los promotores y arquitectos hasta las administraciones públicas, todo tipo de asociaciones de fabricantes, ingenieros, hasta el ciudadano de a pie, quien debe exigir edificios eficientes y es quien debe reciclar en casa".*

Pero ¿a qué nos referimos cuando hablamos de Construcción Soste-

nible? Hay varios autores y organizaciones que se han atrevido a dar una definición. A continuación se comentan algunas de ellas:

- La **Construcción Sostenible**, que debería ser la construcción del futuro, se puede definir como aquella que, con especial respeto y compromiso con el medio ambiente, implica el uso sostenible de la energía. Cabe destacar la importancia del estudio de la aplicación de las energías renovables en la construcción de los edificios, así como una especial atención al impacto ambiental que ocasiona la aplicación de determinados materiales de construcción y la minimización del consumo de energía que implica la utilización de los edificios (**Casado, 1996**).
- La **Construcción Sostenible** se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales causados por los procesos de construcción, uso y derribo de los edificios y por el ambiente urbanizado (**Lanting, 1996**).
- El término de **Construcción Sostenible** abarca, no sólo los edificios propiamente dichos, sino que también debe tener en cuenta su entorno y la manera como se comportan para formar las ciudades. El desarrollo urbano sostenible deberá tener la intención de crear un entorno urbano que no atente contra el medio ambiente, con recursos, no sólo en cuanto a las formas y la eficiencia energética, sino también en su función, como un lugar para vivir (**WWF, 1993**).
- La **Construcción Sostenible** deberá entenderse como el desarrollo de la construcción tradicional pero con una responsabilidad considerable con el medio ambiente por todas las partes y participantes. Lo que implica un interés creciente en todas las etapas de la construcción, considerando las diferentes alternativas en el proceso de construcción, en favor de la minimización del agotamiento de los recursos, previniendo la degradación ambiental o los prejuicios, y proporcionando un ambiente saludable, tanto en el interior de los edificios como en su entorno (**Kibert, 1994**).

Pero ¿cuáles son los pasos que se deben seguir para obtener una Construcción Sostenible?

1. Planificación urbana compatible con el medio ambiente.
2. Aumento de la eficiencia energética de los electrodomésticos de los edificios, donde existe un enorme potencial de ahorro.
3. Integración de energías renovables.

La aprobación del Código Técnico de la Edificación (CTE), por el Real Decreto 314/2006, ha colocado a España a la cabeza mundial en el uso de energías renovables en los edificios de nueva construcción, así como en la rehabilitación de viviendas.

Tanto la energía solar térmica como la fotovoltaica cobran un total protagonismo. El Código Técnico de la Edificación se tratará más adelante en un capítulo dedicado en exclusiva a este Reglamento.





# 2

## APLICACIONES DE LA INTEGRACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA EN EDIFICIOS

### 2.1. Introducción

Cuando se habla de *Building Integrated PV (BIPV)* se está haciendo referencia a instalaciones fotovoltaicas integradas en cualquier “capa o envoltura” de un edificio, bien la cubierta o la fachada, siempre y cuando se respetan unas condiciones básicas de diseño, como la orientación e inclinación de los módulos fotovoltaicos.

Un módulo fotovoltaico orientado al sur e inclinado unos pocos grados por debajo del valor de la latitud local produce la máxima generación eléctrica en términos anuales. No obstante, sustituir el acristalamiento de una fachada por unos módulos fotovoltaicos puede ser una alternativa muy atractiva para aprovechar este espacio y añadir así un valor tanto económico como de prestigio. Generalmente, una instalación fotovoltaica puede ser adaptada tanto a edificios existentes, este es el caso de las rehabilitaciones, como a edificios de nueva construcción.

El segmento de BIPV supone un 60% del mercado mundial fotovoltaico, lo que subraya la importancia que tiene este segmento en este campo.

El objetivo de este capítulo es mostrar, mediante diferentes ejemplos, las casi infinitas posibilidades de la arquitectura solar, un campo fascinante para la arquitectura moderna y la ingeniería.

Los tipos más comunes de integración solar fotovoltaica integrada en edificios son los que se describen en los siguientes apartados.

### 2.2. Cubiertas

La Real Academia Española define cubierta como *Parte exterior de la techumbre de un edificio*. Existen varios tipos de cubierta depen-

diendo del material del que estén hechas. Así, se pueden encontrar cubiertas acristaladas o cubiertas sobre tejado al uso, cubiertos con teja, piedra, con vigas metálicas, etc., existiendo múltiples posibilidades.

El uso de soluciones solares fotovoltaicas sobre cubiertas son las más habituales en los edificios, tanto de uso industrial como en otro tipo de edificios. A la hora de decidirse por esta solución energética hay que tener en cuenta varios aspectos fundamentales:

- *Análisis del emplazamiento.* Hay que analizar con detalle la accesibilidad y la seguridad que ofrece el espacio en el que se quiere instalar una cubierta solar fotovoltaica, así como la superficie disponible. Además, hay que estudiar al detalle la orientación y las sombras que puede haber sobre esta superficie, con el fin de diseñar una cubierta solar lo más eficiente posible y con la que se obtendrá un mayor rendimiento.
- *Diseño de la instalación.* Éste es el segundo paso a seguir tras tener claro el emplazamiento de la solución solar fotovoltaica. Es importante elegir una tecnología y un producto que se ajuste al lugar en el que estará ubicada la instalación solar, así como las condiciones climáticas. Los índices de radiación no son iguales en toda la geografía española. Es necesario también calcular las cargas estáticas y dinámicas, así como buscar la optimización de la instalación. El diseño siempre intentará conseguir el mayor rendimiento del sistema. Esta fase permite hacer un pronóstico de la producción así como el estudio de la rentabilidad, esto es, conocer en cuánto tiempo se puede amortizar una instalación solar fotovoltaica.
- *Ejecución de la instalación.* Un vez que se ha decidido qué tipo de instalación se va a realizar, cómo se va a realizar y qué componentes son los más adecuados (tipo de módulos, inversores, etc.), llega el momento de que el proyecto se convierta en una realidad.

Para tener éxito en la ejecución de una instalación hay que or-

ganizar una planificación de la misma, buscar siempre recursos altamente cualificados y decidirse por sistemas probados y una empresa con experiencia que ofrezca confianza.

- *Mantenimiento.* Las instalaciones solares fotovoltaicas tienen una vida útil de unos 30 años. Actualmente existen sistemas muy avanzados de monitorización que permiten controlar en cada momento la producción de la planta y, por tanto, mantienen al cliente informado de cualquier contratiempo. Para que la planta funcione a unos niveles óptimos de rendimiento hay que apostar por productos que ofrezcan una garantía de calidad y por profesionales que garanticen una instalación óptima.

En el caso de Conergy, por ejemplo, la empresa dispone del sistema de monitorización SunReader con el que se tiene en cada momento información precisa de la producción de energía. Con este sistema es innecesario el control personal continuo de la instalación. Si se registra algún problema se genera un aviso que se transmite por SMS, correo electrónico y/o fax. El titular de la planta está en cada momento informado del estado de producción de la misma, pudiendo acceder a través de Internet mediante clave personalizada a la información instantánea sobre la producción de la planta.

Las cubiertas o tejados en edificios son el lugar donde más instalaciones fotovoltaicas se encuentran porque suele ser un espacio poco aprovechado. Normalmente, sólo sirven como capa exterior para proteger el interior de los cambios climatológicos como la lluvia o el frío, y sus dimensiones suele ser considerables. Las instalaciones solares fotovoltaicas realizadas sobre cubiertas suponen un valor añadido, además de colaborar con el medio ambiente, ya que se obtiene un beneficio económico considerable mediante una actividad que en absoluto interfiere en las funciones habituales del edificio.

En el caso de las naves industriales, por ejemplo, la instalación de un sistema solar fotovoltaico en su cubierta, no interfiere para nada en la actividad habitual de la empresa. Todo lo que aporta son, sin lugar a dudas, ventajas, tanto económicas como medioambientales.

En este apartado de las cubiertas se pueden diferenciar tres casos, las cubiertas inclinadas, planas y curvadas. Éstas se encuentran entre las soluciones más habituales.

### **2.2.1. Cubierta inclinada**

Las cubiertas o tejados inclinados son una solución constructiva muy antigua para facilitar la evacuación del agua. Esta pendiente, siempre y cuando esté orientada con un ángulo razonable hacia el sur, se puede aprovechar para proyectar una instalación fotovoltaica.

Las plantas solares de este tipo se realizan normalmente sobre la cubierta, y su montaje es una de las soluciones más sencillas. Además, se puede instalar la máxima potencia pico en módulos fotovoltaicos por m<sup>2</sup>, ya que no es necesario tener en cuenta el área de sombra de una fila de módulos en la siguiente.



Foto 1. 94,8 kWp en Cocentaina (Alicante) realizada por Conergy- Enersol. Instalación realizada directamente sobre la cubierta.

Básicamente, hay dos posibles soluciones. Una es colocar una estructura encima de la cubierta, por ejemplo de tejas o chapa, y la otra integrar la instalación al mismo nivel del techo.

En función de la piel de la cubierta y la sujeción a la estructura se eligen diferentes tipos de anclaje para garantizar una instalación segura. Las inclemencias del tiempo no deberán interferir en la sujeción de los módulos, que siempre debe ofrecer la máxima garantía de seguridad.

El objetivo en el proyecto de la Foto 2, instalación de 181,44 kWp realizada en Gran Canaria, era colocar en la cubierta en forma de dientes de sierra la máxima potencia. Se decidió salvar los vanos de 15 m con una estructura de aluminio con unas vigas de celosía de alta resistencia y evitar así las sombras de la cubierta.



**Foto 2.** 181,44 kWp en Gran Canaria por Conergy. Módulos anclados al techo mediante estructura.



La integración total se consigue quitando las tejas o el revestimiento supremo con una estructura adecuada y una capa impermeable que garantice la estanqueidad del tejado, como se muestra en el ejemplo de la Foto 3.

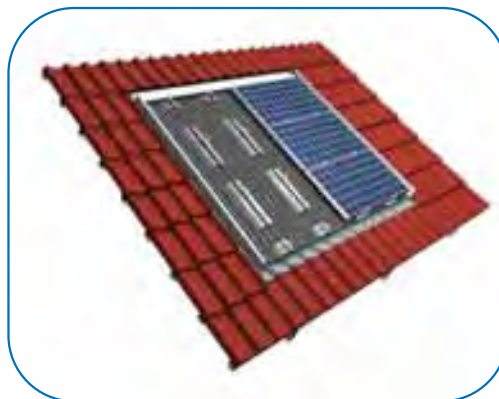


Foto 3. Sistema de soporte SolarDelta de Conergy para conseguir una integración completa.

### 2.2.2. Cubierta plana

Las cubiertas planas o naves industriales con una mínima pendiente forman parte de otra aplicación muy habitual. Mediante una estructura se levantan los módulos fotovoltaicos, normalmente entre  $20^\circ$  y  $30^\circ$ , para conseguir la máxima producción energética. Aparte del aspecto energético tiene la ventaja de que los módulos se limpian con la lluvia, por lo cual el mantenimiento por limpieza es mínimo en este tipo de instalaciones. Si una nave industrial está orientada en sentido oeste - este se puede usar el mismo sistema de soporte teniendo en cuenta el espacio entre fila y fila de módulos para evitar que se den sombra entre ellos. Es conveniente dividir las dos aguas eléctricamente con dos o más inversores para que el generador fotovoltaico produzca el máximo posible, tanto por la mañana como por la tarde.

La Foto 5 muestra una interesante solución para un tipo de "terracea" en un edificio de varias plantas. No se permitía fijar la instalación al



Foto 4. Instalación FV de 94,8 kWp en Alicante de Conergy-ENERSOL S.L.



Foto 5. Instalación FV de 34,6 kWp en Granada de Conergy.

forjado mediante un anclaje, por lo cual fue necesario asumir las acciones del viento con un contrapeso calculado para este edificio y lugar de la instalación. Siendo un revestimiento del tipo de un suelo técnico, se ha podido aprovechar este peso introduciendo los perfiles en las juntas y colocando en la parte trasera un lastre adicional, entre el suelo técnico y el forjado, con el fin de integrar sin obstáculos esa instalación fotovoltaica.

### 2.2.3. Cubierta curvada

Para hablar de este tipo de cubierta se comentará un ejemplo. En un área de 2.500 m<sup>2</sup> fueron colocados 302 kWp entre la cubierta plana y la cubierta curvada del Centro de Innovación e Investigación en Alemania. Para la colocación en paralelo de los laminados fotovoltaicos sin marco en la zona curva, hacía falta diseñar un sistema de soporte especial, ya que se renunciaba a raíles que, normalmente, sirven como apoyo para los módulos FV.



Foto 6. Centro de Innovación en Bad Oeynhausen (Alemania) de 302 kWp. Realizado por Conergy.



Cada laminado se sujetó con 6 *clips* que, a su vez, se fijaron a la cubierta de aluminio mediante unas grapas especiales de acero inoxidable.

#### 2.2.4. Lucernario

Por otro lado, están las cubiertas acristaladas de tamaño grande, como los atrios, o de tamaño reducido, como los lucernarios o pérgolas, con el fin de proteger contra la lluvia y dar sombra. El proyecto de la Foto 7 es una instalación realizada con módulos de capa fina de telurio de cadmio aprovechando la estructura de acero galvanizado sobre la que se apoyan los módulos.

En este tipo de instalaciones es muy importante la limpieza de los módulos o laminados fotovoltaicos, porque la poca inclinación - incluso totalmente horizontal - provoca que el generador solar se ensucie rápidamente y la lluvia raras veces puede limpiar los módulos. Hay que tener en cuenta que esto tiene una influencia negativa en la producción energética, por lo cual es necesario tener un acceso a la cubierta para su limpieza.



Foto 7. Instalación FV en Girona con módulos de capa fina.

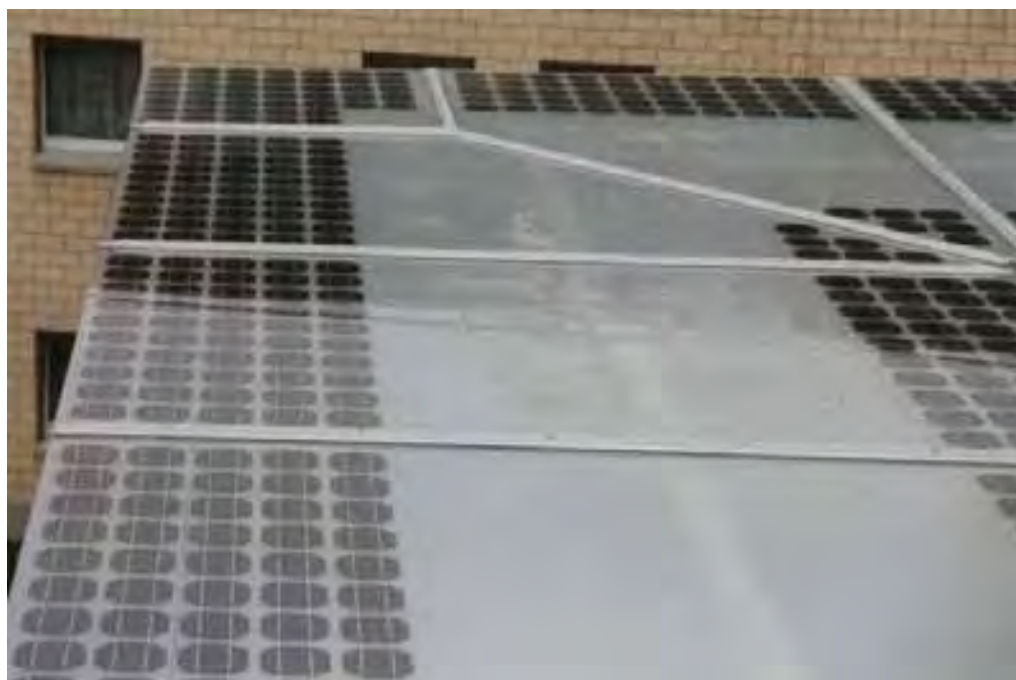


Foto 8. Instalación FV con módulos especiales y células monocristalinas.



Foto 9. Cubierta acristalada con módulos fotovoltaicos.

En algunos proyectos hay unas exigencias mayores que incluyen la generación eléctrica, la transparencia y la estanqueidad. Una solución fácil es integrar módulos fotovoltaicos en lucernarios basados en montantes y travesaños. Los vidrios de doble acristalamiento de las cubiertas se reemplazan por paneles fotovoltaicos con cierto grado

de transparencia, montados a su vez en un doble acristalamiento para no perder prestaciones de transmisión térmica. La fijación de los módulos es exactamente igual a la de los vidrios a los que sustituyen.

### 2.2.5 Mobiliario urbano: cubiertas de parkings

Otra aplicación que se puede incluir dentro del apartado de cubiertas es el de las cubiertas de los aparcamientos. Éste es un espacio que no se suele aprovechar y del que se puede obtener un alto rendimiento. Ésta es una opción a tener en cuenta por centros comerciales y otras superficies.

Esta aplicación a pesar de ser sobre cubierta, se puede englobar perfectamente dentro del mobiliario urbano.



Foto 10. Instalación FV en estructura tipo parking en Zaragoza realizada por Conergy.

## 2.3. Fachadas

### 2.3.1. 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, separados 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. En Alemania se llama este tipo de fachada ventilada por el hueco entre las dos capas también *fachada fría*, porque hace referencia al hecho de que la piel exterior no está aislada.

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, puede 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. Este espacio, cuando se opta por un revestimiento con módulos fotovoltaicos, facilita la instalación, ya que se puede aprovechar para el cableado y, además, tiene ventaja respecto a la potencia de un módulo y, con ello, a la producción energética. Módulos fotovoltaicos que están bien ventilados y que pueden disipar el calor adecuadamente producen más energía, ya que temperaturas altas tienen una influencia negativa a la tensión y, con ello, a la potencia del módulo.

Las soluciones a nivel del sistema de soporte son sencillas. Sobre la hoja interior se fijan unos anclajes puntuales o unos perfiles que permiten la colocación de cualquier tipo de módulo: módulos mono o policristalinos estándares, módulos especiales de dimensiones o colores, laminados de capa fina, etc.



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 diferentes tipos de anclaje y estar así seguro que la unión con el edificio es segura y que transmita las cargas correctamente.

La instalación fotovoltaica en la fachada de la *Casa de la Juventud* en San Sebastián de los Reyes de Madrid es un ejemplo de ello. Se han instalado módulos policristalinos estándares con marco encima de unos raíles que están sujetos verticalmente con el muro exterior del edificio. Mediante unos fijadores se colocan los módulos de forma segura en los raíles.



Foto 11. Instalación FV en la “Casa de la Juventud” de San Sebastián de los Reyes .

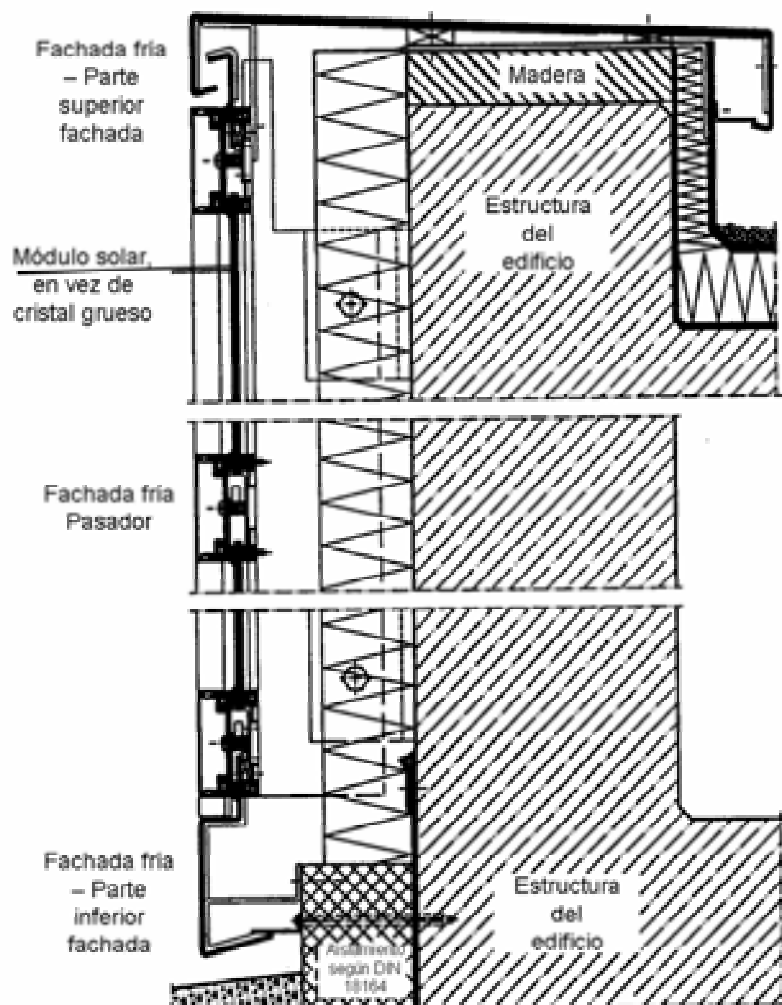


Figura 2. Sección de una fachada ventilada.

*La Fachada Verde* del Polideportivo de Tübingen (Alemania) perseguía una integración perfecta tanto con el edificio como con el entorno. El polideportivo se encuentra en una zona de Alemania con muchos bosques y praderas por lo cual se optaba en este proyecto por unos laminados especiales de color verde. Este color se consigue mediante la capa reflectante. Habitualmente las células son de color negro o azul oscuro para conseguir una mayor absorción de la luz y, con ello, la máxima eficiencia.

En total se han instalado 970 unidades de cuatro diferentes tipos en la fachada sur-oeste con las que se alcanza una potencia pico de 43,7 kWp y una producción de más de 30.000 kWh de energía limpia al año.



Foto 12. Fachada Fotovoltaica Verde del Polideportivo de Tübingen (Alemania) realizado por Conergy.



Respecto al sistema de soporte se escogió unos raíles verticales como apoyo que son compartidos por dos laminados en sus extremos. Siendo laminados, hacía falta desarrollar un fijador – tipo Clip – para garantizar su sujeción segura en cuatro puntos del módulo.



Foto 13. Imagen del fijador tipo clip.

En las imágenes que se muestran a continuación se pueden ver detalles de la estructura.

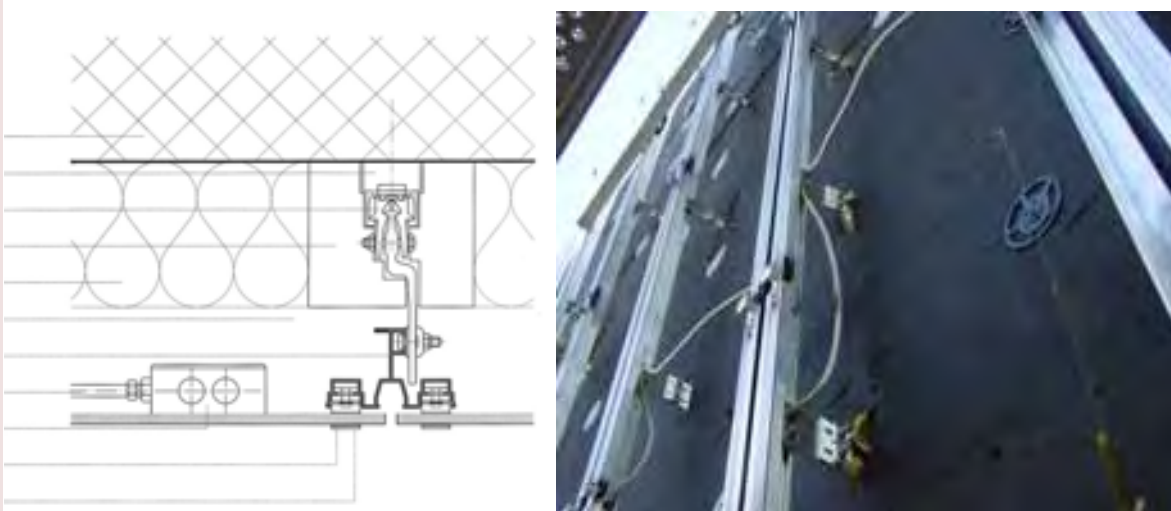
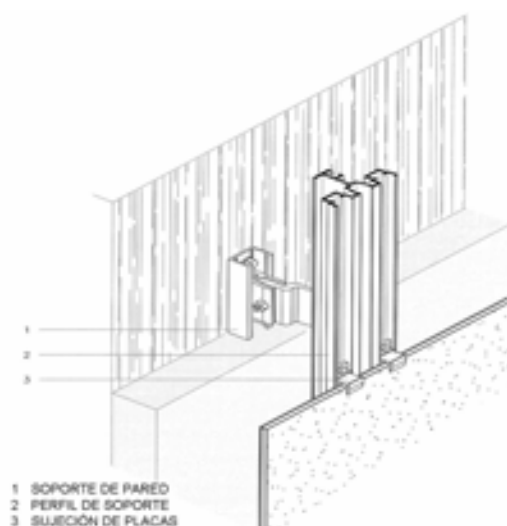


Foto 14. Detalles de la estructura y los fijadores de la Fachada Fotovoltaica Verde de Tübingen (Alemania).





**Foto 15. Detalles de la estructura y los fijadores de la Fachada Fotovoltaica Verde de Tübingen (Alemania).**

La instalación fotovoltaica de la *Estación Teleférico en Piz Nair* (St. Moritz – Suiza) destaca por los módulos especiales, su fijación puntual con la estructura y, sobre todo, porque se encuentra a 3.030 m sobre el nivel del mar, sin duda una de las instalaciones fotovoltaicas más “altas” de Europa.

La instalación se compone de dos partes: una de 10 kWp se encuentra en la *Estación del Valle* y la otra en un área de 120 m<sup>2</sup> de 13,5 kWp en la *Estación del Monte*. Los laminados fueron fabricados exclusivamente para este proyecto con células policristalinas, encapsuladas aparte de las capas de EVA entre un vidrio de 8 mm y una película de plástico de color gris oscuro en el dorso. Un reto especial ha sido la terminación superior de la fachada ya que era de forma trapecoidal. Con 21 unidades especiales se logró una terminación exac-

ta con la cubierta. Por la baja temperatura, la buena ventilación de los módulos y la reflexión de la luz en la nieve, alcanzan una producción extraordinaria.



Foto 16. Fachada FV de la Estación Teleférico (St. Moritz – Suiza) realizado por Conergy.

La sujeción de los módulos se realizó con unos fijadores puntuales especiales de goma. Donde se sitúa este tipo de fijador se carece de la célula. Según el dibujo planificado fueron fijados en raíles verticales de forma U que están anclados con la fachada, Foto 17.

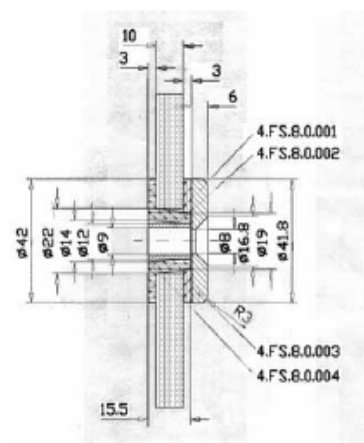
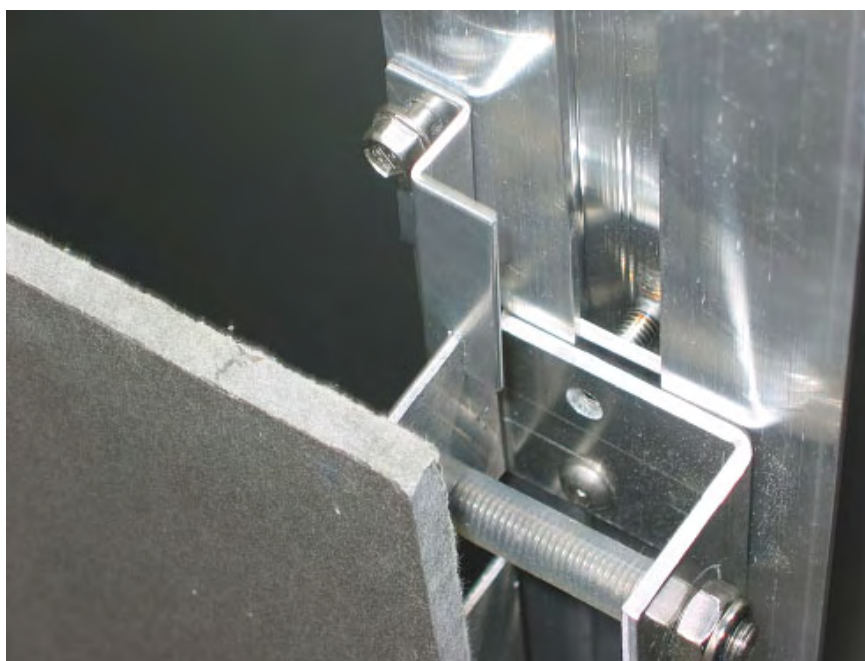


Foto 17. Detalles de los módulos y su sujeción.

Una solución muy habitual en fachadas ventiladas se ve en la Foto 18. Se trata de un sistema modular con perfiles verticales que se anclan al muro de la fachada del edificio. El material, como tiene que soportar el sol, la lluvia y parte del viento, debe ser duradero y resistente a los elementos, como paneles de aluminio macizo, piezas de piedra natural, laminados de madera prensada, gres cerámico, vidrio opaco o módulos con función fotovoltaicos.



Foto 18. Sistema modular para fachadas ventiladas.



### 2.3.2. Fachada – 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 las cargas horizontales debidas al viento y el 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*.

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.

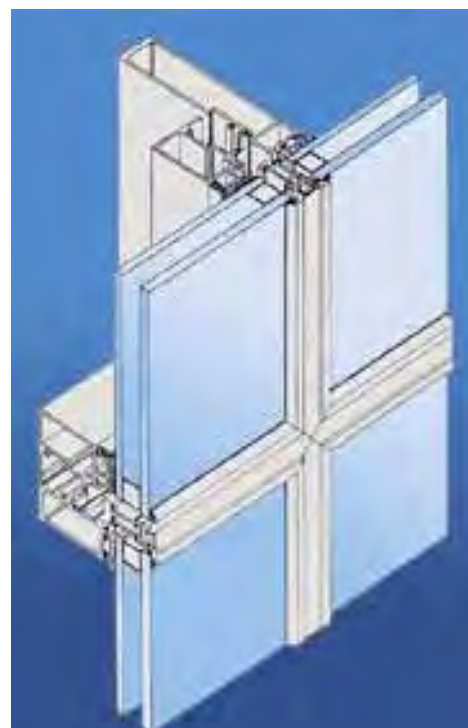
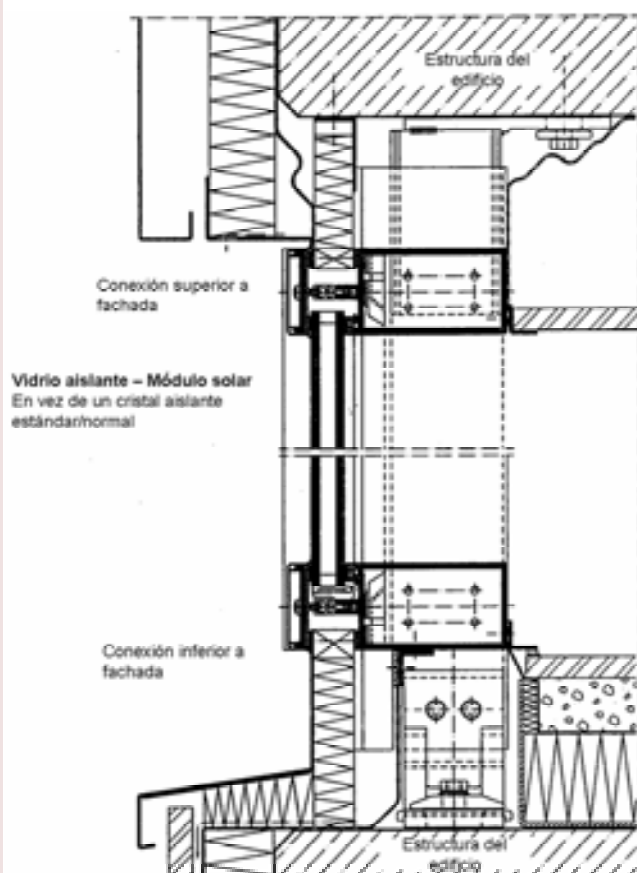


Foto 19. Esquema de una fachada del tipo Muro Cortina.



Las juntas entre los paneles de vidrio y la perfilería del muro cortina se resuelven mediante perfiles de goma, EPDM, o aplicando en obra silicona. Los cristales se mantienen en su sitio gracias a los *presores*, unos perfiles continuos de aluminio que están fijados a los montantes y/o travesaños. Como el perfil vertical suele ser hueco se puede aprovechar en muchos casos dicho espacio para llevar el cableado.

La Foto 20 muestra un ejemplo curioso. En una torre de una iglesia cerca de Berlín, en Potsdam, se integraron módulos especiales trans-lúcidos, que encajan perfectamente en la estructura de soporte. Una particularidad de este proyecto son los módulos *Dummy* en los lados norte, oeste y este de la torre, módulos que tienen el mismo aspecto pero carecen de la función fotovoltaica porque, por la peor orientación, no están conectados. Otra opción aún más económica en este aspecto es hacer un dibujo mediante serigrafía para lograr un aspecto visual muy similar a las células cristalinas.

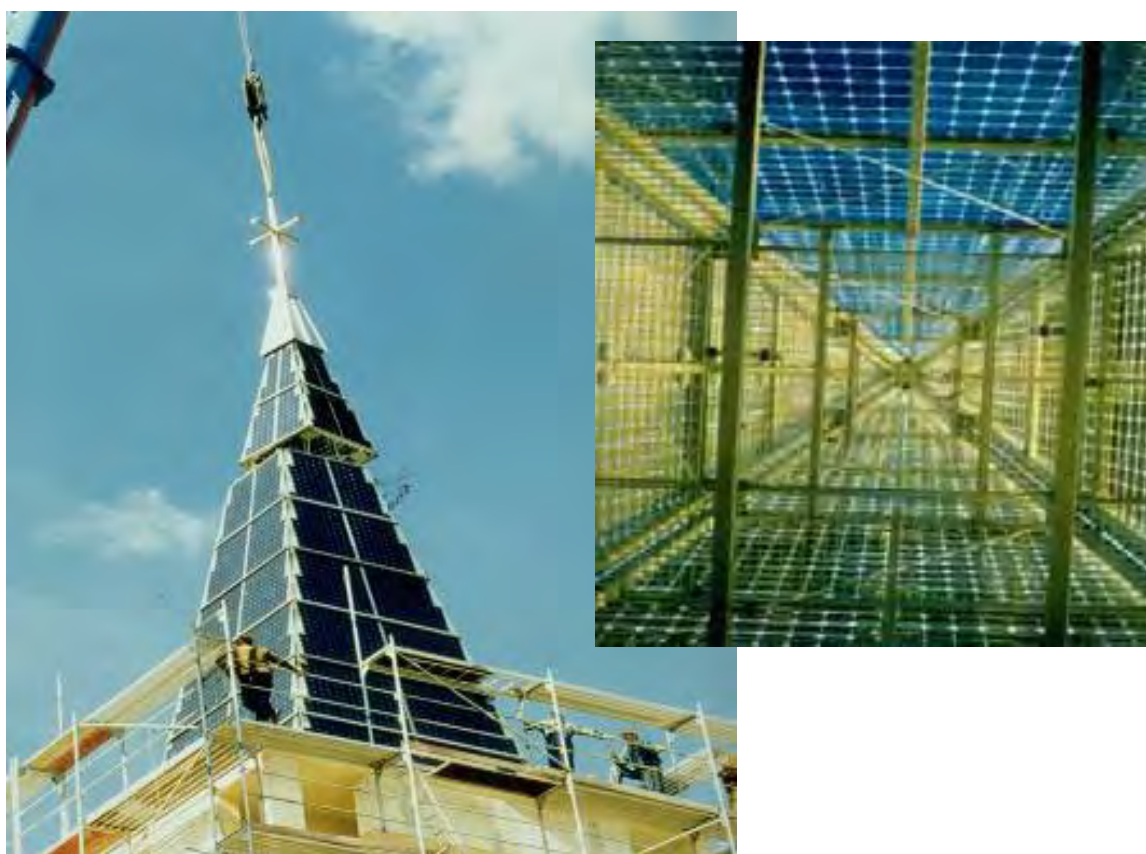


Foto 20. Torre de una iglesia en Potsdam (Alemania) con módulos fotovoltaicos.

### 2.3.3. Marquesina o *porche*

La aplicación más sencilla de una instalación fotovoltaica en fachada es una marquesina o porche, simplemente con una estructura de unos triángulos y perfiles en horizontal que albergan los módulos fotovoltaicos. Este sistema de soporte orienta e inclina los módulos fotovoltaicos en una posición más favorable hacia el sol. Además, produce una sombra que puede ser muy útil en los meses de verano en el caso en que se encuentra una terraza por debajo.

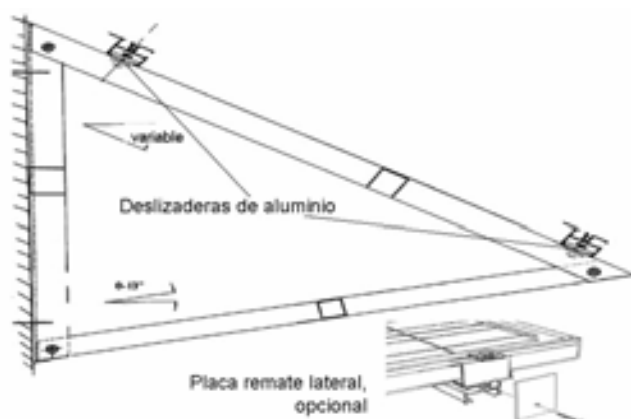


Foto 21. Instalación FV tipo Porche en urbanización MiraMadrid (Madrid) de 2,94 kWp.

El mismo tipo de estructura, bien fijado a las correas de madera, fue usado en este proyecto en la sierra de Madrid, para conseguir la máxima generación energética por kWp instalado.



Foto 22. Instalación FV de 5,88 kWp en Villalba (Madrid).

### 2.3.4. Lamas y Parasoles

Módulos fotovoltaicos integrados en lamas y parasoles son, sin duda, el instrumento más eficaz e influyente en la arquitectura bioclimática contemporánea respecto a la eficiencia energética global de un edificio porque aporta, aparte de la producción eléctrica, un factor más: el control solar del espacio interior del edificio. Esta aplicación puede ser, por tanto, un elemento muy importante para el balance energético, sobre todo en los meses de verano en países con mucha radiación solar como España. El objetivo es tener un ambiente en los despachos interiores más "natural", primero, para lograr una atmósfera de trabajo más sana y, segundo, para conseguir unos ahorros energéticos de luz y aire acondicionado.

En fachadas orientadas con un ángulo razonable respecto al sur pueden ser colocados de diferentes tipos: fijas o móviles en una estructura existente o ya contemplado en el proyecto inicial del arquitecto.

#### 2.3.4.1. Parasoles estáticos

Con un ángulo de inclinación de los parasoles bien calculado se puede evitar, como se puede observar en el dibujo de la Foto 23, durante el verano cuando el sol ocupa la posición más alta, casi por completo los rayos de sol directos. En los meses de otoño e invierno sí entran los rayos más suaves. De este modo, se consigue un ambiente de trabajo agradable en los despachos interiores reduciendo el consumo energético en luz y aire acondicionado.

En la instalación en el Centro de Visitantes "Bahía de Cádiz" en la fachada sur del edificio destacan los laminados fotovoltaicos, especialmente fabricados para este proyecto, ya que exigía unas dimensiones del vidrio poco habitual. Los laminados miden 2,40 m de largo y tienen una anchura de solamente 35 cm. En cada módulo fueron encapsulados unas 28 células monocristalinas para lograr una transparencia de un 20% y una potencia pico de 108 Wp. En el dorso del laminado se encuentra una película de plástico translúcida TEDLAR para permitir el flujo y el traspaso de la luz. Las 64 unidades repartidas en



8 filas de 8 módulos con una potencia pico de 6,912 kWp para cubrir la fachada sur entera están eléctricamente conectadas en serie siempre dos filas de dichas lamas. En total se llevan 4 cadenas de 16 módulos a dos inversores String de 2.500 W cada uno.

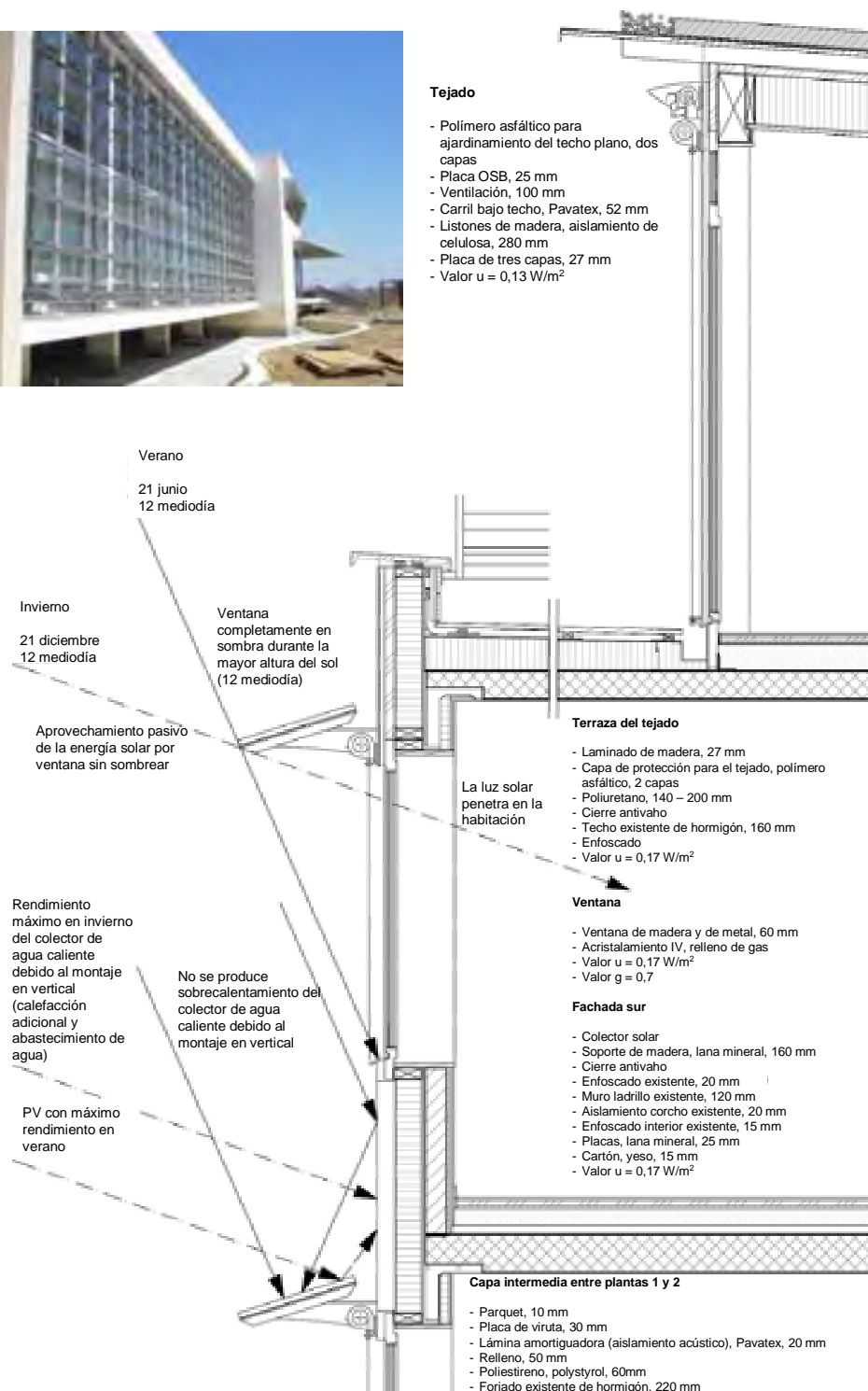


Foto 23. Instalación FV en el Centro de Visitantes "Bahía de Cádiz" en San Fernando (Cádiz) realizado por Conergy-IFM.

#### 2.3.4.2. Parasoles orientables

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. 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 24. Instalación FV integrada en los parasoles en Eschweiler (Alemania).



**Foto 25. Instalación fotovoltaica en el Edificio “Winterthur” de 48 kWp en Alemania realizado por Conergy.**

Esta solución, Fotos 25 y 26, se aplicó en el edificio *Winterthur* en Alemania. En 14 lamas con módulos especiales de 1,60 x 0,41 m se consigue una potencia de unos 48 kWp colocados en la fachada. El cableado de las cadenas de módulos es llevado a través de los tubos de la estructura y va bajando a los perfiles verticales hasta llegar a las cajas de conexión e inversores que convierten la corriente continua en corriente alterna apta para la conexión a red.

Como se ha descrito, es una aplicación muy apropiada para evitar el calentamiento innecesario y excesivo durante los meses de verano del interior de los edificios y que permite la entrada de luz natural. Con estas medidas activas y pasivas de la arquitectura bioclimática se logra un ambiente “más natural” y se consiguen unos ahorros importantes respecto al consumo energético de la luz eléctrica y el aire acondicionado.



Foto 26. Detalles de las lamas fotovoltaicas del Edificio Winterthur (Alemania).



# 3

## EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN

La aprobación en marzo de 2006 del **Código Técnico de la Edificación** (CTE) marca un antes y un después en el uso de las energías renovables en los edificios. Además de la energía solar térmica, el CTE obliga a incluir paneles fotovoltaicos en la envolvente de determinados tipos de edificios.

Este Código Técnico de la Edificación es una norma única, no hay otro país que tenga regulado el uso en edificios de energías renovables, y esto sitúa a España a la cabeza en el uso de estos sistemas. Ahora bien, para que esta norma se convierta en realidad, los arquitectos deben encontrar la forma de integrar en el diseño de los edificios los paneles fotovoltaicos, así como los materiales que más se ajusten a sus expectativas.

Según la legislación actual, el RD 661/2007 de 25 de mayo, por la que se ofrece una prima económica acorde a la potencia instalada, convierte a los sistemas de energía solar fotovoltaica en una solución rentable.

Según el apartado **H5** del **CTE** por el que se regula la **Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica**, los edificios que deben incluir sistemas fotovoltaicos son los siguientes:

- Hipermercados (5.000 m<sup>2</sup> construidos)
- Multitienda y centros de ocio (3.000 m<sup>2</sup> construidos)
- Nave de almacenamiento (10.000 m<sup>2</sup> construidos)
- Administrativos (4.000 m<sup>2</sup> construidos)
- Hoteles y hostales (100 plazas)
- Hospitales y clínicas (100 camas)
- Pabellones y recintos feriales (10.000 m<sup>2</sup> construidos).

La potencia pico mínima que se tiene que instalar es de 6,25 kWp y el inversor tendrá una potencia mínima de 5 kW.

En el Documento Básico HE de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación, en el punto 15.5 titulado **Exigencia básica HE 5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica** se recoge:

*En los edificios que así se establezca en este CTE se incorporarán sistemas de captación y transformación de energía solar en energía eléctrica por procedimientos fotovoltaicos para uso propio o suministro a la red. Los valores derivados de esta exigencia básica tendrán la consideración de mínimos, sin perjuicio de valores más estrictos que puedan ser establecidos por las administraciones competentes y que contribuyan a la sostenibilidad, atendiendo a las características propias de su localización y ámbito territorial.*

A la hora de integrar una solución solar fotovoltaica en un edificio, en cualquiera de sus diversas aplicaciones o en las múltiples posibilidades que existen, hay que tener en cuenta no sólo las necesidades que requiere la construcción del edificio en sí, sino que también hay que tener en cuenta las necesidades del sistema solar fotovoltaico.

*¿Cuáles son los parámetros que hay que tener en cuenta para realizar una instalación solar fotovoltaica en edificios?*

La inclinación y las sombras son aspectos fundamentales para realizar el proyecto. Siempre hay que perseguir la mayor producción de electricidad, los sistemas deben ser eficaces y se debe encontrar la mejor colocación de los módulos para obtener el máximo rendimiento.

En el Código Técnico de la Edificación queda estipulado que *la disposición de los módulos se hará de tal manera que las pérdidas debidas a la orientación e inclinación del sistema y a las sombras sobre el mismo sean inferiores a los límites de la siguiente Tabla:*

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10%	10%	15%
Superposición	20%	15%	30%
Integración Arquitectónica	40%	20%	50%

### *¿Cuánto decide un ingeniero inclinar los módulos?*

El objetivo es que el módulo reciba la mayor radiación durante todo el año. Dicho ángulo corresponderá con el que la luz incida perpendicularmente al módulo, la de mayor energía. En la zona ecuatorial la inclinación del módulo sería horizontal, ya que el sol incide horizontalmente, pero a medida que nos alejamos del mismo, dicho ángulo corresponderá con la latitud, hasta los trópicos.

A partir de los trópicos, el ángulo de incidencia del sol varía a lo largo del día, por lo que se recomienda que el ángulo de inclinación de los módulos sea la latitud -10. Por tanto, en la Península Ibérica el ángulo óptimo está en torno a los 30°.

En lo referente a la separación de las filas, se seguirán las recomendaciones del Pliego de Condiciones Técnicas para Energía Solar del IDAE. La distancia  $d$ , medida sobre la horizontal, entre unas filas de módulos obstáculo, de altura  $h$ , que pueda producir sombras sobre la instalación deberá garantizar un mínimo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno. Esta distancia  $d$  será superior al valor obtenido por la expresión:

$$d = h / \tan (61^\circ - \text{latitud})$$

Seguidamente se recogen las prescripciones técnicas que aparecen en el Código Técnico de la Edificación.

## **1. Condiciones generales de la instalación**

### **1.1. Definición**

- 1 Una instalación solar fotovoltaica conectada a red está constituida por un conjunto de componentes encargados de realizar las funciones de captar la radiación solar, generando energía eléctrica en forma de corriente continua y adaptarla a las características que la hagan utilizable por los consumidores conectados a la red de distribución de corriente alterna. Este tipo de instalaciones fotovoltaicas trabajan en paralelo con el resto de



los sistemas de generación que suministran a la red de distribución.

- 2 Los sistemas que conforman la instalación solar fotovoltaica conectada a la red son los siguientes:
  - a) sistema generador fotovoltaico, compuesto de módulos que a su vez contienen un conjunto de elementos semiconductores conectados entre sí, denominados células, y que transforman la energía solar en energía eléctrica;
  - b) inversor, que transforma la corriente continua producida por los módulos en corriente alterna de las mismas características que la de la red eléctrica;
  - c) conjunto de protecciones, elementos de seguridad, de maniobra, de medida y auxiliares.
- 3 Se entiende por potencia pico o potencia máxima del generador aquella que puede entregar el módulo en las condiciones estándares de medida. Estas condiciones se definen del modo siguiente:
  - a) irradiancia  $1000 \text{ W/m}^2$ ;
  - b) distribución espectral AM 1,5 G;
  - c) incidencia normal;
  - d) temperatura de la célula  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## 1.2. Condiciones generales

- 1 Para instalaciones conectadas, aún en el caso de que éstas no se realicen en un punto de conexión de la compañía de distribución, serán de aplicación las condiciones técnicas que procedan del RD 1663/2000, así como todos aquellos aspectos aplicables de la legislación vigente.



### 1.3. Criterios generales de cálculo

#### 1.3.1. Sistema generador fotovoltaico

- 1 Todos los módulos deben satisfacer las especificaciones UNE-EN 61215:1997 para módulos de silicio cristalino o UNE-EN 61646:1997 para módulos fotovoltaicos de capa delgada, así como estar cualificados por algún laboratorio acreditado por las entidades nacionales de acreditación reconocidas por la Red Europea de Acreditación (EA) o por el Laboratorio de Energía Solar Fotovoltaica del Departamento de Energías Renovables del CIEMAT, demostrado mediante la presentación del certificado correspondiente.
- 2 En el caso excepcional en el cual no se disponga de módulos cualificados por un laboratorio según lo indicado en el apartado anterior, se deben someter éstos a las pruebas y ensayos necesarios de acuerdo a la aplicación específica según el uso y condiciones de montaje en las que se vayan a utilizar, realizándose las pruebas que a criterio de alguno de los laboratorios antes indicados sean necesarias, otorgándose el certificado específico correspondiente.
- 3 El módulo fotovoltaico llevará de forma claramente visible e indeleble el modelo y nombre o logotipo del fabricante, potencia pico, así como una identificación individual o número de serie trazable a la fecha de fabricación.
- 4 Los módulos serán Clase II y tendrán un grado de protección mínimo IP65. Por motivos de seguridad y para facilitar el mantenimiento y reparación del generador, se instalarán los elementos necesarios (fusibles, interruptores, etc.) para la desconexión, de forma independiente y en ambos terminales, de cada una de las ramas del resto del generador.
- 5 Las exigencias del Código Técnico de la Edificación relativas a seguridad estructural serán de aplicación a la estructura soporte de módulos.

- 6 El cálculo y la construcción de la estructura y el sistema de fijación de módulos permitirá las necesarias dilataciones térmicas sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los módulos, siguiendo las indicaciones del fabricante. La estructura se realizará teniendo en cuenta la facilidad de montaje y desmontaje, y la posible necesidad de sustituciones de elementos.
- 7 La estructura se protegerá superficialmente contra la acción de los agentes ambientales.
- 8 En el caso de instalaciones integradas en cubierta que hagan las veces de la cubierta del edificio, la estructura y la estanqueidad entre módulos se ajustará a las exigencias indicadas en la parte correspondiente del Código Técnico de la Edificación y demás normativa de aplicación.

#### **1.3.2. Inversor**

- 1 Los inversores cumplirán con las directivas comunitarias de Seguridad Eléctrica en Baja Tensión y Compatibilidad Electromagnética.
- 2 Las características básicas de los inversores serán las siguientes:
  - a) principio de funcionamiento: fuente de corriente;
  - b) autoconmutado;
  - c) seguimiento automático del punto de máxima potencia del generador;
  - d) no funcionará en isla o modo aislado.
- 3 La potencia del inversor será, como mínimo, el 80% de la potencia pico real del generador fotovoltaico.

#### **1.3.3. Protecciones y elementos de seguridad**

- 1 La instalación incorporará todos los elementos y características necesarias para garantizar en todo momento la calidad del su-

ministro eléctrico, de modo que cumplan las directivas comunitarias de Seguridad Eléctrica en Baja Tensión y Compatibilidad Electromagnética.

- 2 Se incluirán todos los elementos necesarios de seguridad y protecciones propias de las personas y de la instalación fotovoltaica, asegurando la protección frente a contactos directos e indirectos, cortocircuitos, sobrecargas, así como otros elementos y protecciones que resulten de la aplicación de la legislación vigente. En particular, se usará en la parte de corriente continua de la instalación protección Clase II o aislamiento equivalente cuando se trate de un emplazamiento accesible. Los materiales situados a la intemperie tendrán al menos un grado de protección IP 65.
- 3 La instalación debe permitir la desconexión y seccionamiento del inversor, tanto en la parte de corriente continua como en la de corriente alterna, para facilitar las tareas de mantenimiento.

## 2. Cálculo de las pérdidas por orientación e inclinación

### 2.1. Introducción

- 1 El objeto de este apartado es determinar los límites en la orientación e inclinación de los módulos de acuerdo a las pérdidas máximas permisibles.
- 2 Las pérdidas por este concepto se calcularán en función de:
  - a) ángulo de inclinación,  $\beta$ , definido como el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es 0 para módulos horizontales y 90° para verticales;
  - b) ángulo de acimut,  $\alpha$ , definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Valores típicos son 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y +90° para módulos orientados al oeste.

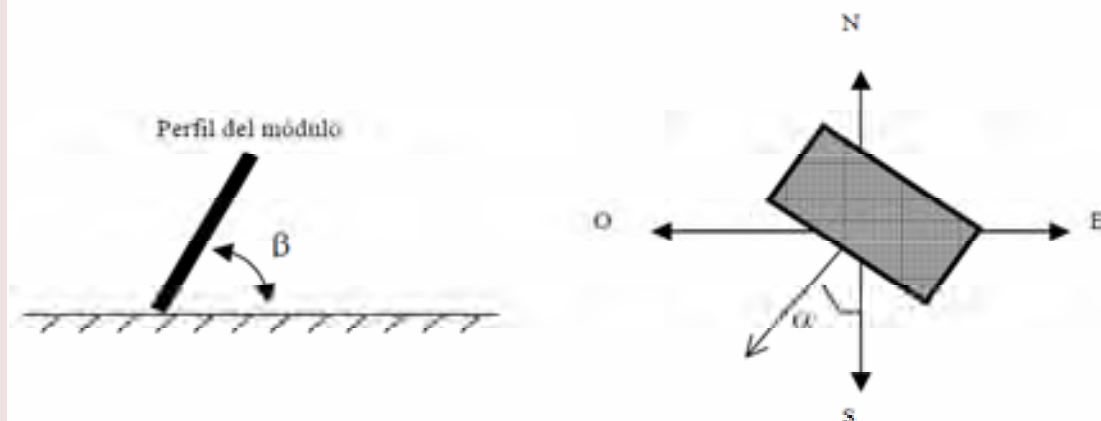


Figura 3. Orientación e inclinación de los módulos.

## 2.2. Procedimiento

- 1 Determinado el ángulo de acimut del captador, se calcularán los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecida. Para ello, se utilizará la Fig. 4, válida para una latitud ( $\phi$ ) de  $41^\circ$ , de la siguiente forma:
  - a) conocido el acimut, en la Fig. 4 se determinan los límites para la inclinación en el caso ( $\phi$ ) =  $41^\circ$ . Para el caso general, las pérdidas máximas por este concepto son del 10%, para superposición del 20% y para integración arquitectónica del 40%. Los puntos de intersección del límite de pérdidas con la recta de acimut proporcionan los valores de inclinación máxima y mínima;
  - b) si no hay intersección entre ambas, las pérdidas son superiores a las permitidas y la instalación estará fuera de los límites. Si ambas curvas se intersectan, se obtienen los valores para latitud ( $\phi$ ) =  $41^\circ$  y se corrigen de acuerdo a lo indicado a continuación.
- 2 Se corregirán los límites de inclinación aceptables en función de la diferencia entre la latitud del lugar en cuestión y la de  $41^\circ$ , de acuerdo a las siguientes fórmulas:

a) inclinación máxima = inclinación ( $\phi = 41^\circ$ ) – ( $41^\circ$  - latitud);

b) inclinación mínima = inclinación ( $\phi = 41^\circ$ ) – ( $41^\circ$  - latitud); siendo  $5^\circ$  su valor mínimo.

- 3 En casos cerca del límite y como instrumento de verificación, se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \cdot [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \phi + 10)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \alpha^2]$$

para  $15^\circ < \beta < 90^\circ$

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \cdot [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \phi + 10)^2] \text{ para } \beta \leq 15^\circ$$

Nota:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\phi$  se expresan en grados sexagesimales, siendo  $\phi$  la latitud del lugar.

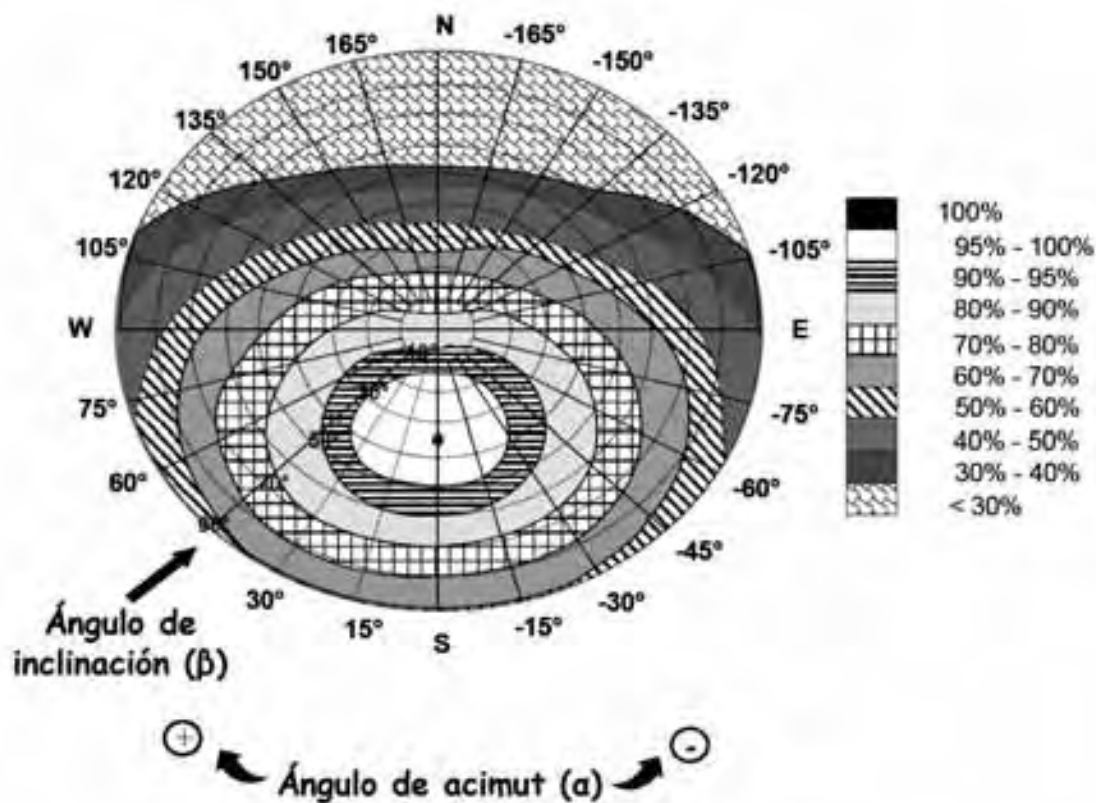


Figura 4. Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación.

### 3. Cálculo de pérdidas de radiación solar por sombras

#### 3.1. Introducción

- 1 El presente apartado describe un método de cálculo de las pérdidas de radiación solar que experimenta una superficie debidas a sombras circundantes. Tales pérdidas se expresan como porcentaje de la radiación solar global que incidiría sobre la mencionada superficie, de no existir sombra alguna.

#### 3.2. Procedimiento

- 1 El procedimiento consiste en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias del sol. Los pasos a seguir son los siguientes:
  - a) localización de los principales obstáculos que afectan a la superficie, en términos de sus coordenadas de posición acimut (ángulo de desviación con respecto a la dirección sur) y elevación (ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal). Para ello puede utilizarse un teodolito;
  - b) representación del perfil de obstáculos en el diagrama de la Fig. 5, en el que se muestra la banda de trayectorias del sol a lo largo de todo el año, válido para localidades de la Península Ibérica y Baleares (para las Islas Canarias el diagrama debe desplazarse  $12^\circ$  en sentido vertical ascendente). Dicha banda se encuentra dividida en porciones, delimitadas por las horas solares (negativas antes del mediodía solar y positivas después de éste) e identificadas por una letra y un número (A1, A2,..., D14).
- 2 Cada una de las porciones de esta figura representa el recorrido del sol en un cierto periodo de tiempo (una hora a lo largo de varios días) y tiene, por tanto, una determinada contribución a la irradiación solar global anual que incide sobre la superficie de estudio. Así, el hecho de que un obstáculo cubra una de las porciones supone una cierta pérdida de irradiación, en particu-



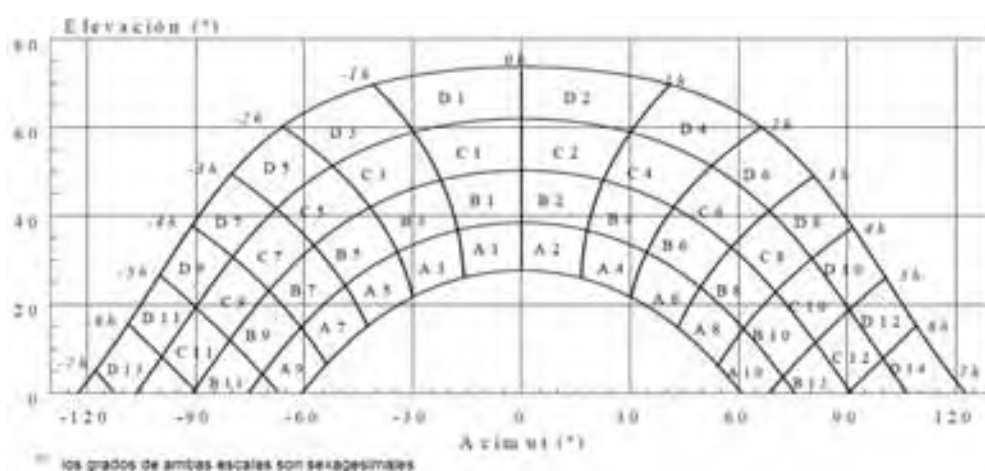


Figura 5. Diagrama de trayectorias del sol.

lar aquella que resulte interceptada por el obstáculo. Debe escogerse como referencia para el cálculo la tabla más adecuada de entre las siguientes:

	$\beta=35^\circ; \alpha=0^\circ$				$\beta=0^\circ; \alpha=0^\circ$				$\beta=90^\circ; \alpha=0^\circ$				$\beta=35^\circ; \alpha=30^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.10
11	0.00	0.01	0.12	0.44	0.00	0.01	0.18	1.05	0.00	0.01	0.02	0.15	0.00	0.00	0.03	0.00
9	0.13	0.41	0.62	1.49	0.05	0.32	0.70	2.23	0.23	0.50	0.37	0.10	0.02	0.10	0.19	0.56
7	1.00	0.95	1.27	2.70	0.52	0.77	1.32	3.56	1.66	1.06	0.93	0.78	0.54	0.55	0.78	1.80
5	1.64	1.50	1.83	3.67	1.11	1.26	1.85	4.96	2.76	1.62	1.43	1.66	1.32	1.12	1.40	3.08
3	2.70	1.88	2.21	4.97	1.75	1.90	2.20	5.44	3.83	2.00	1.77	2.36	2.24	1.60	1.92	4.14
1	3.17	2.12	2.43	5.04	2.10	1.81	2.40	5.78	4.36	2.23	1.96	2.69	2.69	1.98	2.31	4.87
2	3.17	2.12	2.33	4.99	2.11	1.80	2.30	5.73	4.40	2.23	1.91	2.60	3.18	2.15	2.40	5.20
4	2.70	1.89	2.01	4.46	1.75	1.61	2.00	5.19	3.82	2.01	1.62	2.26	2.93	2.08	2.23	5.02
6	1.79	1.51	1.65	3.63	1.09	1.26	1.65	4.37	2.68	1.62	1.30	1.58	2.14	1.82	2.00	4.46
8	0.98	0.90	1.08	2.55	0.51	0.82	1.11	3.28	1.62	1.09	0.79	0.74	1.33	1.30	1.48	3.54
10	0.11	0.42	0.52	1.33	0.05	0.33	0.57	1.98	0.19	0.49	0.32	0.10	0.18	0.71	0.88	2.26
12	0.00	0.02	0.10	0.40	0.00	0.02	0.15	0.96	0.00	0.02	0.02	0.13	0.00	0.06	0.32	1.17
14	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.22

	$\beta=90^\circ; \alpha=30^\circ$				$\beta=35^\circ; \alpha=60^\circ$				$\beta=90^\circ; \alpha=60^\circ$				$\beta=35^\circ; \alpha=-30^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0.10	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.22
11	0.06	0.01	0.15	0.51	0.00	0.00	0.08	0.18	0.00	0.01	0.27	0.78	0.00	0.03	0.37	1.26
9	0.58	0.06	0.14	0.43	0.02	0.04	0.04	0.02	0.09	0.21	0.33	0.75	0.21	0.70	1.05	2.50
7	1.80	0.04	0.07	0.31	0.02	0.13	0.31	1.02	0.21	0.18	0.27	0.70	1.34	1.28	1.73	3.79
5	3.06	0.88	0.22	0.11	0.64	0.68	0.97	2.39	0.10	0.11	0.21	0.82	2.17	1.79	2.21	4.70
3	4.14	1.16	0.87	0.67	1.55	1.24	1.59	3.70	0.45	0.03	0.05	0.25	2.90	2.05	2.43	5.20
1	4.87	1.73	1.49	1.86	2.35	1.74	2.12	4.73	1.73	0.80	0.62	0.55	3.12	2.13	2.47	5.20
2	5.20	2.15	1.88	2.79	2.85	2.05	2.38	5.40	2.91	1.56	1.42	2.26	2.88	1.96	2.19	4.77
4	5.02	2.34	2.02	3.29	2.86	2.14	2.37	5.53	3.59	2.13	1.97	3.60	2.22	1.80	1.73	3.91
6	4.46	2.28	2.06	3.36	2.24	2.00	2.27	5.25	3.35	2.43	2.37	4.48	1.27	1.11	1.25	2.84
8	3.54	1.92	1.71	2.98	1.51	1.61	1.81	4.48	2.67	2.35	2.28	4.65	0.52	0.57	0.65	1.64
10	2.26	1.19	1.19	2.12	0.23	0.94	1.20	3.18	0.47	1.64	1.82	3.96	0.02	0.10	0.15	0.50
12	1.17	0.12	0.53	1.22	0.00	0.09	0.52	1.96	0.00	0.19	0.97	2.93	0.00	0.00	0.03	0.05
14	0.22	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.08

	$\beta=90^\circ; \alpha=-30^\circ$				$\beta=35^\circ; \alpha=-60^\circ$				$\beta=90^\circ; \alpha=-60^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00	1,01
11	0,00	0,05	0,60	1,28	0,00	0,04	0,60	2,09	0,00	0,08	1,10	3,08
9	0,43	1,17	1,38	2,30	0,27	0,91	1,42	3,49	0,55	1,60	2,11	4,28
7	2,42	1,82	1,98	3,15	1,51	1,51	2,10	4,76	2,66	2,19	2,61	4,89
5	3,43	2,24	2,24	3,51	2,25	1,98	2,48	5,48	3,36	2,37	2,66	4,61
3	4,12	2,29	2,18	3,38	2,80	2,08	2,56	5,68	3,49	2,06	2,10	3,67
1	4,05	2,11	1,93	2,77	2,78	2,01	2,43	5,34	2,81	1,52	1,44	2,22
2	3,45	1,71	1,41	1,81	2,32	1,70	2,00	4,59	1,69	0,78	0,58	0,53
4	2,43	1,14	0,79	0,64	1,62	1,22	1,42	3,46	0,44	0,03	0,05	0,24
6	1,24	0,54	0,20	0,11	0,62	0,67	0,65	2,20	0,10	0,13	0,19	0,48
8	0,40	0,03	0,06	0,31	0,02	0,14	0,26	0,92	0,22	0,18	0,26	0,69
10	0,01	0,06	0,12	0,39	0,02	0,04	0,03	0,02	0,08	0,21	0,28	0,68
12	0,00	0,01	0,13	0,45	0,00	0,01	0,07	0,14	0,00	0,02	0,24	0,67
14	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,36

- 3 Estas tablas se refieren a distintas superficies caracterizadas por sus ángulos de inclinación y orientación ( $\beta$  y  $\alpha$ , respectivamente). Debe escogerse aquella que resulte más parecida a la superficie en estudio. Los números que figuran en cada casilla se corresponden con el porcentaje de irradiación solar global anual que se perdería si la porción correspondiente resultase interceptada por un obstáculo.
- 4 La comparación del perfil de obstáculos con el diagrama de trayectorias del sol permite calcular las pérdidas por sombreado de la irradiación solar que incide sobre la superficie a lo largo de todo el año. Para ello, se han de sumar las contribuciones de aquellas porciones que resulten total o parcialmente ocultas por el perfil de obstáculos representado. En el caso de ocultación parcial se utilizará el factor de llenado (fracción oculta respecto del total de la porción) más próximo a los valores 0,25, 0,50, 0,75 ó 1.

#### 4. Mantenimiento

- 1 Para englobar las operaciones necesarias durante la vida de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma, se definen dos escalones complementarios de actuación:
  - a) plan de vigilancia;
  - b) plan de mantenimiento preventivo.

#### 4.1. Plan de vigilancia

- 1 El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación son correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales (energía, tensión, etc.) para verificar el correcto funcionamiento de la instalación, incluyendo la limpieza de los módulos en el caso de que sea necesario.

#### 4.2. Plan de mantenimiento preventivo

- 1 Son operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros, que, aplicadas, a la instalación, deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.
- 2 El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico competente que conozca la tecnología solar fotovoltaica y las instalaciones eléctricas en general. La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas, así como el mantenimiento correctivo.
- 3 El mantenimiento preventivo ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles o desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.
- 4 El mantenimiento preventivo de la instalación incluirá, al menos, una revisión semestral en la que se realizarán las siguientes actividades:
  - a) comprobación de las protecciones eléctricas;
  - b) comprobación del estado de los módulos: comprobar la situación respecto al proyecto original y verificar el estado de las conexiones;
  - c) comprobación del estado del inversor: funcionamiento, lámparas de señalizaciones, alarmas, etc.;

- d) comprobación del estado mecánico de cables y terminales (incluyendo cables de tomas de tierra y reapriete de bornas), pletinas, transformadores, ventiladores/extractores, uniones, reaprietes, limpieza, etc.

# 4

## LOS MÓDULOS: TIPOS Y CARACTERÍSTICAS

Los **módulos fotovoltaicos** están formados por un conjunto de celdas, células fotovoltaicas, que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos. La potencia máxima que puede suministrar un módulo se denomina potencia pico.

Las **células fotovoltaicas** están formadas por metales sensibles a la luz que desprenden electrones cuando los fotones inciden sobre ellos. Convierten la energía luminosa, la luz, en energía eléctrica.

Las células convencionales están fabricadas con **silicio** cristalino y montadas en serie sobre los paneles o módulos. Éstos, que están conectados entre sí, captan la energía solar transformándola en energía eléctrica en forma de corriente continua. Sobre el silicio se coloca una capa fina antirreflectante que mejora su rendimiento y da a la célula un tono azulado. Sobre esta capa se coloca una malla metálica que constituye el contacto óhmico de la cara expuesta al sol<sup>1</sup>.

Los módulos pueden ser:

- **Monocristalinos.** Se componen de secciones de un único cristal de silicio. Son fácilmente reconocibles porque presentan una forma circular o hexagonal, sus esquinas están recortadas. Son los que ofrecen una mayor eficacia.
- **Policristalinos.** Están formados por pequeñas partículas cristalizadas.
- **Amorfos.** El silicio no se ha cristalizado. Las células de silicio amorfo se obtienen a partir de la deposición de capas delgadas sobre vidrio. El rendimiento suele ser menor que el de las células cristalinas.

Las células monocristalinas pueden ser de varios colores, pero las más eficaces son las negras y las azules, que permiten una mayor absorción de los rayos solares. Siempre llevan una capa antirreflectante para conseguir mayor eficacia, pero no es la única ventaja que

---

<sup>1</sup> Nuria Martín e Ignacio Fernández, La envolvente fotovoltaica en la arquitectura, Pág. 34.

aportan a los módulos. Esta capa puede dotar, además, a las células de una alta gama de colores que puede ir desde el amarillo hasta el morado.

Los paneles fotovoltaicos están formados por las células monocristalinas, que han sido encapsuladas por dos láminas de **E.V.A** (*Ethylene Vinyl Acetate*) que, entre otras cosas, actúan como una barrera contra la humedad. En la parte anterior se suele colocar un cristal y en la posterior una lámina Tedlar traslúcida.

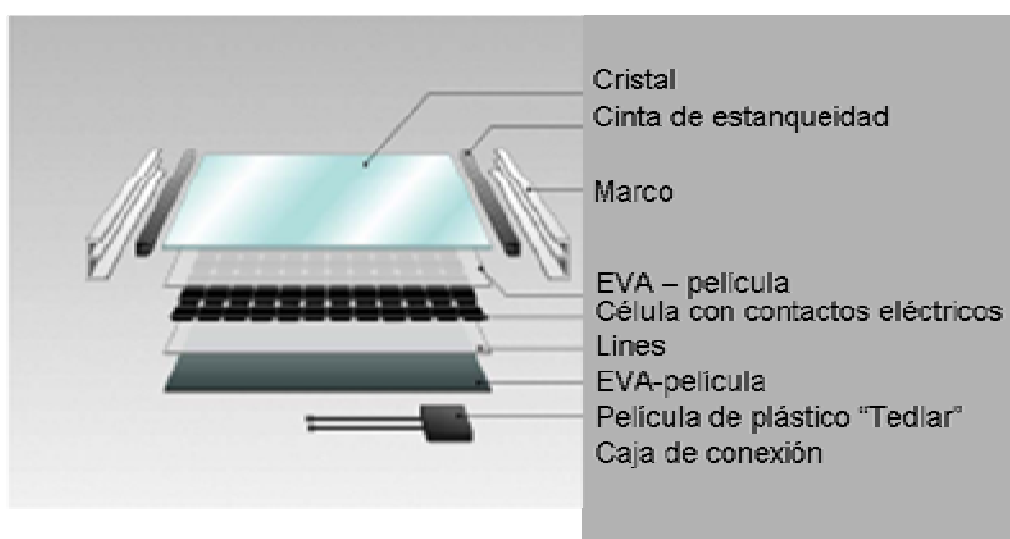


Figura 6. Estructura de un módulo fotovoltaico.

La estructura de los módulos está constituida por los siguientes elementos:

- **Cristal.** Se suele utilizar una capa de vidrio templado con el que se consigue una mayor resistencia a los cambios de temperatura y deja pasar muy bien la luz. Puede tener un espesor de 3 a 4 milímetros.
- Se suele utilizar una **capa de EVA** (Etil-vinil-acetato) con el que van protegidas las células que conforman el módulo tanto por la parte anterior como por la posterior.
- La cubierta posterior suele llevar una película de fluoruro de polivinilo (**Tedlar**). Suele ser de color blanco.



- **Cinta de estanqueidad.**
- **Marco.** Todos los componentes del módulo se enmarcan dentro de una estructura compacta perfecta.

Según afirma Nuria Martín e Ignacio Fernández<sup>2</sup> el 90% de las células comerciales se fabrican con obleas de silicio, monocristalino o multicristalino. El conocimiento de la tecnología, el alto rendimiento y su fiabilidad contrastada durante décadas las hace muy atractivas para su uso común.

Su efectividad es mayor cuanto mayor son los cristales, pero también su peso, grosor y coste. El rendimiento de las primeras puede alcanzar el 20%, mientras que el de las células de silicio amorfo puede no llegar al 1%; sin embargo, su coste y peso es muy inferior.

Ahora bien, la tecnología ha ido mejorando y, a día de hoy, los módulos de capa fina son vistos por muchos como la tecnología del futuro. Los módulos de capa fina suelen utilizar silicio amorfo. Son más económicos que los monocristalinos, pero su rendimiento también es algo menor.

En la actualidad, los módulos de capa fina suelen estar formados por telurio de cadmio (CdTe). También se está utilizando para su fabricación seleniuro de cobre e indio, materiales con los que se están obteniendo unos rendimientos más que aceptables. En pleno proceso de investigación tecnológica este nuevo campo en los módulos deparará muchas sorpresas en un corto plazo.

Pero ¿a qué nos estamos refiriendo cuando hablamos de capa fina? Existen actualmente tres tipos de tecnologías en el sector fotovoltaico. Así, hablamos de módulos monocristalinos, policristalinos, basados en el polisilicio y los de capa fina. Estos últimos, a su vez, pueden utilizar cuatro tipos diferentes de tecnologías: a-Si (silicio amorfo), CdTe (telurio de cadmio), CIS (cobre, indio y selenio) o CIGS (cobre, indio, galio y selenio).

Los módulos de capa fina, o *thin film*, se caracterizan por su coste menor en relación a los módulos monocristalinos y policristalinos. Em-

---

<sup>2</sup> Nuria Martín, La envolvente en la Fotovoltaica, Pág. 36.

plean materiales fotosensibles extremadamente delgados. Son células más eficientes en la utilización de materia prima y energía durante su producción y son menos intensivas en mano de obra.

Los módulos de capa fina tienen varias ventajas:

- Estéticamente son muy atractivos.
- Son muy recomendables para soluciones de integración solar fotovoltaica en edificios.
- Son más económicos que los módulos tradicionales.
- Su rendimiento ante cambios bruscos de temperatura es muy bueno.

Un ejemplo de instalación realizada con módulos de capa fina es la Biblioteca Táialà/Fontajau de Girona. Este proyecto fue realizado por SunTechnics, empresa del Grupo Conergy, después de haber ganado el concurso público correspondiente.



**Foto 27.** Instalación de capa fina realizada en la Biblioteca Táialà/Fontajau de Girona por el Grupo Conergy.

Esta instalación tiene una potencia de 18,72 kWp y utiliza módulos de capa fina Firts Solar FS-65. La convocatoria del concurso público de adjudicación tenía como finalidad aumentar el rendimiento de una cubierta, con una inclinación y orientación alejadas de los valores óptimos para un campo fotovoltaico, con tecnología cristalina.



**Foto 28. Biblioteca Táialà/Fontajau de Girona.**

Este tipo de módulo es de uso habitual en instalaciones realizadas en proyectos de integración arquitectónica, ya que el aspecto uniforme del panel resulta estéticamente muy atractivo.

El mercado de la capa fina en España no podría ser más favorable. Según datos recogidos en el informe anual 2008 de ASIF, el pasado año las tecnologías de capa fina fueron las que sufrieron un mayor crecimiento en los últimos tres años. Sirva como ejemplo que, en 2007, crecieron un 133%.

Según diversos estudios publicados recientemente sobre el mercado de la capa fina, éste crecerá de los 535,3 millones de euros en 2008 a 1.145 millones en 2010; 1.844 en 2012 y 2.417 en 2015. Sin duda, un pa-

norama muy interesante si, además, se tiene en cuenta que las previsiones apuntan a que este tipo de tecnologías ocuparán más de la mitad de la cuota de mercado en el año 2015.



Figura 7. Gráficos publicados en el informe anual 2008 de ASIF.

Además de los módulos tradicionales, la industria fotovoltaica está en constante transformación buscando nuevas soluciones para aplicar en las instalaciones solares fotovoltaicas. En este apartado, la integración solar es una de las grandes beneficiadas. Así, el vidrio fotovoltaico o las tejas fotovoltaicas se consolidan como alternativas a tener en cuenta.





# 5

## EJEMPLOS DE INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA

### 5.1. Centro de visitantes Bahía de Cádiz

El Grupo Conergy, en colaboración con IFM, ha instalado en la localidad gaditana de San Fernando un sistema fotovoltaico integrado con una potencia de 6,9 kWp. Al año, esta instalación generará 8.716 kWh de energía no contaminante. El centro de visitantes *Bahía de Cádiz* se ha convertido en un referente claro del binomio diseño arquitectónico y sistemas fotovoltaicos.

En la fachada del edificio se han colocado un total de 64 módulos de 108 Wp cada uno. Tienen una película translúcida en el dorso laminado y dos inversores STW 2600 en los que se han distribuido 32 módulos en dos cadenas de 16. El proyecto requería de unas características determinadas y SunTechnics, empresa responsable del proyecto, siempre busca la mejor solución para cada sistema.

En cada panel se colocaron 28 células de 156 x 156 mm, con una distancia de 5 mm. Si bien las células pueden ser monocristalinas o policristalinas, en esta ocasión se optó por las monocristalinas. Su característica forma, con las esquinas recortadas, permitía, entre cosas, una mayor entrada de luz al interior del edificio. Los módulos utilizados en esta integración fotovoltaica integrada tienen una transparencia del 20%.

Las células monocristalinas pueden ser de varios colores, pero las más eficaces son las negras y las azules que permiten una mayor absorción de los rayos solares. En este caso, se han utilizado células negras. Siempre llevan una capa antirreflectante para conseguir mayor eficacia, pero no es la única ventaja que aportan a los módulos. Esta capa puede dotar, además, a las células de una alta gama de colores que puede ir desde el amarillo hasta el morado.

Los paneles fotovoltaicos están formados por las células monocristalinas, que han sido encapsuladas por dos láminas de E.V.A (*Ethylene*



Foto 29. Imágenes del Centro de Visitantes Bahía de Cádiz.



*Vinyl Acetate*) que, entre otras cosas, actúan como una barrera contra la humedad. En la parte anterior se ha colocado un cristal de 8 mm y en la posterior una lámina Tedlar traslúcida para tener un equilibrio entre el sombreado del edificio y la luz natural que dejan pasar los módulos al interior del edificio.

Además de sus características técnicas, hay que añadir un valor importantísimo a estos paneles, su altísima calidad. Cada uno fue realizado de forma artesanal e individual.

Se han utilizado unos paneles traslúcidos especiales, creados en exclusiva para este edificio. El proyecto arquitectónico hizo necesario la fabricación de unos módulos muy concretos. Las grandes dimensiones de estos módulos, 2.400 x 350 x 8 mm, se convirtieron en uno de los motivos por los que se optó por la fabricación de estos módulos a medida. Este edificio significativo integra a la perfección el diseño con los sistemas más avanzados para la obtención de energía a través de materias renovables.

Este proyecto se realizó para el Centro de Visitantes *Bahía de Cádiz*, de la empresa Egmasa, dependiente de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Con esta instalación, situada en las marismas del Parque Natural Bahía de Cádiz, predica con el ejemplo al apostar por una energía limpia y renovable.

## 5.2. Casa de la Juventud de San Sebastián de los Reyes

SunTechnics ha realizado en España otras instalaciones fotovoltaicas integradas que se han convertido en toda una referencia. Este es el caso de la Casa de la Juventud en San Sebastián de los Reyes, para la que se utilizaron módulos estándar Conergy C123 P. Los inversores fueron 20 de SMA SWR 2.

Sobre la fachada de este edificio, con unas dimensiones de 55 metros de ancho y casi 23 de altura, se implantó un sistema fotovoltaico de una potencia máxima de 61,5 kWp.



**Foto 30. Fachada de la Casa de la Juventud de San Sebastián de los Reyes (Madrid).**

Las células utilizadas en esta ocasión han sido policristalinas y de color azul, color transferido por la capa antirreflectante. Las dimensiones de los módulos son de 1.499 mm x 662 mm.

### **5.3. Edificio Bioclimático Trasluz**

El edificio bioclimático Trasluz, que se puso en marcha en el año 2005, se encuentra ubicado en la calle Golfo de Salónica, nº 73, en el municipio de Madrid.

Los participantes en este proyecto fueron la propiedad, Hoteles e Inmuebles, S.A., la empresa encargada del diseño, Emilio M. Mitre y Asociados, S.L., y la empresa Gestión Técnica de Montajes y Obras, S.A.

Lo interesante del Edificio Bioclimático Trasluz es que, como edificio de oficinas, responde, por un lado, a los esquemas normales de mer-



cado en cuanto a calidad de construcción, coste e imagen, y, por otro, hace un amplio uso de las energías renovables en su acondicionamiento ambiental interior. Gracias a esto y al diseño bioclimático, su explotación es más económica (ya que produce "negawatios hora" o energía convencional no consumida), proporcionando una mayor calidad ambiental interior con menor índice de contaminación.



**Foto 31. Edificio bioclimático Trasluz.**

Esta capacidad de dar una respuesta simultánea y de alta calidad a los requerimientos de confort y coste, tradicionalmente considerados como contradictorios, es lo que ha hecho que el edificio Trasluz merezca el reconocimiento del comité español del *Green Building Challenge*.

El edificio se distribuye en tres alas de oficinas en torno a un atrio central, definiendo una planta en forma de T. La central, o tronco de la T, tiene ocho plantas de altura, mientras que las alas laterales tienen cinco plantas. En total, el edificio tiene, aproximadamente, 7.100 m<sup>2</sup> construidos sobre rasante.

Adicionalmente, el edificio tiene dos plantas de aparcamiento subterráneo que ocupan todo el solar y permiten 212 plazas de aparcamiento.

Entre los elementos constructivos, lo primero que llama la atención es la fachada ventilada, construida con un sistema panelizado de madera y acabado exterior de pizarra. Se consigue un grosor muy reducido, con una fachada muy ligera y un altísimo aislamiento térmico. Al ser la madera un material muy poco conductor, se suprimen los puentes térmicos tanto en los bordes de los forjados como en el perímetro de las ventanas. El aislamiento empleado es de lana de roca y, antes que la pizarra, se ha colocado un revestimiento sintético denominado Tyvek que es impermeable y transpirante.



**Foto 32. Fachada ventilada del edificio Trasluz.**

La fachada se completa con vidrios reflectantes y un conjunto de parasoles de aluminio, fijos en el lado sur y móviles motorizados en dirección este y oeste. En la fachada este, los parasoles se encuentran automatizados para seguir la dirección de los rayos solares.



Las salas de oficinas disponen de ventiladores de techo individuales que sirven de apoyo a la climatización artificial.

Además de la arquitectura bioclimática, el edificio tiene una instalación solar fotovoltaica formada por 168 módulos BP Solar con una potencia instalada de 20 kWp para la producción de electricidad.

La producción anual es de 20.000 kWh, lo que representa, aproximadamente, un 10% del consumo eléctrico del edificio.

Además, para el ahorro energético, la iluminación de las zonas comunes está automatizada mediante detectores de presencia, células fotoeléctricas y programación horaria.



**Foto 33. Instalación solar fotovoltaica del edificio Trasluz.**

Todas las instalaciones del edificio son gestionadas por un sistema de control centralizado desde el que se ajustan y supervisan los parámetros de funcionamiento de cada una de las instalaciones, estableciendo los horarios de funcionamiento de cada equipo, fijando las

consignas de temperatura de cada zona y sirviendo, además, como herramienta básica para el mantenimiento del edificio.

Trasluz dispone de un jardín con cubierta ecológica que recoge todo el agua de lluvia, disminuyendo el consumo de la red de agua potable exterior.



**Foto 34. Cubierta ecológica del edificio Trasluz.**

El edificio ha sido concebido con criterios de protección del medio ambiente, de forma que permite el desmontaje y la reutilización de un porcentaje muy elevado de los componentes constructivos.

El Edificio Trasluz cumple la importante misión de divulgación de las energías renovables y el ahorro energético.

La inversión total fue de 8,3 M€ y la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid subvencionó esta instalación con un importe total de 148.465 €.

#### 5.4. Edificio Bioclimático sede de la Fundación Metrópoli

La Fundación Metrópoli es una institución española de proyección internacional sin ánimo de lucro cuya misión es contribuir a la innovación y desarrollo sostenible de las ciudades y territorios, promoviendo la investigación y aplicando los principios del Desarrollo Sostenible.

Se encuentra ubicado en la Avda. Bruselas, nº 29, de Alcobendas (Madrid), y las obras finalizaron en noviembre de 2003.

Los participantes en el proyecto fueron la Fundación Metrópoli para la Innovación y el Diseño del Territorio, la Constructora Ávalos, y Miyabi.



Foto 35. Edificio de la Fundación Metrópoli.

El edificio se ha concebido con carácter experimental integrando dos criterios:

- La creación de un lugar para la innovación y la creatividad.
- El compromiso bioclimático.

El diseño del edificio se plantea mediante criterios arquitectónicos, instalaciones bioclimáticas y sistemas constructivos que fomentan el ahorro y la eficiencia energética.

### La arquitectura del edificio

#### La luz

La luz es el eje central del proyecto. Los lucernarios del atrio también son captadores energéticos e introducen la luz de forma tamizada en el corazón del edificio.

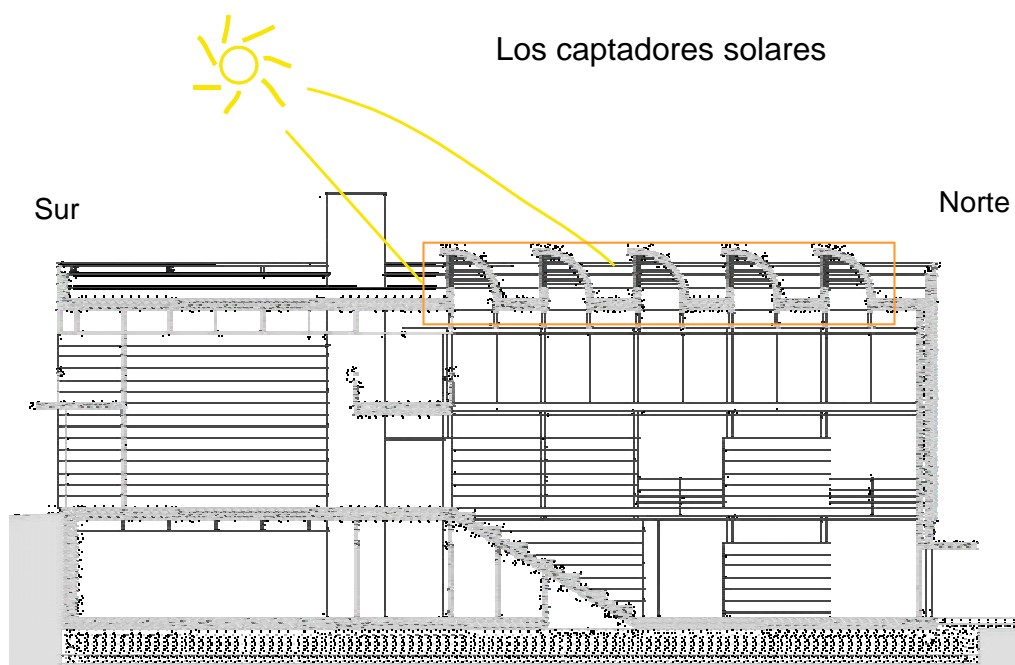


Figura 8. Esquema de situación de los captadores solares en el edificio de la fundación Metrópoli.

#### El atrio

Es el elemento central del proyecto. Es un espacio abierto que conecta todas las dependencias y que simplifica la comprensión del edificio en su conjunto. Tiene radiación solar directa en invierno, incorporando más luz y más energía al edificio y está protegido en verano.

## La piel del edificio

Sólo se han abierto huecos en los lugares necesarios por motivos de iluminación o de conexión visual. Cuando la superficie exterior es acristalada aparece siempre una segunda piel que permite matizar las condiciones de aislamiento, captación de energía o relación visual. En la base, el edificio es de doble lámina de hormigón con aislamiento térmico interior y lámina de grava que permite el paso de conductos de ventilación.

## Flexibilidad

El edificio está totalmente modulado. El espacio interior del edificio permite usos y compartimentaciones flexibles y diversas.

## Sinceridad constructiva

La concepción del edificio responde al concepto de arquitectura experimental bioclimática. En la cubierta se ubican los paneles solares, los equipos de producción de frío y de calor, los depósitos de acumulación de agua caliente y fría, los captadores energéticos y los sistemas de regulación. En la fachada se sitúan los paneles fotovoltaicos y el sistema de lamas.



Foto 36. Paneles fotovoltaicos en la fachada del edificio de la Fundación Metrópoli.

### **Eco-tecnología**

Se consideran conceptos relacionados con la inercia térmica, orientación, sistemas de ventilación y refrigeración, junto con la tecnología de última generación orientada al ahorro energético y al uso de energías alternativas.

### **Reciclaje**

En la elección de los materiales y en la manera de colocarlos en el edificio se ha tenido en cuenta este concepto: utilización de grava, colocación de la piedra exterior reutilizable, los paneles de madera interior, los forjados prefabricados y vistos, la propia estructura metálica, los paneles de vidrio, etc.

### **Materiales**

La existencia de suelos radiantes y techos fríos ha condicionado el uso de pavimentos y techos de hormigón. En el interior, las paredes son de vidrio y madera.

### **El jardín mineral**

Se ha propuesto un jardín mineral con gravas de distintas tonalidades cromáticas y árboles que apenas necesitan agua y que permiten filtrar toda el agua de lluvia.

### **Los componentes bioclimáticos**

Los componentes bioclimáticos del edificio son:

- Orientación.
- Captadores solares.
- Almacenes energéticos: los cerramientos están compuestos por masas de gran inercia térmica que actúan como acumuladores de energía y transmisores.



## La ventilación y la energía geotérmica

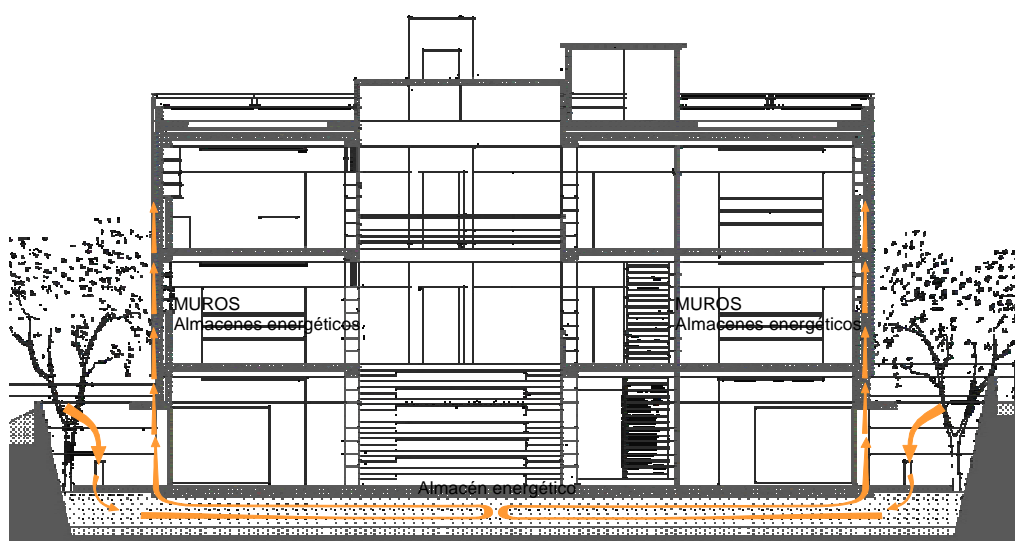
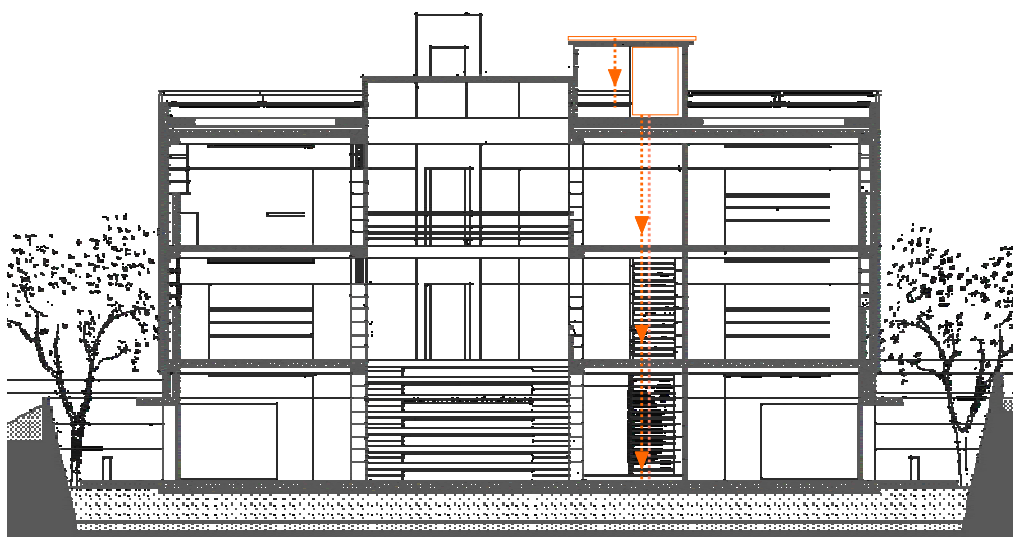


Figura 9. Esquema de ventilación y energía geotérmica en el edificio de la Fundación Metrópoli.

- Ventilación y energía geotérmica: el edificio está en sobrepresión debido a la entrada de aire exterior a través del sistema de ventiladores. La energía geotérmica del subsuelo se transmite al almacén energético situado bajo el edificio y, desde éste, se introduce a los espacios interiores mediante canalizaciones.
- Ventanas motorizadas: apertura automática de las ventanas para evitar el recalentamiento del aire en la parte superior del edificio.
- Lamas eléctricas: regulan el nivel de intensidad luminosa y protección de la radiación solar directa en verano.
- Paneles fotovoltaicos integrados en fachada: 24 módulos *glass-glass* policristalinos que generan 2,189 kWp.
- Paneles solares térmicos de alta tecnología: para producción de frío y calor.
- Máquina de absorción para la producción de frío.

## Suelos radiantes



**Figura 10. Esquema de funcionamiento de los suelos radiantes instalados en el edificio de la Fundación Metrópoli.**

- Suelo radiante: en invierno permite el suministro de agua caliente procedente de los paneles solares y, en verano, agua enfriada con la máquina de absorción.
- Techos fríos: genera un efecto cueva que equilibra el comportamiento térmico global del edificio.
- Sistemas inteligentes de regulación: controlan electrónicamente la climatización según la demanda energética de los espacios interiores, las condiciones térmicas exteriores y la energía acumulada en los depósitos procedente de la energía solar.

Resultados obtenidos	
Ahorro energético anual	57.533 kWh/año
Reducción de CO <sub>2</sub>	287.375 kg CO <sub>2</sub> /año
Coches equivalentes	71,3 coches/año
Árboles equivalentes (en 25 años)	130.625 árboles
Bosques equivalentes (en 25 años)	31,1 ha

### 5.5. Complejo socio-sanitario del Proyecto Alzheimer de la Fundación Reina Sofía

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 11. Edificio del Proyecto Alzheimer .

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 m<sup>2</sup>, en el nuevo PAU de Vallecas, en Madrid. Todos los edificios del complejo se han proyectado y construido con los más elevados estándares de arquitectura bioclimática y utilización de energías renovables.



**Foto 37. Fachada principal del edificio del Proyecto Alzheimer.**

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 fa-

chadas 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.



**Foto 38. Lamas fotovoltaicas instaladas en el edificio del Proyecto Alzheimer.**

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 60° y una separación de 45 cm 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 esta aplicación.





**Foto 39. Montantes verticales para la fijación de las lamas fotovoltaicas.**

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 formas rectangular y trapezoidal y, en este último 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 60° con que se colocan las lamas en la fachada, se producirá 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 cada 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 16,9 kW nominales.

El sistema está monitorizado y muestra la potencia puntual de la instalación, la energía producida acumulada y las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas.

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.

### 5.6. Instalación de energía solar fotovoltaica en el Centro Comercial Madrid-2 La Vaguada

El centro comercial La Vaguada se encuentra ubicado en la calle Monforte de Lemos, 36, en el municipio de Madrid.

La instalación de energía solar fotovoltaica en dicho centro comercial fue puesta en marcha en abril de 2007, y los participantes en el proyecto fueron el propio Centro Comercial Madrid-2 La Vaguada y OpciónDos.



Foto 40. Centro Comercial Madrid-2 La Vaguada.

El centro comercial La Vaguada cuenta con una instalación fotovoltaica de 100.388 Wp conectada a red, teniendo la peculiaridad de utilizar 10.148 Wp de vidrio fotovoltaico, integrado arquitectónicamente en zonas acristaladas del centro comercial. Además, un sistema de monitorización unido a unas pantallas distribuidas en el centro comercial proporcionan informaciones del sistema instalado y de carácter didáctico acerca de la energía solar.

La instalación consta de tres campos fotovoltaicos, el campo nº 1 sobre la cubierta del centro comercial, el campo nº 2 sobre unas pirámides acristaladas de los accesos interiores del centro comercial y el

campo nº 3 se ubica en la marquesina de la entrada principal del centro comercial (calle Monforte de Lemos, 36).



**Foto 41. Campo Fotovoltaico nº 1.**

El campo nº 1 consta de 384 módulos fotovoltaicos y 16 inversores. Cada inversor se encuentra conectado a 24 módulos, configurados en 2 ramas en paralelo con 12 paneles en cada rama. Los inversores son de 5 kW de potencia nominal y cada módulo tiene una potencia nominal de 235 Wp, siendo la potencia total de la generación de 90.240 Wp. Los módulos son marca AIMEX M-235. Todos ellos están orientados al sur con una inclinación de 25° respecto de la horizontal, en hileras espaciadas, según los requerimientos técnicos del IDAE.

El campo nº 2 tiene 52 módulos de vidrio fotovoltaico y un inversor. Al inversor se conectan los 52 módulos, que se encuentran configurados en 2 ramas en paralelo con 26 paneles en cada rama. El inversor es de 5 kW de potencia nominal y cada módulo tiene una potencia nominal de 95 Wp, siendo la potencia total de la instalación de 4,94 kWp. Los módulos son marca Ertglass VSG "Standard" de Ertex-Solar.

El campo nº 3 está formado por 24 módulos de vidrio fotovoltaico y





Foto 42. Campo Fotovoltaico nº 2.



Foto 43. Campo Fotovoltaico nº 3.

un inversor. El inversor está conectado a los 24 módulos, configurados en 2 ramas en paralelo de 12 paneles en cada rama. El inversor es de 5 kW de potencia nominal y cada módulo tiene una potencia nominal de 217 Wp, siendo la potencia total de la instalación de 5,208 kWp. Los módulos son marca Ertglass VSG de Ertex-Solar.



**Foto 44. Estructuras de los módulos fotovoltaicos del campo nº 1.**

Se han utilizado inversores en todos los campos de inyección a red SMA Sunny Mini Central 5000 A, de 5.000 W de potencia nominal. Dichos inversores incorporan circuitos que monitorizan y controlan las prestaciones del sistema fotovoltaico de forma completamente automática.

Los módulos fotovoltaicos pertenecientes al campo nº 1, se han colocado sobre estructuras fabricadas 100% con plástico reciclado, sin cloro (HDPE), de alta resistencia, larga vida y sin necesidad de realizar perforaciones en la cubierta. Están orientados al sur e inclinados 25° respecto de la horizontal, formando hileras espaciadas cada una respecto de la anterior según los requerimientos técnicos del pliego de condiciones del IDAE para que no se produzcan sombras y garantizando como mínimo 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno.

## Resultados

### Beneficios - impactos positivos

La utilización de sistemas fotovoltaicos en zonas transitables, así como la utilización de pantallas con información didáctica sobre la energía solar, hacen que los 25 millones de visitantes que tiene el centro comercial al año puedan recibir información y ver cómo funciona la energía solar fotovoltaica.

Los centros comerciales son grandes consumidores energéticos; así, esta instalación permite liderar una serie de acciones destinadas a reducir la huella energética del centro comercial y cuidar el medio ambiente.

INSTALACION SOLAR FOTOVOLTAICA	
Nº de módulos	384
Nº de vidrios Fotovoltaicos	76
Superficie	752 m <sup>2</sup>
Modelo de los módulos	AIMEX M 235
Modelos de los vidrios	Ertglass VSG
Potencia Total	100.388 Wp
Energía Generada	141.044,814 kWh/año

La instalación solar fotovoltaica supone una disminución de contaminantes emitidos a la atmósfera debido a la obtención de energía por medio de energías alternativas y limpias como la energía solar. La instalación evita la emisión de 141,045 toneladas de CO<sub>2</sub> y 1.410,45 kg de SO<sub>2</sub> anuales, que ayuda al cuidado del medio ambiente.

Para la realización de este proyecto fue necesaria una inversión de 656.000 €, de los cuales 200.000 € (30,5% de la inversión necesaria) fueron aportados por la Comunidad de Madrid.

Se estima que, en un periodo de 12 años, se amortizará la inversión.



## 5.7. Instalación solar fotovoltaica en Torre Garena

De la mano de Grupo Casabella Proyectos Inmobiliarios S.A., se creó el "Parque de Negocios Garena Plaza", que es como se denomina el conjunto de edificios sobre el que se eleva "Torre Garena". Forma parte de la actuación urbanística Ciudad Empresarial Alcalá Garena, como parte del plan desarrollado por las administraciones Autonómica y Local, con objeto de incrementar el valor estratégico y de oportunidad de desarrollo de la actividad económica del "Corredor del Henares".



Foto 45. Edificio Torre Garena.

Torre Garena se encuentra localizado en la Avda. Juan Carlos I, nº 13, en el municipio madrileño de Alcalá de Henares, habiendo formado parte del proyecto el Grupo Casabella Proyectos Inmobiliarios, S.A., BP Solar y FCC Construcción Madrid Edificación III, que finalizó el 23 de noviembre de 2005.

Se trata de un edificio que permite la adecuada disposición de oficinas y es un volumen visible a larga distancia gracias, en gran parte, a su cubrición de estructura espacial.

Ubicado fuera del centro histórico, con sus 17 plantas, se ha construido el edificio más alto de la ciudad. Se presenta como una estructura de hormigón de fachadas acristaladas y provisto de los equipamientos más avanzados, entre los que se han cuidado especialmente los que se refieren a la eficiencia energética del edificio, destacando su fachada sur totalmente cubierta de paneles fotovoltaicos para transformar la fuerte insolación en energía eléctrica gratuita.

### **Edificio de oficinas**

El edificio presenta una altura de 75,60 m y los espacios de oficinas tienen la máxima calidad, con pocos espacios oscuros interiores.

En la planta sótano se ubican las telecomunicaciones, con una centralita de fibra óptica y el equipo de bombeo de agua contra incendios.

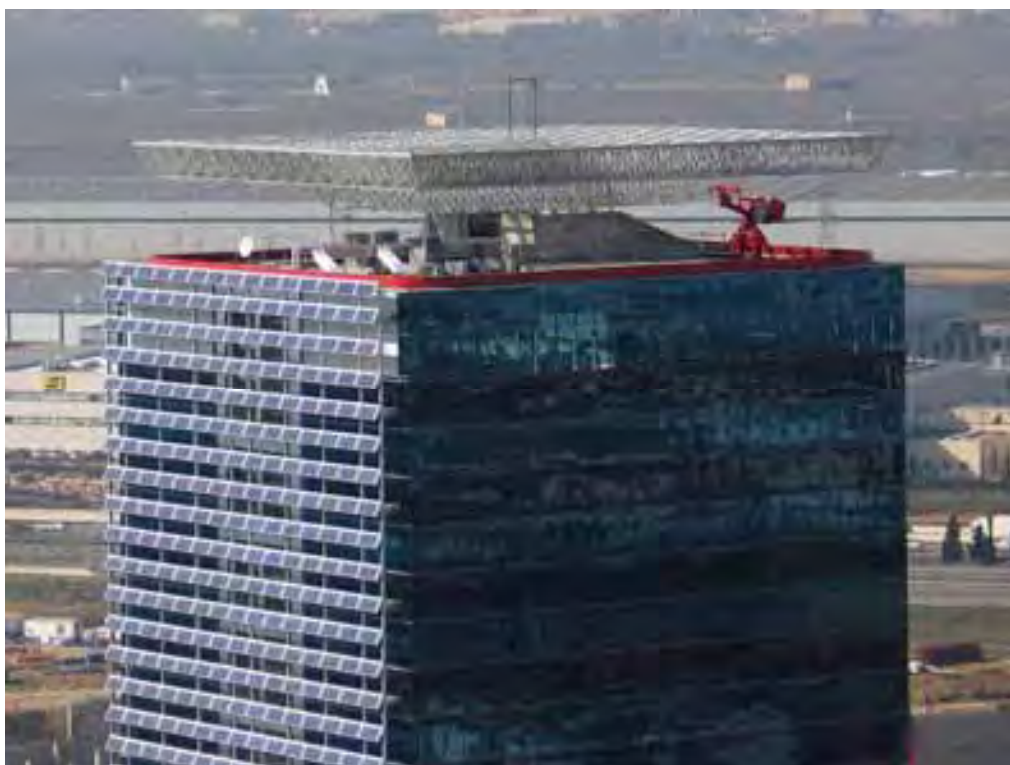


Foto 46. Instalación fotovoltaica en la fachada sur de Torre Garena.

El “zócalo” inferior está formado por tres niveles: un vestíbulo de doble altura, una entreplanta con los equipos de elevación de agua sanitaria y armarios eléctricos, y una planta técnica.

Existen 14 plantas de oficinas por encima de los niveles comerciales, que constituyen una U con los lados en orientación este, oeste y norte.

En la cubierta se ubica una terraza accesible y, por encima, está la cubierta espacial que marca un diseño original al edificio y sirve de soporte a un entramado de paneles fotovoltaicos.

### Instalación fotovoltaica

La instalación fotovoltaica de la Torre Garena se compone de 882 paneles organizados de la siguiente forma:

- Fachada Sur: 720 módulos opacos rectangulares modelo BP380s organizados en 48 hileras con 15 módulos cada una. Los módu-



Foto 47. Cubierta espacial de Torre Garena.



los fotovoltaicos están formados por células de silicio policristalino conectadas en serie. Las células están encapsuladas en un cristal de alta transmisión lumínica y capas de polímero resistente a las radiaciones UV.

- Cubierta: 72 módulos opacos rectangulares modelo BP380s y 90 módulos cuadrados transparentes modelo *glass-glass*.



Foto 48. Fachada sur y cubierta de Torre Garena.

Los módulos fotovoltaicos producen corriente continua que se envía a unos inversores en la planta técnica, que la convierten en alterna antes de verterla a la red.

### Aplicación del CTE

El Código Técnico (CTE) contempla que determinados edificios, en función de su superficie construida, deben tener una contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica. Torre Garena es un edificio de uso administrativo con 6.500 m<sup>2</sup> construidos (el Código Técnico para edificios administrativos obliga a hacer instalación a partir de 4.000 m<sup>2</sup>).

El CTE, en función de la zona climática y la superficie del edificio, marca una potencia pico mínima a instalar. Torre Garena debería tener un mínimo de 12,10 kWp, pero se ha instalado 75,84 kWp.

El CTE obliga a incorporar elementos necesarios de seguridad y protección para las personas y la instalación, así como a tener un plan de mantenimiento de la instalación. Así, en Torre Garena existe una pasarela exterior por cada planta que permite tener acceso a todos y cada uno de los módulos de la fachada sur, así como a sus conexiones. En la estructura espacial de cubierta existen unos pasillos para el mismo fin.

Instalación Fotovoltaica	
Nº de módulos	882
Potencia Total	75, 84 kWp
Energía generada (aprox)	98.580 kWh/año

### Resultados

Desde abril de 2006 hasta noviembre de 2007, se han obtenido los siguientes resultados:

Resultados obtenidos	
Energía generada	152.843 kWh
Reducción de CO <sub>2</sub>	99.248 kg

### Inversión

La inversión en la instalación fotovoltaica supuso un desembolso de 564.000 €, mientras que la inversión en la estructura de la fachada sur y en la estructura espacial de la cubierta fue, aproximadamente, de 500.000 €. Se solicitó y obtuvo un préstamo ICO-IDAIE.

El conjunto de estas instalaciones convierte al edificio en un exponente de máximo nivel dentro de la tecnología disponible actualmente.







Fundación  
de la Energía  
de la  
Comunidad  
de Madrid

Energy Management Agency

Intelligent Energy



Europe

[www.fenercom.com](http://www.fenercom.com)

