



## TÍTULO

# SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA APLICADOS A VIVIENDAS RESIDENCIALES EN ENTORNO URBANO

## AUTOR

**Carlos Sánchez Pacheco**

Tutora Investigación  
Curso

ISBN

©

©

**Esta edición electrónica ha sido realizada en 2010**

Nuria Martín Chivelet

**POP Tecnología de los Sistemas de Energía Solar  
Fotovoltaica (2008/2009)**

978-84-693-3769-1

Carlos Sánchez Pacheco

Para esta edición, la Universidad Internacional de Andalucía



## Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas 2.5 España.

### Usted es libre de:

- Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra.

### Bajo las condiciones siguientes:

- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciadador (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
- **No comercial.** No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
- **Sin obras derivadas.** No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
  
- *Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.*
- *Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.*
- *Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.*



**TRABAJO FIN DE MASTER DEL MASTER OFICIAL “TECNOLOGÍA DE  
LOS SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA”**

**CURSO 2008/2009**

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCÍA (UNIA)**

**TITULO:**

***“SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA APLICADOS A  
VIVIENDAS RESIDENCIALES EN ENTORNO URBANO”***

**AUTOR: CARLOS SANCHEZ PACHECO**

**TUTORA: NURIA MARTÍN CHIVELET**

**FECHA: OCTUBRE 2009**



## **INDICE:**

- 1) INTRODUCCIÓN.**
  - 1.1) Objeto del trabajo
  - 1.2) Referencias históricas y situación actual
- 2) VENTAJAS DE TECNOLOGÍA FV APLICADA A EDIFICACIÓN**
  - 2.1) Ahorro energético
  - 2.2) Consideraciones medioambientales
  - 2.3) Consideraciones arquitectónicas
- 3) MARCO NORMATIVO.**
  - 3.1) Normativa
  - 3.2) CTE
- 4) ESTADO DEL ARTE**
  - 4.1) Según el tipo de célula solar
  - 4.2) Según el objetivo de la instalación solar
  - 4.3) Generalidades de los sistemas
  - 4.4) Sistemas con generadores estáticos
  - 4.5) Sistemas con generadores de seguimiento solar
  - 4.6) Sistemas sin integración arquitectónica
  - 4.7) Sistemas con integración arquitectónica
  - 4.8) Sistemas en edificios históricos y/o protegidos
- 5) INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA**
  - 5.1) Sistemas existentes
  - 5.2) Sistemas en vías de desarrollo
  - 5.3) Sistemas híbridos
- 6) EVALUACION DE COSTES**
- 7) MANTENIMIENTO**
- 8) CONCLUSIONES**
- 9) BIBLIOGRAFÍA**
- 10) TERMINOLOGÍA**

**Anexo I:** Cálculo del potencial de FV en edificios para un edificio tipo.

**Anexo II:** Determinación de la potencia a instalar en instalación FV

**Anexo III:** Criterios generales de cálculo de un sistema generador fotovoltaico.

## 1) INTRODUCCION

La necesidad cada vez mayor de generación distribuida de energía eléctrica es, en la actualidad, una de las soluciones generalmente aceptadas para el ahorro energético y el desarrollo sostenible a nivel social y económico.

Esta generación distribuida, evitando centrales de generación y distribución masiva, permite acondicionar la generación energética a las necesidades particulares de los edificios a suministrar, ya sean de uso industrial, comercial, hospitalario, residencial, etc.

Pare ello, la energía solar fotovoltaica juega un papel fundamental, entre otras posibilidades. Esta tecnología es de aplicación mayoritaria en el Sector Terciario e Industrial, tal como se recoge en la Sección HE5 del Código Técnico de la Edificación (CTE), en el cual los edificios de los usos de hipermercados, multitiendas y centros de ocio, nave de almacenamiento , administrativos , hoteles y hostales , hospitales y clínicas y pabellones de recintos feriales, incorporarán sistemas de captación y transformación de energía solar por procedimientos fotovoltaicos cuando superen los límites de aplicación establecidos en el CTE. No obstante, el presente trabajo limitará su estudio a edificaciones de uso residencial en entornos urbanos.

Hasta hace no mucho, las instalaciones fotovoltaicas se situaban más frecuentemente en las denominadas huertas solares, situadas en el entorno rural. Pero debido a un cambio en la legislación, el Gobierno fomenta ahora más la instalación de la fotovoltaica sobre tejados, que normalmente son industriales, pero que también pueden ser bloques de vecinos que deciden darle una utilidad a su tejado asegurándose una renta durante los más de 25 años de promedio que dura una instalación.

Las ventajas que presenta la integración de sistemas fotovoltaicos en edificios residenciales son evidentes. En primer lugar supone un apoyo para cubrir las necesidades de consumo de los edificios, se aprovechan superficies no utilizadas en cubiertas, se ahorra materiales de revestimiento (tejas, vidrios, cubiertas, etc.) si el sistema está realmente integrado, se ahorran pérdidas adicionales de conducción y distribución de la energía eléctrica. Así se puede adaptar la potencia del sistema a las necesidades locales de consumo. Incluso en sistemas conectados a red, en los que interese reducir los picos de demanda eléctrica a la red en determinadas horas.

La aceptación pública de estos sistemas de energías renovables se deriva del convencimiento en las ventajas reportadas por los mismos.

No obstante, existen también desventajas fundamentadas en la dificultad que ofrecen los edificios residenciales por la escasez de espacio disponible para la ubicación de módulos. Otros condicionantes arquitectónicos, como son la orientación e inclinación de los módulos, el sombreado de los generadores, la ventilación de los módulos, el aumento de la complejidad de las instalaciones del edificio, habrán de tenerse en cuenta por el arquitecto redactor del proyecto residencial y los ingenieros que diseñen el sistema. Asimismo, se pueden considerar desventajas, la necesidad de gestión energética por parte de los propietarios del inmueble y las necesidades de mantenimiento de unas instalaciones que por ahora son novedosas para la mayoría de los usuarios. No olvidando el aspecto económico, en cuanto al desembolso inicial que habrán de soportar los propietarios de las viviendas.

A pesar de su gran potencial, la existencia de barreras de carácter no técnico retarda el desarrollo y difusión de la integración fotovoltaica en edificios. Son necesarios los incentivos económicos para promover la utilización de la FV en edificios, debido a que estos sistemas, aunque tienen bajos costes de operación (se reducen al coste de mantenimiento y el seguro), necesitan elevados costes de inversión.



A la hora de analizar los costes del sistema hay que tener en cuenta no sólo el coste del propio sistema fotovoltaico, sino también el de los elementos constructivos que son sustituidos por los módulos (tejas, elementos de fachadas, elementos de sombra, etc.). En este sentido, aunque en términos absolutos son más caros los sistemas integrados en fachadas que en tejados, en términos relativos esta distancia se acorta, debido al más alto coste de los elementos que son sustituidos, que pueden ser de hasta un 60% del elemento fotovoltaico correspondiente.

La principal barrera es sin duda la económica. Sin embargo, existen otras, como la falta de confianza de los usuarios en la energía fotovoltaica, por resultar desconocida, los pasos burocráticos a resolver para la conexión a red del sistema, los permisos, la falta de facilidad para ser informado, etc.

Aparecen, por lo tanto, 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 interactúan mejor interconectadas en red.

### **1.1) Objeto del trabajo.**

El objeto del presente trabajo es exponer las diferentes tecnologías existentes en el mercado en cuanto a sistemas fotovoltaicos, aplicados al uso de **viviendas residenciales en un entorno urbano**, en las cuales la limitación de espacio, la eficiencia del sistema y la gestión energética del mismo son de los principales elementos que las condicionan.

Siendo conscientes de la problemática específica para este tipo de edificaciones, se pretende analizar las posibilidades y limitaciones de estas aplicaciones, así como la influencia de los distintos parámetros que condicionan la producción eléctrica en un sistema fotovoltaico integrado en un edificio de viviendas en un entorno urbano, ya que se considera que las instalaciones en entornos rurales así como las instalaciones en edificios del Sector Terciario expuestas en el CTE, han sido objeto de mayor desarrollo y estudio. Por carencia de empuje desde la Administración o por las dificultades que conllevan las instalaciones FV o su falta de rendimiento en este sector, provocan que sean un aspecto aún minoritario dentro de las tecnologías fotovoltaicas.

### **1.2) Referencias históricas y situación actual.**

El efecto fotoeléctrico es un fenómeno en el cual electrones son emitidos de un material (sólidos metálicos y no metálicos, líquidos o gases) luego de la absorción de radiación electromagnética como los rayos-X y la luz visible. En este contexto los electrones emitidos pueden ser referidos como fotoelectrones. El efecto se denomina también Efecto Hertz debido a que fue descubierto por Heinrich Rudolf Hertz, sin embargo esta denominación ha caído en desuso.

El estudio del efecto fotoeléctrico ha permitido importantes avances para el conocimiento de la naturaleza cuántica de la luz y los electrones y ha influenciado el desarrollo del concepto de la dualidad frecuencia-partícula.

El efecto fotoeléctrico también se refiere a la foto-conductividad o fotorresistencia, efecto fotovoltaico o efecto foto electroquímico.

Cuando una superficie se expone a la radiación electromagnética sobre cierta frecuencia del umbral (luz visible para los metales alcalinos, cerca del ultravioleta para otros metales, y al ultravioleta en el vacío para los no metales), se absorbe la luz y se emiten los *electrones*. En 1902, Philipp Eduard Antón von Lenard observó que la energía de electrones emitidos

individuales aumentaba con la frecuencia, o color, de la luz. Esto parecía estar en desacuerdo con la teoría de onda de la luz de James Clerk Maxwell; quien expresaba que la energía de electrón sería proporcional a la intensidad de la radiación.

En 1905, Einstein solucionó esta aparente paradoja describiendo la luz como un compuesto discreto de Cuantos (Fotones) y ondas continuas. Basado en la teoría de Max Planck de la radiación del cuerpo negro, Einstein teorizó que la energía en cada cuanto de luz era igual a la frecuencia multiplicada por una constante, que posteriormente se denominó constante de Planck. Un fotón sobre la frecuencia del umbral tiene la energía requerida para expulsar un solo electrón, creando el efecto fotovoltaico. Este descubrimiento llevó a la revolución del *Cuanto* en la física (*física cuantica*) y dio a Einstein el Premio Nóbel en 1921.

El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez en 1839 por el físico francés Alexander-Edmond Becquerel. Sus estudios sobre el espectro solar, magnetismo, electricidad y óptica son el pilar científico de la energía fotovoltaica.

En 1883 el inventor norteamericano Charles Fritts construye la primera célula solar con una eficiencia del 1%. La primera celda solar fue construida utilizando como semiconductor el Selenio con una muy delgada capa de oro. Debido al alto costo de esta celda se utilizó para usos diferentes a la generación de electricidad. Las aplicaciones de la celda de Selenio fueron para sensores de luz en la exposición de cámaras fotográficas.

La celda de Silicio que hoy día utilizan proviene de la patente del inventor norteamericano Russell Ohl. Fue construida en 1940 y patentada en 1946.

La época moderna de la celda de Silicio llega en 1954 en los Laboratorios Bells. Accidentalmente experimentando con semiconductores se encontró que el Silicio con algunas impurezas era muy sensible a la luz.

La primera utilización práctica de la generación de energía con celdas fotovoltaicas fue en los dos primeros satélites geoestacionarios de URSS y USA.

Los avances logrados con la celda de silicio en 1954 contribuyeron a la producción comercial, lográndose una eficiencia del 6%.

La URSS lanzó su primer satélite espacial en el año 1957, y los EEUU un año después el 1 de Febrero de 1958. En el diseño de este se usaron células solares creadas por Peter Iles en un esfuerzo encabezado por la compañía Hoffman Electronics.

La primera nave espacial que usó paneles solares fue el satélite norteamericano Explorer 1, lanzado en Febrero del año 1958. Este evento generó un gran interés en la producción y lanzamiento de satélites geoestacionarios para el desarrollo de las comunicaciones, en los que la energía provendría de un dispositivo de captación de la luz solar. Fue un desarrollo de gran importancia que estimuló la investigación buscando paneles cada vez más eficientes y motivó a la industria de tecnología. El primer mercado de los paneles fotovoltaicos fue entonces dirigido al sector aeroespacial.

Los resultados positivos de la misión Explorer 1 marcaron una pauta en el desarrollo de las comunicaciones y los paneles fotovoltaicos. La celda de Silicio entra en el escenario de la industria y empieza el desarrollo de tecnologías en la producción. El primer paso fue y aun lo es, buscar paneles más eficientes. Esto se logró en 1970, la primera célula solar con heteroestructura de arseniuro de galio (GaAs) y altamente eficiente se desarrolló en la Unión Soviética por Zhore Alferov y su equipo de investigación.

El siglo XXI nace con una premisa para el desarrollo sostenible medio-ambiental. El creciente desarrollo industrial y de consumo trae como consecuencia un deterioro del medio ambiente a través de las *emisiones de CO2* y otros gases que además de destruir la capa de *Ozono* afectan la salud del hombre de forma progresiva y constante, generando preocupación en la opinión pública y en los gobiernos de los países desarrollados.



La protección de medio ambiente es compromiso de todos, gobiernos, personas e industrias. Hoy día vemos un gran crecimiento, tanto en la producción de **paneles solares** cada vez más económicos como en la implementación de grandes plantas solares conectadas a la red eléctrica.

Australia y Estados Unidos no firmaron el tratado de *Kyoto*, sin embargo están construyendo las más grandes Plantas Fotovoltaicas. En 2011, en Deming, Nuevo México, (USA) se terminará la construcción de una planta de 300 Megavatios, 5 veces la planta en funcionamiento hoy día y en Gila Bend, Arizona en el mismo año entrará en funcionamiento una planta de 280 megavatios. Por otro lado en Australia (Mildura, Victoria) se está construyendo una planta de 154 megavatios. El objetivo del gobierno australiano es llegar a 270.000 megavatios mediante generación fotovoltaica para el año 2020. Curiosamente estos dos países que no ratificaron el tratado de Kyoto tienen las mayores plantas fotovoltaicas y continúan con su implementación, sirviendo de modelo para los demás países en desarrollo.

España, hasta septiembre de 2008, tuvo un vertiginoso crecimiento de *plantas fotovoltaicas conectadas a la red*, sin embargo la actual normativa gubernamental, además de reducir el precio de compra, ha limitado la cantidad de megavatios instalados por trimestre para la implementación de plantas solares fotovoltaicas.

El *auto consumo fotovoltaico* es una alternativa para la reducción del CO<sub>2</sub>, sin embargo no hay ninguna (o muy escasa) política de ayuda de cualquier tipo a los productores de auto consumo. En este caso además de la protección del medio ambiente el directo beneficiario es el consumidor-usuario. Las instalaciones fotovoltaicas se realizan por iniciativa privada y sin ningún tipo de ayuda. El inicio de las aplicaciones de energía solar fotovoltaica en edificios tiene su origen en las primeras aplicaciones fotovoltaicas de electrificación de viviendas de uso rural. En estos sistemas el sistema es generalmente autónomo e instalado en el propio tejado del edificio, estando dimensionados para cubrir las necesidades básicas de la vivienda y su actividad rural. La instalación se realiza generalmente en edificaciones ya construidas, en las cuales el concepto de integración arquitectónica prácticamente no se tiene en cuenta.

Los sistemas fotovoltaicos integrados en edificios están asociados a las zonas urbanas, donde los edificios disponen de red eléctrica. El primer ejemplo es del año 1978 y corresponde a una vivienda conectada a la red en Estados Unidos. Pero hasta finales de los años 80 no empiezan a comercializarse componentes específicos para el sector residencial, y es a principios de los 90 cuando se fabrican los primeros módulos con características especiales para la integración en edificios.

La integración arquitectónica ha tomado especial relevancia en los últimos años. Los ejemplos crecen exponencialmente en numerosas ciudades occidentales. El mercado de productos fotovoltaicos para la integración evoluciona muy rápidamente, tanto en módulos con diseños especiales como en sistemas de fijación para las distintas aplicaciones.

El impulso definitivo a esta aplicación lo han dado sin duda los programas de apoyo por parte de las Administraciones de algunos países. Como son Alemania, con su programa pionero de los "1000 tejados fotovoltaicos", Estados Unidos desde finales de los años 70, Japón, el gobierno con un programa de subsidio de tejados fotovoltaicos en edificios residenciales conectados a red.

En España, el marco legal actual es bastante favorable a la difusión de la fotovoltaica en edificios. En primer lugar, el recién aprobado Código Técnico de la Edificación (2006) exige a determinados tipos de edificios la instalación de módulos fotovoltaicos y establece la potencia mínima requerida. Los edificios considerados son hipermercados, centros comerciales y de ocio, grandes almacenes, oficinas, hoteles y hostales, hospitales y clínicas privadas y pabellones de recintos feriales. Sin embargo aún no se incide en edificios residenciales, lo cual será posiblemente el siguiente paso en la evolución del mercado fotovoltaico.

En nuestro país no ha habido tradicionalmente una actividad pública clara de financiación de I+D fotovoltaica, o incluso energética con pretensión de universalidad, de aquí que no exista un

catálogo adecuado de agentes investigadores. Los fondos de investigación, propiamente dicha, han venido principalmente de la Comisión Europea, principalmente del programa JOULE, y en ciertos periodos, de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT), órgano estatal que financia proyectos de investigación en diversos programas nacionales, entre los que no había ninguno de Energía, pero que a veces aceptaban proyectos fotovoltaicos en los de Materiales o Comunicaciones.

A estos se pueden sumar los proyectos o actividades financiadas por las diversas Comunidades Autónomas, de difícil evaluación.

En el pasado existía un fondo que se detraía de las facturas eléctricas de los usuarios, totalizando, creemos, el 0.3%, que se dedicaba al desarrollo industrial en áreas energéticas, y que ha sido utilizado, con cierta generosidad, para financiar actividades en energías renovables, aunque menos en energía fotovoltaica. En la práctica se ha centrado en el desarrollo de plantas de demostración, más o menos grandes, y se han financiado trabajos de desarrollo asociados con esta actividad. Este fondo, que era gestionado por una oficina pública --OCIDE-- pero que las compañías eléctricas siempre consideraron suyo, estimuló el interés de las mismas por las energías renovables, en parte como medio de controlar el citado fondo en proyectos aceptables por el sector público.

Junto a ello ha existido un apoyo muy moderado al desarrollo industrial a través de programas gestionados por el Ministerio de Industria, que a veces se completaba con la concesión de créditos blandos por el CDTI, órgano de dicho Ministerio para la concesión del citado tipo de ayuda. Todo ello se doblaba en las Comunidades Autónomas por programas industriales seguramente más generosos, quizás a veces mejor orientados, pero variables geográficamente y muy difíciles de evaluar.

En todo caso, no tenemos la impresión de que los poderes públicos españoles --ciertamente interesados por las energías renovables-- hayan entendido la importancia de la tecnología que se estaba desarrollando en el país y la hayan apoyado mucho. Por el contrario han creído que era importante el apoyo a la instalación y han mantenido subsidios para ello, de nuevo a veces más importantes en ciertas Comunidades Autónomas, siendo el IDAE el organismo público de carácter estatal responsable de tales apoyos.

Naturalmente, esto constituye un apoyo complementario al desarrollo de la tecnología, sobre todo aumentando los mercados, pero el éxito de estos programas ha sido moderado, si se tiene en cuenta lo elevada que es la tasa de exportación. O quizá haya sido precisamente la falta de apoyo interno la que ha forzado a las industrias españolas a lanzarse a la conquista de los mercados internacionales dándose el caso que una compañía puramente española, como es Isofotón, tenga su mercado distribuido en más de cuarenta países, siendo Alemania y no España su primer mercado. En el caso de BP Solarex, su transnacionalidad es una cualidad de origen, y probablemente está presente en tantos países como Isofotón o incluso en más.

En el momento actual se están produciendo dos cambios muy importantes en la estructura española de apoyo público a la I+D. Una es de carácter general, y se refiere al hecho de que el antiguo Ministerio de Industria, que se ocupaba del apoyo a la I+D empresarial, ha desaparecido para dar lugar a un Ministerio de Ciencia y Tecnología que desgaja también del de Educación las competencias de la investigación pública. La otra es que por primera vez existe un programa de investigación en energía que podría ser más integrador que los que ha habido en el pasado, aunque tememos que este programa pueda estar pobremente dotado.

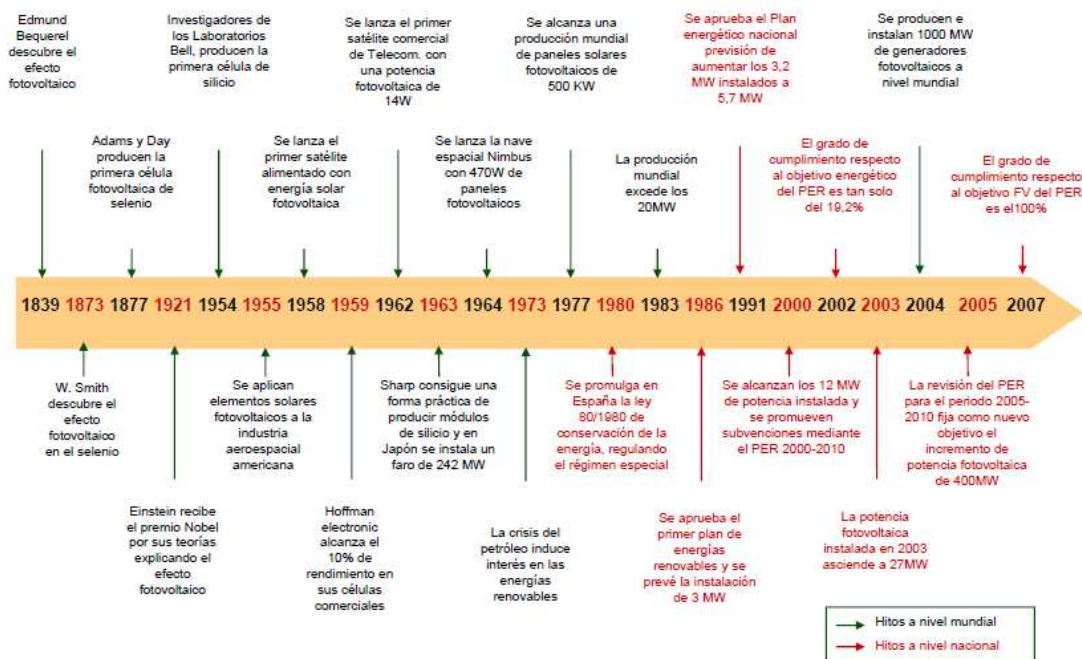
Seguramente los cambios mencionados van a favorecer que por primera vez sea posible en España una colaboración intensa entre el sistema público de investigación y el sistema empresarial en muchos sectores. Para la industria fotovoltaica, que es ya global, la permanencia en los mercados, y su penetración adicional, requerirá, sin duda, un esfuerzo tecnológico que habrá que apoyar desde el sector público y que ahora esperamos que sea posible plantear con los instrumentos adecuados.

En particular, el programa PROFIT apoyará las siguientes acciones, que por primera vez se refieren a la tecnología:

- desarrollo de dispositivos fotovoltaicos de lámina delgada.
- aumento del rendimiento de los componentes, incluyendo el desarrollo de células con separación espectral (en tandem) o de otros conceptos innovadores.
- una mayor integración vertical de tecnologías y abaratamiento de los procesos de fabricación en las industrias.
- desarrollo de sistemas o sus componentes para acceder a nuevos mercados, con acciones como: sistemas de concentración, módulos para integración en edificios o tecnología espacial.
- proyectos de demostración de nuevas tecnologías que permitan la maduración industrial de las mismas.

Es de señalar que el apoyo público a la I+D empresarial es practicado en todo el mundo, y es esencial para un sector que sólo recientemente ha alcanzado un volumen de mercado que permita una explotación ordinaria sin pérdidas y que, desde luego, está lejos de haber amortizado lo gastado en I+D. Este apoyo, que ha contado en España en el pasado con instrumentos ineficaces, parece tender hacia la buena dirección, pero no estamos seguros que las autoridades hayan adoptado todavía el modelo usado comúnmente en Europa y en los EEUU.

Por otro lado, la legislación vigente sigue siendo favorable a la conexión a red de sistemas fotovoltaicos, aunque no tanto como cuando estaba vigente el Real Decreto 661/2007. Actualmente el que regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial es el Real Decreto 1578/2008. El marco legal de estos últimos años ha hecho que se alcancen los objetivos marcados por el Plan de Energías Renovables antes de que acabe el año 2007. Pero el crecimiento del mercado fotovoltaico en España ha superado cualquier expectativa; la potencia fotovoltaica conectada a red a finales de 2008 fue de 3,2 GW.



## 2) VENTAJAS DE TECNOLOGIA FV APLICADA A EDIFICACION

Es evidente que optar por instalaciones de energía solar fotovoltaica reporta numerables ventajas, tanto en instalaciones de generación centralizada como distribuida. En nuestro caso, nos vamos a centrar en las ventajas obtenidas en instalaciones en edificaciones de viviendas en entorno urbano, que es el objeto del presente trabajo. En cualquier caso existen también ventajas a nivel genérico para cualquier instalación FV que se relacionarán conjuntamente con las particulares para este tipo de instalaciones.

Dividiremos las ventajas e inconvenientes obtenidos para las instalaciones FV en edificios residenciales en tres aspectos, el ahorro energético propiamente dicho, las mejoras medioambientales proporcionadas y las ventajas desde es punto de vista edificatorio o arquitectónico. Los cuales se relacionan a continuación.

### 2.1) Consideraciones energéticas y económicas

El uso de energía solar fotovoltaica reporta una serie de ventajas desde el punto de vista energético y económico que se pueden relacionar de la siguiente forma:

- Tiene una elevada calidad energética
- Es inagotable a escala humana
- No requieren sofisticar las medidas de seguridad
- No producen residuos tóxicos de difícil o imposible tratamiento o eliminación
- Su balance energético es positivo generalmente a partir del 3º al 5º año
- Obtiene ingresos adicionales en la comunidad de propietarios
- La comunidad puede alquilar la cubierta si dispone de una gran superficie para que una empresa instaladora instale una planta generadora , pudiendo optar por un ingreso anticipado o por un ingreso mensual
- Rentabiliza un espacio desaprovechado.
- El arrendador se hace responsable del mantenimiento en caso de arrendar la cubierta.
- El riesgo con el arrendador es mínimo por las garantías de la administración.
- Aumenta el valor de la propiedad.

Asimismo, existen inconvenientes desde el punto de vista energético y económico, que se relacionan a continuación:

- El coste de las instalaciones es bastante alto y el rendimiento de la transformación energética es bajo
- La no uniforme irradiación solar limita la posibilidad de aprovechamiento de esta energía a las zonas y países con un número elevado de horas de sol
- Gran superficie de terreno ocupada por las instalaciones
- No se puede almacenar de forma directa, siendo necesario realizar una transformación energética
- Desembolso inicial elevado
- Se duda de los resultados ya que todavía puede resultar algo experimental.

### 2.2) Consideraciones medioambientales y sociales.

En los años setenta, el científico inglés James Lovelock y el biólogo norteamericano Lynn Margulis retomaron la tesis de Vernadsky con la publicación de la hipótesis Gaia. Dicha hipótesis afirma que la Tierra funciona como un organismo vivo capaz de autorregularse.

Según su teoría, la flora y la fauna de una determinada región y la composición geoquímica de la atmósfera mantienen una relación simbiótica dirigida a mantener unos niveles climáticos relativamente estables y favorables a la vida en la tierra.

El calentamiento global altera este equilibrio debido a la actividad humana, lo que puede tener y de hecho está teniendo, graves consecuencias sobre la biosfera. El científico

francés René Dubos, expresó un principio básico medioambiental: “pensar globalmente y actuar localmente”.

Sin embargo, en la actualidad, ocho mega compañías, tanto de capital privado como público, controlan la circulación de la energía en todo el mundo, creando unas condiciones favorables para las economías a escala y para la centralización de la actividad económica en todas las demás industrias, gestionando así prácticamente la totalidad de dicha actividad económica. Esto ha llevado a un efecto de globalización, cuya dinámica afecta entre otras cosas al equilibrio energético del planeta. El cual es evidente que no evoluciona en la dirección adecuada, dados los efectos nocivos para el medio ambiente que se están padeciendo a nivel planetario.

Este razonamiento un poco simplista apunta directamente a que el método para cambiar esta situación pasará a través de las exigencias por parte de la opinión pública, ante los gobiernos y organismos internacionales, de reducir la utilización de combustibles fósiles y exigir el uso de fuentes de energía renovables y no contaminantes.

La comercialización de sistemas de generación de energía renovable de forma distribuida permitirá una democratización de los recursos energéticos, con una independización de los procesos de producción y consumo de combustibles fósiles y de las empresas que los controlan.

Se espera que la población mundial llegue a 7500 millones de personas para el año 2020, por lo que la presión sobre las reservas de petróleo no hará más que intensificarse. Resulta además ilusorio pensar que la población de los países en vías de desarrollo podrá disponer de las mismas cantidades de combustibles sólidos que han disfrutado EEUU o Europa durante su desarrollo desde la revolución industrial. Lo cual hará que los precios de los combustibles fósiles inicien una escalada que permitirá hacer competitivos otros sistemas de energía.

Por todo ello, la búsqueda y puesta en funcionamiento de sistemas de energía realmente alternativos a los combustibles fósiles y que sean eficaces a nivel medioambiental gracias al uso de energías renovables, ha de ser una prioridad en los planteamientos del desarrollo energético a nivel global. La energía solar, tanto térmica como fotovoltaica, forma parte de esta alternativa de forma sustancial.

Finalizada esta introducción, pasamos a concretar las mejoras medio ambientales generadas por una instalación FV, las cuales podríamos relacionar de la siguiente forma:

- Pequeño o nulo espacio ambiental en su uso
- No emiten CO<sub>2</sub> a la atmósfera y por tanto evitan el proceso de calentamiento terrestre, como consecuencia del efecto invernadero
- No contribuye a la formación de lluvia ácida
- No dan lugar a la formación de Nox
- Permite evolucionar zonas con bajo nivel de desarrollo económico y social
- Mejora las condiciones de vida de comunidades en vías de desarrollo

El desarrollo sostenible medio-ambiental es una de las premisas las que los países más desarrollados basan su política en la actualidad, ratificado por el protocolo de Kyoto, intentando reducir el deterioro producido por las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases y la destrucción de la capa de Ozono, que están repercutiendo directamente en la salud de nuestro planeta.

El equilibrio que se persigue entre consumo y desarrollo es el fundamento de esta política, la cual encuentra grandes escollos en la demanda energética de los países en vías de desarrollo y en las compañías multinacionales que controlan los recursos energéticos del planeta.

### 2.3) Consideraciones arquitectónicas

Según nos indican Nuria Martín Chivelet e Ignacio Fernández Solla (“La envolvente fotovoltaica en la arquitectura”. Ed. Reverté): *“La energía fotovoltaica es una fuente de generación eléctrica limpia y renovable que, por sus características, se integra muy bien en el medio urbano. Los sistemas fotovoltaicos no producen ruido ni incluyen partes móviles, y son modulares y fácilmente manejables como elementos de la construcción.”*

Lo cual define con exactitud las ventajas de la aplicación FV en la arquitectura. Este tipo de ventajas y la necesidad de ahorro energético y supresión de emisiones de CO<sub>2</sub>, han hecho que se apruebe en el Código Técnico de la Edificación (CTE) la obligatoriedad de instalar, desde Septiembre de 2006, sistemas fotovoltaicos en edificios de uso terciario e industrial; siendo muy previsible que en un futuro no muy lejano se extienda dicha obligatoriedad a los edificios residenciales de viviendas.

Este proceso convertirá las instalaciones FV en una parte más del edificio que tanto promotores, como arquitectos, ingenieros y constructores deberán asumir, al igual que hace pocos años se aprobó el Decreto de Infraestructura de Telecomunicaciones, que obligó a dotar los nuevos edificios residenciales de las instalaciones necesarias para adaptarse a las nuevas plataformas de comunicaciones que se ofrecen a los usuarios, o bien con la obligatoriedad de dotación de agua caliente sanitaria por energía solar en viviendas de promoción social y de dotar de la infraestructura necesaria a las viviendas de promoción privada.

Es evidente que las instalaciones FV deberán formar parte del diseño del edificio desde el principio, con lo que arquitectos e ingenieros realizarán el desarrollo del proyecto arquitectónico teniendo en cuenta este nuevo aspecto.

Cuanto más implicado esté en el diseño del edificio el diseño de la instalación FV, mejor será el resultado y su integración. Gracias a los nuevos tipos de módulos que se están fabricando, su integración en las fachadas o cubiertas de los edificios es cada vez más sencilla y rentable. Teniendo en cuenta que al sustituir materiales tradicionales (tejas, vidrios elementos de fachadas, lucernarios, pérgolas, voladizos, etc.) por estructuras de paneles solares, no sólo se obtiene rendimiento energético, sino que además se obtiene un ahorro en los materiales sustituidos, así como influencia en el balance térmico del edificio y en la iluminación procedente del exterior.



### 3) MARCO NORMATIVO.

#### 3.1) Normativa

El Marco Normativo que soporta las instalaciones fotovoltaicas es:

**UNE EN 61215:2006** "Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Calificación del diseño y aprobación tipo".

**UNE EN 61646:2009** "Módulos fotovoltaicos (FV) de lámina delgada para aplicación terrestre. Calificación del diseño y aprobación tipo".

**Ley 54/1997**, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.

**Real Decreto 1663/2000 de 29 de Septiembre.** Sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.

**Real Decreto 1955/2000**, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.

**Resolución de 31 de mayo de 2001** por la que se establecen modelo de contrato tipo y modelo de factura para las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.

**Real Decreto 841/2002** de 2 de agosto por el que se regula para las instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial su incentivación en la participación en el mercado de producción, determinadas obligaciones de información de sus previsiones de producción, y la adquisición por los comercializadores de su energía eléctrica producida.

**Real Decreto 842/2002** de 2 de agosto por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.

**Real Decreto 1433/2002** de 27 de diciembre, por el que se establecen los requisitos de medida en baja tensión de consumidores y centrales de producción en Régimen Especial.

**Real Decreto 436/2004 de 12 de Marzo.** Establece la metodología para la actualización y sistematización del Régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

**Real Decreto 1634/2006 de 29 de diciembre.** Se establece la tarifa eléctrica a partir del 1 de enero de 2007.

**Real Decreto Ley 7/2006 de 23 de Junio.** Se adoptan medidas urgentes en el sector energético.

**Real Decreto RD 314/2006.** Se aprueba el nuevo Código Técnico de la edificación (CTE).

**Real Decreto 661/2007.** Se ofrece una prima económica acorde a las potencias instaladas, convirtiendo los sistemas de energía solar FV en una solución rentable.

**Real Decreto 1578/2008.** de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología.

**Legislación Autonómica.** Relativa por ejemplo al procedimiento de conexión en MT o a procedimientos específicos para la tramitación de REPE o AA.

### **3.2) Código Técnico de la Edificación. (CTE).**

El CTE, por el Real Decreto RD 314/2006, 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.

La aprobación del 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 FV en determinados tipos de edificios del sector terciario (usos comerciales, industriales, hospitalarios, de usos públicos, etc.). En el caso de edificios residenciales de viviendas aun no se contempla la obligatoriedad de su instalación, sin embargo, al igual que sucedió con la energía solar térmica, se prevé que en el futuro sea obligatorio disponer de sistemas de generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables en los edificios destinados a viviendas.

El CTE es una norma innovadora frente a otros países que no tienen regulado el uso de energías renovables en los edificios.

## **4) ESTADO DEL ARTE.**

Se pretende llevar a cabo, en el presente trabajo, un estudio del estado del arte por un lado de las tecnologías FV actualmente existentes en el mercado y por otro, de las que se encuentran en fase de desarrollo, para integración en edificios residenciales de viviendas en un entorno urbano. Se trata de evaluar las posibilidades de variación del diseño convencional, en cuanto a la transparencia de las células, el color, la forma, el tamaño, la estructura constructiva o la utilización de materiales de vanguardia, que permitirán una mejor integración arquitectónica y un mayor rendimiento de las instalaciones. Asimismo se pretende mostrar los diferentes sistemas de integración arquitectónica para cada tipo de tecnología, de forma que permita compatibilizar el diseño de fachadas o cubiertas con la incorporación de elementos generadores de energía fotovoltaica.

El programa ALTENER de la Unión Europea en 1996 estimaba que, hasta el año 2010, el potencial europeo de tejados y fachadas para instalación de módulos FV era de unos 620 GWp1\*, y que esto supondría una producción anual de electricidad de 500 TWh. Unos años más tarde, la Agencia Internacional de la Energía (AIE), en una Tarea específica dedicada a la integración de FV en la edificación: "PV in the built environment" (1997-2002), presentaba unas estimaciones asimismo muy positivas de potencial para los diferentes países participantes.

El método propuesto por la AIE calcula el potencial de la fotovoltaica en edificios a partir del área disponible para la instalación de módulos FV, corregida por restricciones arquitectónicas y solares. Se basa en la estimación de las áreas de tejado y fachada válidas para integración de FV a partir de las cifras de planta de los edificios.

Las restricciones arquitectónicas contemplan correcciones por limitación de espacio, como la existencia de aparatos de aire acondicionado, chimeneas, elevadores, terrazas, etc., la existencia de sombras o la utilización de las superficies disponibles para otros propósitos. Además se tienen en cuenta otros condicionantes en edificios históricos o protegidos.

Las restricciones de tipo solar parten del cálculo de la irradiación de las superficies, según su orientación e inclinación.

Los factores para pasar de superficie de la planta del edificio a superficie de fachada y tejado, así como los factores de adecuación solar-arquitectónica han sido obtenidos a partir del análisis de ejemplos representativos.

En el diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red hay que comenzar por conocer la potencia nominal del sistema, que se puede decidir en base al área disponible para la colocación de módulos, la potencia máxima permitida en el punto de conexión o la inversión que deseamos realizar.

Una vez concretada la potencia del sistema y dependiendo de su ubicación, se plantea la utilización de uno de los dos sistemas principales: Sistema con seguimiento solar o generador estático. Ambos con ventajas e inconvenientes, que se resumirán a continuación. Asimismo otra diferenciación fundamental a la hora de elegir el generador es si el sistema se va a instalar en alguna superficie disponible del edificio con integración, sustituyendo algún elemento constructivo o sin integración, por ejemplo sobre la cubierta del edificio.

Por último, se estudiarán soluciones enfocadas a dotar edificios singulares, históricos o bien con algún grado de protección arquitectónica. Considerando que los condicionantes, ya de por sí importantes en el resto de edificios, se extreman cuando se trata de este tipo de edificaciones.

### **4.1) Según el tipo de célula solar**

Inicialmente, se analizan los diferentes tipos de tecnologías existentes en cuanto a células solares. Las Células fotoeléctricas son clasificadas en cuatro generaciones que indican el

orden de importancia y relevancia históricamente. En el presente hay investigaciones en las cuatro generaciones, mientras que las tecnologías de la primera generación son las más representadas en la producción comercial con 89.6% de producción en 2007.

**4.1.1) Células solares de Primera Generación.** Las células de primera generación son elementos de área-grande, alta calidad y unión única. Las tecnologías de primera generación necesitan gran aporte de energía y trabajo que impiden cualquier progreso significativo en reducir los gastos de producción. Las células de silicio de uniones únicas se están aproximando a la eficiencia teórica máxima del 33% y logran paridad de gastos con la generación de energía de combustibles fósiles después de un periodo de recuperación de la inversión de 5 a 7 años.

Su principio de funcionamiento, tal y como lo precisaron el Nobel Shockley y su discípulo Queisser (SQ) es el que sigue: Las células solares están hechas de un material semiconductor, que en las células de primera generación es el silicio cristalino, el mismo usado para los chips microelectrónicos. En un semiconductor los fotones o cuantos de luz de suficiente energía bombean a los electrones desde la llamada banda de valencia, donde suelen encontrarse, a la llamada banda de conducción, más energética. Ambas bandas están separadas en el eje de energías por la llamada banda prohibida. Desde esta banda de conducción los electrones pueden extraerse a un circuito exterior mediante un contacto metálico hecho en una región llamada "tipo n", fabricada dopando (impurificando) localmente el semiconductor con un elemento químico adecuado; fósforo, por ejemplo, en el caso del silicio. Tras perder su energía en realizar el trabajo eléctrico que se desee (encender luces, poner en marcha la lavadora, etc.), los electrones se retornan a la banda de valencia del semiconductor en cuestión mediante otro contacto a una región llamada "tipo p", dopada con otro elemento químico; por ejemplo, boro en el silicio.

La tecnología de las células de primera generación, las de silicio cristalino, que dominan el mercado actual, debe ser constantemente mejorada, y las empresas españolas deben poder acceder a las mejoras necesarias. Sin agotar las posibilidades, pues las tres empresas españolas fabricantes de módulos son capaces de acceder a la investigación y a la tecnología externas, estas empresas pueden contar con la colaboración de los varios centros universitarios con capacidad en esta tecnología, es decir, básicamente, el IES, el Instituto de Microelectrónica del País Vasco y el Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica de Cataluña, con las colaboraciones más puntuales de otros centros en tecnologías próximas, tales como el CIEMAT, la Universidad Rovira y Virgili de Cataluña y la Universidad Autónoma de Madrid.

De hecho, tanto Isofotón, que está basada principalmente en tecnología generada en España, como muy principalmente BP Solar, a pesar de que su tecnología de base es australiana, colaboran intensamente con los centros citados en el desarrollo de procesos más eficientes para fabricar células de silicio, principalmente con fondos de origen europeo. BP Solar ha declarado en ocasiones que el IES era su principal centro de apoyo externo en I+D, aunque esta situación puede cambiar por el reciente desplazamiento del centro de gravedad de la corporación hacia los EEUU. AstroSolar/Atersa, que ha puesto en marcha la fabricación de células, aunque con un apoyo tecnológico básico de origen estadounidense, colaborarán sin duda en breve con los centros españoles para perfeccionar o adaptar lo que pueda ser menester de la tecnología que están implementando.

Un efecto previsible de la nueva estructura de apoyo a la I+D empresarial en España es el establecimiento de una red mucho más tupida de colaboraciones entre las empresas españolas, hoy todavía principalmente Isofotón, y los laboratorios públicos de I+D. La creación de una red intensa de esta naturaleza no estaba favorecida por la anterior situación de dependencia básica de fondos europeos, que en cambio favorecían la colaboración siempre muy interesante con centros europeos. Sin duda ambas fuentes de fondos se complementan mutuamente, y debe evitarse la ausencia de cualquiera de ellas.

#### 4.1.2) Células Solares de Segunda Generación.

Las células solares de segunda generación han sido desarrolladas para tratar de mejorar los requisitos de energía y los gastos de producción de células fotovoltaica. Algunas técnicas alternativas de fabricación son buenas porque pueden reducir la fabricación a temperaturas altas. Mientras que las técnicas de fabricación se desarrollan, los costos de producción serán reducidos por los materiales. Uno de los materiales con más éxito en la segunda generación han sido películas finas como telururo de cadmio (CdTe), seleniuro de cobre e indio (CIS ó CIGS), silicio amorfo (Si-a) y silicio micromorfo (micromorphous silicon). Se aplica una película fina a un sustrato como vidrio o cerámica, reduciendo la masa del material y por consiguiente los costos. Estas tecnologías pueden tener eficiencias de conversión más altas combinadas con costos de producción más baratos. Entre los fabricantes, existe una tendencia hacia las tecnologías de la segunda generación. Pero la comercialización de estas tecnologías ha sido difícil. En 2007, First Solar producía 200 MW de células fotoeléctricas de CdTe, el quinto fabricante más grande de células en 2007. Würth Solar comercializó su tecnología de CIGS en 2007 produciendo 15 MW. Nanosolar comercializó su tecnología de CIGS en 2007 con una capacidad de producción de 430 MW para 2008 en los EEUU y Alemania. En 2007, producción de CdTe representó 4.7% del mercado, silicio de película fina 5.2%, y CIGS 0.5%.

Por lo tanto, junto a las células de primera generación, de silicio mono y multicristalino, podemos hablar de las de segunda generación, células que, o bien no son de silicio cristalino, tales como las células de capa delgada, o bien las que siendo o no de silicio cristalino, utilizan luz concentrada para su operación.

Las células de capa delgada suscitan, desde hace mucho tiempo, el interés de los investigadores. Sin embargo sólo el silicio amorfo ha suscitado interés de los grandes inversores para una comercialización, quizás prematura, y los bajos rendimientos así como la inestabilidad inicial de esta célula, han reducido su mercado prácticamente al de aplicaciones de consumo, no energéticas, tales como relojes y calculadoras. Nuevos materiales como el CIS y el CdTe constituyen hoy día una promesa que parece sólida, y hay grandes compañías en fase de iniciar una fabricación que se espera sea de mayor éxito que las células de Si-a, una vez aprendidos de los errores que aquella industrialización prematura trajo consigo.

De todas maneras los fabricantes de células de Si frecuentemente defienden que, con una producción masiva, sus células pueden llegar a reducciones de costes semejantes a las que prometen las células de capa delgada. En el fondo, extrapolando, puede ser fácil determinar el coste que pueden llegar a tener las células de Si cristalino. Mucho más difícil es determinar el coste real de las células de capa delgada, que depende grandemente de las prestaciones del producto obtenido y de los rendimientos de fabricación, conceptos ambos que requieren una fabricación piloto para determinarlos (y que en todo caso son mantenidos en secreto por los que, mejor o peor, los conocen).

La situación en España para las células de capas delgadas es menos favorable. Hay una investigación sólida en el CIEMAT, que se completa con la brillante actuación, aunque menos consolidada, del Departamento de Física Aplicada y Óptica de la Universidad de Barcelona y la de la Facultad de Físicas de la Universidad Complutense de Madrid. Sin embargo, no hay ninguna compañía en España que se haya interesado en este tema. En estas circunstancias la única actividad a la que pueden entregarse los grupos españoles, muy importante sin duda, es a la de colaborar con actuaciones europeas de ámbito supranacional.

En el caso de los sistemas de concentración, como en el de las células de capa delgada, el concepto es igualmente antiguo, y su éxito en la industrialización y comercialización, aún más escaso. En parte, esto se ha debido a que los sistemas de concentración tienden a ser demasiado grandes en comparación con los paneles planos, y suelen tener órganos móviles. Probablemente los motivos de compra de los módulos fotovoltaicos actuales rechazan estas dos características. Así las cosas, se ven forzados a competir por precio y en esto no suelen poder hacerlo con la energía convencional. Sin embargo, es casi seguro que los sistemas de concentración tienen el potencial de ser más baratos que los de módulo plano.

Ocurre también que si bien hay excelentes células de laboratorio para concentración, la exigüidad de los mercados ha impedido la creación de compañías comerciales que las fabriquen. De esta manera, el desarrollo de sistemas fotovoltaicos de concentración es hoy virtualmente imposible, excepto para quienes tengan en su mano la capacidad de fabricar células de concentración.

Además, los problemas tecnológicos no triviales de evacuación de calor, encapsulado de células y fabricación barata de una estructura óptica móvil no están tampoco completamente resueltos.

En esta área, la situación española es muy favorable. Aunque la actividad industrial en concentración fotovoltaica es más importante en EEUU, el IES es un centro con más de veinte años de experiencia que, por ejemplo, ha ganado una ayuda de I+D en EEUU, junto con la empresa americana Sunpower Corp. en la que es públicamente calificada como una de las más competentes del mundo en óptica sin imagen.

Además, surgen otras. Isofotón ha tomado posición en dos acciones específicas: por una parte, el desarrollo de un concentrador estático con células bifaciales, de pequeñas dimensiones y concebido como una persiana veneciana, usando una nueva técnica de diseño de los concentradores --la técnica SMS inventada en el IES-- para aplicaciones específicas de los edificios conectados a la red. Estos tipos de productos no tienen ningún órgano móvil y permiten concentraciones hasta 4x, con el consiguiente ahorro de silicio.

La otra acción es el desarrollo de concentradores de AsGa, de alto rendimiento con niveles de concentración 1000x necesarios para pagar el elevado precio del material de partida. El montaje de este tipo de concentrador se inspiraría en el usado para los diodos LED, que se fabrican hoy a millones a precios reducidos. También la óptica en este caso es del IES, sintetizada por el método SMS y las células de AsGa han sido desarrolladas en el IES, en colaboración con el Instituto Ioffe de San Petersburgo, y alcanza rendimientos del 26.2% a 1000x, el mayor del mundo a esa concentración.

#### **4.1.3) Células Solares de Tercera Generación.**

Existe una tercera generación de células solares que ya comienza a despuntar. Por tercera generación nos referimos a células que no siguen el esquema básico de funcionamiento de una célula solar tradicional.

Estas células solares de tercera generación permiten eficiencias de conversión eléctrica teóricas mucho mayores que las actuales y un precio de producción mucho menor. Se trabaja en diversas líneas de investigación, entre las que se encuentran:

- Dispositivos de más de un ancho de banda prohibida para la conversión óptima de fotones a varias longitudes de onda diferentes.
- Modificación del espectro de luz incidente (para incluir el espectro de UV e infrarrojo durante la noche).
- Aprovechamiento del calor producido dentro de la célula.

Entre otras, se consideran tecnologías de célula solar de tercera generación las siguientes:

- Células multi-unión (de más de un ancho de banda prohibida). La mayor eficiencia eléctrica conseguida hasta la fecha (41,1%) se ha obtenido con uno de estos dispositivos.
- Nanoestructuras de silicio
- Alzaconvertidores (*Upconverters*) / bajaconvertidores (*downconverters*)
- Células de portadores calientes (*hot-carrier cells*)
- Células termoeléctricas
- Nanoestructuras de silicio
- Células de banda intermedia



- Células con pozos cuánticos

En España se ha puesto en marcha el Proyecto Singular Estratégico Fotomol, para incrementar el conocimiento sobre la célula solar orgánica y la célula fotovoltaica Graetzel (también conocida como célula solar sensibilizada por colorante). Este dispositivo nanoestructurado se forma con nanopartículas de dióxido de titanio, un material muy abundante y no tóxico. La nanoestructura de dichas nanopartículas, multiplica en un factor 1000 el área en que un colorante absorbido en la superficie, puede ser fotoexcitado y generar fotocorriente, con una eficiencia de conversión de luz en electricidad de 10%. Simula de forma artificial la fotosíntesis que se realiza en las plantas. Por ahora este dispositivo está limitado por problemas de estabilidad. En general el control de los procesos físico-químicos en las interfaces es un aspecto fundamental para el éxito de los dispositivos de nanoescala.

Asimismo, el Instituto de Ciencia de los Materiales de la Universitat de Valencia (UV) participa, junto a otros 3 socios europeos, en un proyecto destinado a optimizar la eficiencia energética de las células solares, (proyecto Nano-LICHT), diseñando nuevas arquitecturas a escala nanométrica capaces de mimetizar los procesos por los que los organismos fotosintéticos colectan la luz del sol y la convierten en otras formas más útiles de energía, para la fabricación de células de tercera generación.

El nuevo "nanoobjeto" que proponen consiste en los llamados nanohilos coaxiales, o barras a escala nanométrica que absorben mayor cantidad de luz que una superficie plana porque se aprovechan los laterales de la estructura. "Los nanohilos conseguidos hasta la fecha muestran unas excelentes propiedades de fotoluminiscencia en el infrarrojo cercano. Se está en el camino de la demostración de una célula solar basada en un único nanohilo.

Se pretende que la eficiencia de conversión de la energía solar de esos hilos microscópicos alcance el 40%, cuando actualmente las células fotovoltaicas comercialmente disponibles fabricadas de silicio no superan el 12% de eficiencia. "El silicio, material inorgánico, por sí solo absorbe una limitada cantidad de energía solar. Por lo que se está estudiando añadir un colorante orgánico (que contiene carbono) para mejorar la capacidad de absorción. En este caso hablamos de células solares híbridas",

La segunda aproximación con la que trabajan en la UV para multiplicar la cantidad de luz captada consiste en combinar en una célula solar varios semiconductores con diferente ancho de banda en forma de nanohilo coaxial. Estos materiales de naturaleza inorgánica actúan como conductores de electricidad o como aislantes dependiendo de ciertas condiciones.

El concepto de célula de tercera generación ha sido acuñado con la creación en Australia del "Centro Especial de Investigación para Foelectricidad de Tercera Generación". Sin embargo, este concepto se ha ido fraguando en la última década, como una respuesta novedosa que aprovecha también las más recientes tecnologías. Se trataría en este caso de conseguir células solares que trascendieran el concepto antes explicado, y que por lo tanto no estuviera sometido a sus límites, que en el mejor de los casos no podrían permitir un rendimiento mayor del 40%, según las leyes de la termodinámica. Es de señalar que la mejor célula de segunda generación ha alcanzado un rendimiento del 27,6%, que representa el 78% del que impone el límite termodinámico para la estructura y las condiciones de medida utilizadas.

Varias son las maneras de trascender esos límites. Es conocida de antiguo la utilización de varias células solares en "tandem". Se trata en este caso de conjuntos de células solares ordinarias, cada una sometida al límite de SQ, pero que consideradas como un todo lo superan. Constituidas por diversos materiales, y por consiguiente con bandas prohibidas diferentes, se apilan unas sobre otras, la primera la de mayor banda prohibida, y así sucesivamente, de manera que los fotones más energéticos son absorbidos por la primera, los siguientes por la siguiente, etc. Rendimientos cercanos al 87% se podrían alcanzar usando un número infinito de estas células en condiciones ideales. En el momento actual la empresa Spectrolab y el Laboratorio Nacional de Energías Renovables, ambos de EEUU, han conseguido ya un rendimiento del 32.2% con una estructura de tres células solares de fosforo de indio y galio sobre arseniuro de galio, todo ello sobre germanio.

Este tipo de células son muy caras, pero trabajando a 1000x, y con la óptica apropiada, por ejemplo la que se está desarrollando en el IES para las células de AsGa a 1000. se podrían llegar a alcanzar, en climas apropiados, costes en el rango de 3.5 centavos de dólar por kWh lo que es menos que en muchas de las técnicas actuales de producción de electricidad. De todas maneras el desarrollo de las células tandem para muy alta concentración, aunque estimado posible, no se ha abordado todavía, según nos indican Antonio Luque y Gabriel Sala, del Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid, aunque sí a nivel de investigación. Aún sin llegar a estos límites de calidad, células de capa delgada, por ejemplo de Si amorfo, en tandem con células de CSi amorfo de mayor banda prohibida y de GeSi amorfo, de menor banda prohibida, se están usando para generar células tandem que, no estando constreñidas por el rendimiento de la célula de SQ, tienden hacia valores superiores del rendimiento, quizás los necesarios para hacer rentables estas células. De hecho, alguna compañía de EEUU está investigando en células basadas en este concepto.

En España la colaboración Isofotón-IES señalada antes sobre concentradores a 1000x, se continuaría con el desarrollo de células tandem de alto rendimiento para concentración, usando los concentradores SMS explicados antes. También el CIEMAT tiene los medios para avanzar en el desarrollo de materiales tipo CSi y GeSi amorfos, para tandems de capa delgada.

Por último, el IES ha avanzado una propuesta de una nueva célula de tercera generación. Se trata de usar dos fotones en un semiconductor con una banda prohibida muy ancha para bombear un electrón a la banda de conducción. Para ello propugnamos crear una banda permitida de energías en medio de la banda prohibida, de manera que un primer fotón bombearía al electrón de la banda de valencia a la intermedia, y el segundo la bombearía desde ella a la de conducción. Por supuesto, los fotones de mayor energía podrían efectuar el bombeo sin pasar por la banda intermedia.

La elevada anchura de la banda prohibida permitiría suministrar los electrones al circuito exterior con una energía libre elevada. Además, al contrario de lo que ocurre en las células solares normales, en las que los fotones con energía inferior a la banda prohibida no son absorbidos y no hacen ningún efecto, en éstas las transiciones con la banda intermedia permitiría el uso de los fotones menos energéticos. Los límites teóricos del rendimiento de estas células se encuentran por encima del 60%. Además, se pueden combinar con una o varias células adicionales en tandem. Se está investigando materiales capaces de producir la estructura adecuada. Es posible que una de las claves para ello sea el uso de nanotecnología, y es concebible que este nuevo principio pueda dar lugar a células de alto rendimiento para usar en concentración, o a nuevos principios que ilustren la fabricación de células de capa delgada más eficientes.

Por lo tanto, la tercera generación de células fotovoltaicas que se están proponiendo en la actualidad son muy diferentes de los dispositivos semiconductores de las generaciones anteriores, ya que realmente no presentan la tradicional unión p-n para separar los portadores de carga foto generados. Para aplicaciones espaciales, se están estudiando dispositivos de huecos cuánticos (puntos cuánticos, cuerdas cuánticas, etc.) y dispositivos que incorporan nanotubos de carbono, con un potencial de más del 45% de eficiencia AM0. Para aplicaciones terrestres, se encuentran en fase de investigación dispositivos que incluyen células foto electroquímicas, células solares de polímeros, células solares de nanocristales y células solares de tintas sensibilizadas.

#### **4.1.4) Células Solares de Cuarta Generación.**

Una hipotética cuarta generación de células solares, según el Instituto de Tecnología de Nueva Jersey, consistiría en una tecnología fotovoltaica compuesta en las que se mezclan, conjuntamente, nanopartículas con polímeros para fabricar una capa simple multiespectral. Posteriormente, varias capas delgadas multiespectrales se podrían apilar para fabricar las células solares multiespectrales definitivas. Células que son más eficientes, y baratas. Basadas en esta idea, y la tecnología multiunión, se han usado en las misiones de Marte que ha llevado a cabo la NASA. La primera capa es la que convierte los diferentes tipos de luz, la segunda es para la conversión de energía y la última es una capa para el espectro infrarrojo. De esta

manera se convierte algo del calor en energía aprovechable. El resultado es una excelente célula solar compuesta. La investigación de base para esta generación se está supervisando y dirigiendo por parte de la DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) para determinar si esta tecnología es viable o no. Entre las compañías que se encuentran trabajando en esta cuarta generación se encuentran Xsunx, Konarka Technologies, Inc., Nanosolar, Dyesol y Nanosys.

## **4.2) Según el objetivo de la instalación solar**

De acuerdo al tipo de instalación en función del objetivo de las mismas, podemos diferenciar: instalaciones aisladas de la red, cuya finalidad es satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica convencional residencial o de una comunidad, y las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, que tienen como objetivo fundamental entregar la energía a la red eléctrica pública; esta última, se está utilizando como superficie de terminación e imagen en el edificio, mediante su integración arquitectónica.

### **4.2.1) Instalaciones aisladas de la red**

Se emplean en localidades lejanas, que no tienen acceso a la red pública: instalaciones rurales, iluminación de áreas aisladas, telecomunicaciones, balizas o boyas de señalización y bombeo de agua. Estas instalaciones posibilitan dos tipos de suministros según sea el tipo de distribución. Este tipo de instalaciones no son el objeto del presente trabajo, ya que nos centraremos en edificaciones de viviendas en entorno urbano, las cuales en su gran mayoría son instalaciones conectadas a la red eléctrica.

### **4.2.2) Instalaciones conectadas a la red**

En este caso, la red pública actúa como un disipador infinito de energía y acepta toda la energía disponible del sistema fotovoltaico, tanto de centrales fotovoltaicas como de los instalados en viviendas y edificios. Este sistema requiere de condiciones de funcionamiento diferentes a la solución aislada, no necesita de subsistema de almacenamiento y el sistema de regulación cumple la función de indicar al inversor de energía la disponibilidad en cada momento en los paneles (el punto de máxima potencia); este sistema conlleva, además, un beneficio económico mediante la venta de energía a la red eléctrica.

### **4.2.2) Instalaciones Híbridas**

Son aquellas que combinan los módulos fotovoltaicos con una o más fuentes energéticas auxiliares, como pueden ser los aerogeneradores, o los motores Diesel, de Gas Natural, o las Pilas de Hidrógeno. Este sistema es más fiable que los anteriores, ya que al disminuir la dependencia de captación y generación de electricidad del sistema fotovoltaico, el suministro no se ve comprometido al ser complementado por otro tipo de generación ya sea renovable o no renovable. Además tiene mejor rendimiento medioambiental al combinar en algunos casos varios sistemas de energías renovables.

Este tipo de instalaciones parecen ser las que resolverán en el futuro las necesidades energéticas en zonas urbanas, mediante el aprovechamiento de diferentes fuentes de energía, seleccionadas en base a su rentabilidad económica y satisfacción de las necesidades de los usuarios. No obstante, como es evidente, este tipo de instalaciones no se generalizará hasta que sea rentable para su usuario, bien porque obtenga subvenciones para su instalación, bien porque el coste de la energía eléctrica consumida sea más alto que el generado por una instalación híbrida.

En nuestro caso (instalaciones en edificios de viviendas en entorno urbano), nos centraremos en las instalaciones conectadas a red y las instalaciones híbridas. En ambos casos, se ha de definir el sistema de generación adecuado al edificio que queremos dotar, ya sea con generadores estáticos o con sistema de seguimiento. Asimismo se ha de definir si el sistema

utilizado se integrará arquitectónicamente en el edificio o bien si simplemente se utilizará espacio disponible en cubierta para su ubicación. Por último, se ha de considerar como caso específico los edificios históricos o con algún tipo de protección arquitectónica, los cuales deberán ser objeto de estudio independiente, dadas sus singulares características.

Los sistemas de cogeneración producen y aprovechan conjuntamente electricidad y calor, de manera que se obtiene un gran ahorro energético. Se trata además de un procedimiento más ecológico, ya que se libera menos dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) que en los generadores eléctricos normales.

Los sistemas de cogeneración suelen funcionar con gas natural, aunque existen otros sistemas y también pueden utilizarse fuentes de energía renovables y residuos. El ahorro energético que supone este sistema, el cual aumenta notablemente si se utilizan energías residuales, se traduce además en una disminución de las emisiones contaminantes. Para producir una unidad eléctrica por medios convencionales se necesitan 3 unidades térmicas, mientras que en cogeneración se necesitan 1,5 unidades, por lo que la cantidad de contaminación emitida se disminuye en un 50%.

Los defensores de este sistema afirman que se trata de un sistema fiable y eficaz, aunque su viabilidad económica ha dependido de las particulares condiciones del mercado energético, que han frenado su desarrollo. Las aplicaciones más usuales de la cogeneración suelen reducir la factura energética entre un 20% y un 30%, y se trata además de sistemas cuya inversión se rentabiliza en poco tiempo, normalmente en dos o tres años. Asimismo, destacan que la eficiencia de los sistemas de cogeneración ha aumentado de forma espectacular en 10 años y los últimos desarrollos de turbinas y motores mantendrán esta tendencia en el futuro. Como ventajas adicionales se encuentran la disminución de las pérdidas de la red eléctrica, ya que las centrales de cogeneración suelen situarse más cerca del lugar de consumo; el aumento de la competencia entre los productores; el impulso que supone en la creación de nuevas empresas; o su adaptación a zonas aisladas o alejadas.

La cogeneración puede aplicarse a cualquier tipo de instalación que durante un periodo de tiempo prolongado mantiene necesidades térmicas medias-altas, o bien en aquellas otras productoras de combustibles residuales o afluentes térmicos de suficiente nivel. El ámbito sectorial de aplicación es teóricamente amplio, pero el industrial es el que cuenta con mayores oportunidades, aunque los grandes usuarios del sector terciario, como centros comerciales, hospitales, o complejos hosteleros tienen capacidad cogeneradora y en un próximo futuro se podrían desarrollar sistemas de distribución de calor y frío en centros urbanos.

Las posibilidades de la cogeneración son numerosas y dependen en gran medida de la visión innovadora de sus responsables, de manera que sean capaces de aplicarla en cada caso concreto de forma segura, eficiente y económicamente rentable. En este sentido, por ejemplo, AESA, una empresa pionera en España en la utilización de la cogeneración, introdujo en 1982 el concepto de "trigeneración", en el que además de la electricidad y el calor, se le añade un sistema de absorción para producción de frío. De todas formas, se pueden enumerar una serie de aplicaciones clásicas. El proceso de secado de la industria cerámica, o el aprovechamiento del aceite térmico en las empresas textiles son algunas de estas aplicaciones. Por su parte, las plantas depuradoras de tipo biológico, de concentración de residuos, o de secado de fangos, etc., son demandantes de calor y, por lo tanto, son potencialmente cogeneradoras, lo que supondría una importante reducción del coste de tratamiento de los residuos.

#### **4.2.2.1) El hidrógeno**

En Isofotón, creen en el uso del hidrógeno como una de las mejores soluciones a la crisis energética. Sus posibilidades son muy amplias, por su abundancia y por su alta capacidad de liberación de energía, cuya utilización masiva haría posible la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Debido a su inexistencia en estado aislado, primero hay que producirlo usando otras fuentes de energía primarias. El hidrógeno se puede obtener con la electrólisis del agua; esta técnica consume una cantidad de energía que debe ser suministrada por alguna fuente energética. La Energía Solar (100% limpia, disponible e inagotable) resulta una de las opciones más adecuadas para la obtención de hidrógeno en zonas aisladas.

El hidrógeno debe superar dos grandes barreras para convertirse en un vector energético: su almacenamiento (es el átomo más voluminoso en su estado gaseoso a temperatura y presión corrientes). Y su seguridad (es un gas especialmente inflamable). Todos estos factores, junto con la puesta a punto de las pilas de combustible (generadores de energía), ralentizan la llegada de la economía del hidrógeno.

En Isotón nace el Proyecto TINA para el estudio de instalaciones aisladas de producción energética, con aportación de hidrógeno como energía de apoyo y el uso de éste como almacenamiento energético; por medio de este proyecto pretenden estudiar la interacción de la Fotovoltaica y la pila de hidrógeno, analizando la fiabilidad, seguridad y rentabilidad de la instalación. Aunque básicamente, el estudio se orienta a la Electrificación Rural, esta aplicación tendrá repercusión en zonas residenciales urbanas, como ya sucede en algunas comunidades de EEUU.

Las aplicaciones de cogeneración (uso combinado de calor y electricidad) para viviendas, generan energía eléctrica de manera constante (vendiendo el exceso de energía a la red cuando no se consume), y al mismo tiempo produce aire y agua caliente gracias al calor que desprende. Las celdas de combustible de Ácido fosfórico (PAFC *Phosphoric-Acid Fuel Cells*) abarcan el segmento más grande de aplicaciones de cogeneración en todo el mundo y pueden proporcionar eficacias combinadas cercanas al 80% (45-50% eléctrico + el resto como térmica). El mayor fabricante de células de combustible de PAFC es UTC Power, una división de United Technologies Corporation. También se utilizan celdas de combustible de carbonato fundido (MCFC *Molten Carbonate Fuel Cell*) con fines idénticos, y existen prototipos de celdas de óxido sólido (SOFC *Solid-Oxide Fuel Cell*).

Existe un programa experimental en Stuart Island en el estado de Washington, donde la compañía Stuart Island Energy Initiative ha construido un sistema completo en el cual los paneles solares generan la corriente para hacer funcionar varios electrolizadores que producen hidrógeno. Dicho hidrógeno se almacena en un tanque de 1900 litros, a una presión de 10 a 80 bar. Este combustible finalmente se utiliza para hacer funcionar una celda de combustible de hidrógeno de 48 V ReliOn que proporciona suficiente energía eléctrica para fines residenciales en la isla.

En este programa experimental se dispone de una serie de diez paneles de 150 vatios. La matriz envía corriente a 48 voltios DC a un controlador de carga Outback. Esto está diseñado para vigilar constantemente y alterar el voltaje de salida con el fin de maximizar la potencia de salida. También evita que el exceso de carga de controladores de carga de las baterías. La que está conectada a la pila de combustible extrae 1300 vatios de una célula de 1000 vatios de combustible.

El regulador envía corriente a las baterías de 24 VDC (nominal-en realidad 26 a 31 voltios).

Cuando el sol brilla y las baterías están llenas, los electrolizadores se activan y el poder generador fotovoltaico se inicia, poniendo en marcha los electrolizadores. Toda la energía solar pasa a través del regulador de carga en las baterías; a continuación va al inversor de corriente AC que alimenta los electrolizadores.





Imagen: El panel principal. El inversor es la caja de del tamaño de una caja de zapatos que hay entre los dos grandes paneles, los controladores de carga (uno para la matriz y uno para la pila de combustible) se encuentran en el extremo derecho.

#### 4.2.2.1) El Gas Natural

El Gas Natural tiene unas reservas probadas abundantes y durante unas décadas aún seguirá manteniendo un rol relevante en el escenario energético. El gas natural ofrece tecnologías eficientes de transformación en el campo de la generación eléctrica de elevada potencia, con el concepto de ciclo combinado (turbina de gas y de vapor combinadas). En el campo de la generación eléctrica de mediana y baja potencia, la generación de energía eléctrica mediante motores o turbinas con aprovechamiento del calor generado en el proceso es la solución adoptada. El paso siguiente comporta mejorar las tecnologías de motores y turbinas y la recuperación de su calor, además del uso de tecnologías basadas en principios radicalmente distintos.

El Grupo Gas Natural, por ejemplo, ha apostado por la opción de la pila de combustible de alta temperatura como alternativa tecnológica a motores y turbinas, apta para generar electricidad de modo más eficiente en los sectores industrial y terciario, con muy bajo nivel de emisiones y con la posibilidad de un alto grado de aprovechamiento del calor del proceso de la pila. Para ello, se ha realizado una experiencia piloto en la propia sede de Gas Natural en Barcelona, con una generación de 200 kW. eléctricos mediante pila de combustible y aprovechamiento del calor.

La pila de combustible genera corriente eléctrica basándose en la reacción electroquímica de diversos productos, al igual que cualquier otra pila, con la diferencia que mientras las pilas tradicionales mantienen una corriente eléctrica por tiempo limitado, la pila de combustible puede funcionar continuamente mientras tenga aporte de los productos que reaccionan en ellas; sólo dejan de generar energía cuando se les corta el suministro.

Estas pilas de combustible están destinadas a revolucionar la situación de suministro en la generación eléctrica a mediana o gran escala, ya que opera en el tiempo de forma continua y sus costes son competitivos.

A excepción de la energía fotovoltaica, la energía eléctrica se genera en alternadores (maquinas rotativas), ya sea accionadas por el vapor obtenido a partir de un combustible, de la fuerza del viento en un aerogenerador o de un salto hidráulico. Frente a esta generación con equipos mecánicos, la pila de combustible ofrece la ventaja de no disponer de elementos móviles, con la consiguiente ausencia de ruidos y vibraciones y una menor necesidad de mantenimiento.

Además, la pila de combustible es más eficiente que motores y turbinas, ya que no está limitada por las leyes de la termodinámica, que imponen un rendimiento máximo no superable (rendimiento del ciclo teórico de Carnot) para la conversión de calor en energía útil.

Si bien se ha hablado genéricamente de reactivos como combustible, sin embargo en las pilas de combustible, estos se limitan al par hidrógeno-oxígeno, de cuya combinación se obtiene



agua. Algunos equipos para aplicaciones de generación eléctrica estacionaria incorporan a la pila de combustible sistemas auxiliares previos para obtener el hidrógeno a partir de hidrocarburos, entre ellos gas natural o alcoholes. El hidrógeno se genera internamente en la pila.

El núcleo de la pila de combustible está integrado por la agrupación de un conjunto de células elementales, que generan una diferencia de potencial de un valor inferior a un voltio. Esta agrupación permite alcanzar diferencias de potencial mayores, adecuadas para los servicios a los que se destine.

En este tipo de instalaciones, los flujos se esquematizan empezando por la alimentación con gas natural que aporta energía e hidrógeno agua que aporta hidrógeno adicional y aire que aporta el oxígeno por la combustión electroquímica. Gas Natural, agua y aire con las únicas entradas al sistema.

### 4.3) Generalidades de los sistemas.

Un módulo FV orientado al Sur e inclinado unos pocos grados por debajo del valor de la latitud local produce la máxima generación eléctrica en términos anuales. Aunque en muchos casos se considera más interesante sustituir el acristalamiento de la fachada por módulos FV.

La elección de la tecnología de módulos debe hacerse teniendo en cuenta el precio por vatio pico y el área necesaria para su instalación, además de otros factores. Dentro de la gran variedad existente en el mercado en cuanto a tecnologías y precios.

En una primera aproximación podemos decir que con las tecnologías tradicionales de silicio mono y policristalino para tener 1 KW. instalado necesitaremos un área de 10 m<sup>2</sup>.

Para una estimación más precisa del área requerida según la tecnología de células, podemos usar los datos siguientes, que se ha realizado teniendo en cuenta los rendimientos medios de los módulos de las diferentes tecnologías. Para la Tecnología de célula Área requerida para 1kWp en Silicio monocristalino se necesitan de 7-9 m<sup>2</sup>, para Silicio policristalino 8 - 11 m<sup>2</sup>, para Lámina delgada CIS 11-13 m<sup>2</sup>, para Telurio de Cadmio (CdTe) 14 – 18 m<sup>2</sup> y para Silicio amorfo 16 – 20 m<sup>2</sup>.

Las restricciones de tipo solar parten del cálculo de la irradiación de las superficies, según su orientación e inclinación. Los factores para pasar de superficie de la planta del edificio a superficie de fachada y tejado, así como los factores de adecuación solar-arquitectónica han sido obtenidos a partir del análisis de ejemplos representativos, los cuales se pueden observar en la tabla de cálculo de potencial de FV para un edificio tipo en el **anexo I**.

La mayor parte de los sistemas fotovoltaicos integrados en edificios están conectados a la red eléctrica. El gran potencial de integración arquitectónica en edificios se encuentra en las zonas urbanas de los países desarrollados, donde se incentiva la conexión a red de sistemas fotovoltaicos, mediante primas o subvenciones, y donde existen más posibilidades de integrar los módulos FV desde un punto de vista arquitectónico.

En los sistemas conectados a red, o bien se consume la electricidad generada, o bien es inyectada directamente en la red local. Debido a que los precios de compra y venta de energía eléctrica suelen diferir, se instalan dos contadores independientes, uno para la electricidad consumida de la red y el otro para la cedida a la red. Además del generador, el principal componente de un sistema FV conectado a la red es el inversor. Las principales características que deben cumplir los inversores son: alto rendimiento, buena calidad de onda, buen seguimiento del punto de máxima potencia y adecuadas protecciones, importantes tanto para el usuario y el sistema fotovoltaico, como para la propia red. El inversor debe estar protegido contra sobre tensión, sobre corriente y funcionamiento en modo *isla* (en ausencia de red, el inversor debe desconectarse para evitar situaciones de peligro para los servicios de mantenimiento de la compañía eléctrica).

Las potencias más frecuentes de los inversores para conexión a red en viviendas fotovoltaicas oscilan entre 1 KwKW. y 5 KW., y en general son monofásicos. Sin embargo, edificios no residenciales, como centros comerciales u oficinas, pueden (y deben según el Código Técnico de la Edificación) albergar más potencia fotovoltaica.

En cualquier caso, se tiende a utilizar inversores de tipo modular, con el fin de mejorar el rendimiento del sistema.

Con los cálculos realizados se deduce que el 75% del potencial de área se atribuye a tejados, mientras que el 25% a fachadas. Sin embargo, los valores absolutos de potencial varían mucho más si se considera la relación de superficie de suelo por habitante. Para el caso de Europa del centro-oeste, el "edificio estadístico" tiene una superficie de suelo de 45 m<sup>2</sup>, de los cuales la mitad se utiliza como vivienda, mientras que en Estados Unidos o Australia es casi el doble. Por el contrario, en Japón se reduce a 20 m<sup>2</sup>.

A partir de relacionar los coeficientes obtenidos con el tamaño de la población y la irradiación solar anual se calcula el potencial de producción fotovoltaica en edificios. El método se resume en los siguientes pasos:

$$\text{Potencial de producción FV} = \text{Área per capita disponible} * \text{Tamaño de la población} * \text{Factores de utilización} * \text{Rendimiento solar} * \text{Irradiación solar} * \text{Rendimiento de conversión (10\%)}$$

Con este método, se han calculado los potenciales de área y producción FV para cada país, diferenciando entre fachadas y tejados y considerando cinco tipos distintos de edificio. La Tabla siguiente resume parte de estos resultados.

*Potenciales de área y producción eléctrica con FV en edificios, por países, distinguiendo entre tejados y fachadas. El potencial de área se limita a las superficies que reciben hasta un 80% del máximo total local anual de radiación.*

	Potencial de área para FV en edificios (km <sup>2</sup> )		Potencial de producción FV en edificios (TWh/año)	
	Tejados	Fachadas	Tejados	Fachadas
Estados Unidos	10096	30786	1 662	418
Alemania	1296	486	128	32
Japón	966	362	117	29
Canadá	964	361	119	33
Reino Unido	915	343	83	22
Italia	764	286	103	24
<b>España</b>	<b>449</b>	<b>168</b>	<b>71</b>	<b>16</b>
Australia	422	158	68	16
P. Bajos	259	97	26	6,2
Suecia	219	82	21	5,5
Austria	140	52	15	3,5
Suiza	138	52	15	3,4
Finlandia	127	33	12	3,1
Dinamarca	88	33	8,7	2,2

### CALCULOS SEGÚN EL CTE:

Si bien, como hemos comentado, el CTE obliga tan solo a dotar edificios de uso no residencial, marca unas pautas a la hora de realizar el diseño y los cálculos de la instalación que pueden ser útiles para el estudio de instalaciones en edificios residenciales, por lo que en el **anexo II**, desarrollamos las pautas establecidas según el CTE.

### **Condiciones generales de la instalación**

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 elementos semiconductores conectados entre si, 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 W/m<sup>2</sup>;

b) distribución espectral: AM 1,5 G;

c) incidencia normal;

d) temperatura de la célula: 25 °C.

4) 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.

Los criterios generales de cálculo de un sistema generador fotovoltaico, se desarrolla en el **anexo III**.

### **4.4) Sistemas con generadores estáticos**

Se instalan normalmente en cubiertas planas o inclinadas, aprovechando la propia pendiente del tejado.

Mediante una estructura se elevan los módulos FV entre 20° y 30°, para conseguir la máxima producción energética. Además esta inclinación permite que la propia lluvia limpie los paneles, reduciendo su mantenimiento.

En el caso que la cubierta esté orientada en sentido Este- Oeste, ha de tenerse en cuenta el espacio entre filas de módulos para evitar las sombras propias.

Otra opción son las cubiertas grandes con acristalamiento, como los atrios, o bien los lucernarios o pérgolas, que además protegen de la lluvia y dan sombra.

### **4.5) Sistemas con generadores de seguimiento solar.**

Fundamentalmente los sistemas de seguimiento solar se utilizan en grandes planta de producción. Sin embargo cada vez se están desarrollando más equipos para uso residencial, como es la instalación de parasoles orientables.

El proceso de diseño de proyecto y ejecución de la instalación de un sistema de seguimiento solar fotovoltaico consta de varios pasos a seguir según el siguiente esquema:

Diseño de tipologías de seguidores:

- Proyecto de ejecución de varias tipologías de seguidores solares.
- Elección de las mejores alternativas de tipologías de seguidores teniendo en cuenta una serie de propuestas.
- Generación de planos constructivos tanto para estructuristas como para equipos de control.

Construcción y prueba de prototipos:

- Construcción, instalación, puesta en marcha y revisión de diferentes prototipos, según las alternativas elegidas en la tarea anterior.
- Prueba de todos los prototipos en condiciones variadas de funcionamiento. Se analizan los tiempos, costes y recursos dedicados a la construcción, instalación, puesta en marcha y explotación de cada una de las tipologías.

Métodos de cálculo:

- Métodos de cálculo revisados y validados contra funcionamiento de plantas de seguimiento.
- Mejoras al control de seguimiento, tanto en algoritmos como en alarmas.
- Análisis de los datos de monitorización de plantas de seguimiento.
- Revisión y validación de los métodos de cálculo de energía producida, impacto de sombras y comportamiento frente al viento.
- Generación de algoritmos de análisis automático de datos de monitorización para la generación de alarmas "inteligentes".
- 

Explotación de seguidores:

- Protocolo de instalación, puesta en marcha y mantenimiento de seguidores solares, en sus variadas alternativas.

Dentro de estos sistemas de seguimiento, podemos considerar también los parasoles orientables. La orientación de los módulos se puede realizar de tres formas distintas: de forma mecánica, con motores eléctricos o con unos tubos que contienen un gas que se mueven de forma automática por expansión del gas según el ángulo de impacto de los rayos solares.

#### 4.6) Sistemas sin integración arquitectónica.

Este tipo de instalaciones aprovechan los espacios libres en cubierta de los edificios. Estos sistemas se utilizan sobre todo en edificios donde la integración arquitectónica de los módulos no es un factor importante en el diseño del edificio de nueva construcción, o bien en los casos en que el edificio es ya existente y sólo se dispone de los espacios libres de cubierta para su colocación.

Podemos afirmar que este tipo de instalación suele ser la más común, ya que no implica un estudio de diseño de integración de módulos desde el proyecto arquitectónico, sino que simplemente se utilizan los espacios disponibles en cubierta para su ubicación. Para ello, se coloca una estructura encima de la cubierta, ya sea esta plana o inclinada, y se instalan los paneles sobre dicha estructura.

En el proceso a seguir para realizar esta solución ha de tenerse en cuenta:

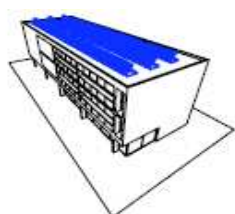
- **Análisis del emplazamiento de los módulos.** Tener en cuenta la accesibilidad y la seguridad del espacio elegido, así como su superficie. Analizar asimismo las

sombras y la orientación definitiva para obtener los mayores rendimientos posibles.

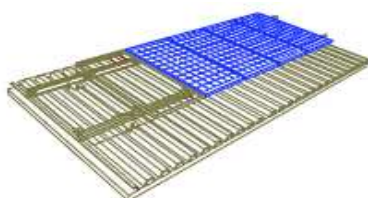
- **Diseño de la instalación.** Elegir una tecnología y un producto que se ajusten al emplazamiento elegido, sus condiciones climáticas y sus índices de radiación. Analizar las cargas dinámicas y estáticas de la instalación. En esta fase se realiza el estudio de rentabilidad de la instalación, definiendo la producción prevista y su amortización.
- **Ejecución de la instalación.** Planificación, búsqueda de recursos e instaladores.
- **Mantenimiento.** La vida útil de una instalación FV ronda los 30 años, por lo que estamos obligados a realizar el mantenimiento adecuado a cada tipo de instalación para mantener su rendimiento.

Estos criterios, también son validos para las instalaciones que contemplan su integración arquitectónica en alguna superficie del edificio; aunque es estos casos será necesario contemplar desde el proyecto arquitectónico la solución estimada.

#### 4.7) Sistemas con integración arquitectónica.



CUBIERTAS PLANAS



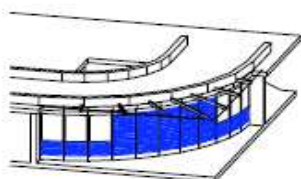
CUBIERTAS INCLINADAS



PARASOLES



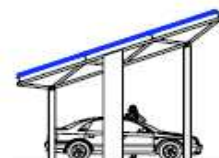
PAÑOS CIEGOS



MURO CORTINA SIMPLE PIEL



PÉRGOLAS



APARCAMIENTOS

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

En la integración en edificios suele ser conveniente la división del sistema fotovoltaico en subsistemas, con el fin de optimizar el rendimiento global. La configuración de inversores asociados a hileras de módulos es muy recomendable para minimizar las pérdidas de producción. Incluso existen en el mercado los llamados *módulos AC* o módulos en corriente alterna, los cuales incluyen su propio inversor.

Este tipo de configuración, sin embargo, tiene alguna desventaja, como es la alta temperatura a la que puede llegar a trabajar el inversor por estar situado bajo el módulo.

Cada vez resulta más sencillo integrar módulos fotovoltaicos en la arquitectura.

Avances tecnológicos recientes permiten la integración de los módulos solares fotovoltaicos como elementos constructivos en edificios. Factores como tamaño, características físicas, aspecto, fiabilidad y costes han evolucionado, de forma que los módulos pueden integrarse en la edificación sustituyendo otros elementos constructivos y llegando, en algunos casos, a competir económicamente con ellos.



La envolvente de un edificio ofrece espacio y soporte para los módulos fotovoltaicos, reduciéndose significativamente los costes de infraestructura de las instalaciones. En principio, cualquier superficie de un edificio que reciba luz solar directa suficiente puede ser apta para la integración de módulos. Existen dos posibles modos de integración en edificios: uno en nuevas construcciones, cuyo diseño tiene en cuenta la incorporación del sistema fotovoltaico, y otro, en edificios ya construidos.

En el primer caso suele buscarse una integración arquitectónica del módulo fotovoltaico, en la que éste sustituye elementos de la construcción y tiene un papel activo en el comportamiento energético y lumínico del edificio. Se buscan soluciones convincentes que resulten estéticas y funcionales desde el punto de vista arquitectónico pero que a la vez busquen, en lo posible, favorecer la producción energética.

En edificios ya construidos es más difícil integrar arquitectónicamente los módulos fotovoltaicos. Normalmente estos casos se resuelven recurriendo a la superposición, es decir, la instalación de los módulos sobre los materiales de la envolvente del edificio. En cualquier caso, debe intentarse que el resultado rompa lo menos posible con la estética del edificio y que la estructura, fijación, estanqueidad y cableado estén resueltos adecuadamente.

El diseño arquitectónico es un factor determinante en el diseño final de estos sistemas. En algunos casos se sacrifica en parte la producción eléctrica a costa de las exigencias arquitectónicas, o viceversa. En cualquier caso, debe llegarse a una solución racional de equilibrio entre ambos factores y debe buscarse en lo posible un resultado estético acorde con el contexto y la armonía del edificio.

Dependiendo de la aplicación y los criterios de diseño, se elegirá el tipo adecuado de módulo. En primer lugar, habrá que tener en cuenta las necesidades energéticas de la aplicación y, considerando la disponibilidad de radiación a lo largo del año, se dimensionará el sistema generador de la manera más conveniente. La potencia a instalar puede también determinarse por otros criterios, como son las exigencias legales o las subvenciones posibles.

Una vez determinada la potencia, puede optarse por distintas tecnologías de módulos, atendiendo a criterios de diseño, precio o espacio disponible. Dependiendo de la ubicación de los módulos (orientación, inclinación, sombreado) y las características eléctricas de éstos, variará el número necesario de módulos a instalar.

Si se utilizan módulos de lámina delgada, como el silicio amorfo (Si-a), el seleniuro de cobre e indio (CIS) o el telurio de cadmio, se conseguirán superficies de aspecto homogéneo. Los de Si-a presentan un tono más rojizo y se han fabricado para su integración arquitectónica también en versión semitransparente (hasta un 50%). Hay que tener en cuenta que las características eléctricas del módulo empeoran al aumentar la transmitancia de éste, y habrá que encontrar un equilibrio óptimo entre grado de transparencia y rendimiento eléctrico.

Si se opta por la tecnología cristalina convencional, las células que componen el módulo serán totalmente opacas (de aspecto homogéneo y color azul oscuro, si se trata de silicio monocristalino, y más inhomogéneas y azuladas si son de silicio multicristalino), pudiéndose jugar con la transparencia y el color del encapsulante de la cara posterior de las células (transmisividad de luz alta o baja, color parecido al de las células o contrastado,...) y el espaciado entre ellas.

En muchas aplicaciones es corriente que el fabricante atienda a las peticiones de los arquitectos, que pueden diseñar los módulos para su integración en edificios u otras construcciones. Actualmente se fabrican células de Si-m de diferentes colores, variando el espesor de la capa antirreflectante.

En el desarrollo de nuevos materiales para integración en edificios, por un lado, se estudian técnicas de laminado de células sobre diferentes materiales, especialmente útiles en el mundo de la construcción. Y, por otro, se obtienen módulos en estado pre-industrial (módulos cristal-cristal, laminados sobre acero, sobre cerámica, etc.). Además se desarrollan técnicas de instalación para integración en edificios: repertorio de técnicas de integración adaptadas a



diferentes tipologías de edificios (cerramientos fotovoltaicos, desarrollo de relaciones estables con estudios de arquitectura, ...).

Especial atención merecen las técnicas de aprovechamiento de la sinergia energética entre módulos y edificios: se trata de analizar el comportamiento térmico del generador fotovoltaico en relación a edificios, para su aprovechamiento en técnicas de arquitectura bioclimática (por ejemplo, desarrollo y validación de herramientas informáticas que permitan diseñar y cuantificar la interacción de un generador fotovoltaico con un edificio).

Las aplicaciones de la energía fotovoltaica se proyectan hoy mucho más allá de las tradicionales instalaciones de los sistemas fotovoltaicos como "artefactos", tanto en la arquitectura como en la ciudad. Desde hace una década, al menos, se busca la integración en el diseño mismo; para explicar esto seguiremos el siguiente esquema de las posibilidades de integración:

### **Integración en fachada:**

**En fachada vertical continua o 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 los montantes y travesaños donde se integra un doble acristalamiento. Los montantes se fijan a los cantos de los forjados. En estos muros cortina, el vidrio convencional se puede sustituir por otro que incorpore células FV. Las juntas entre los vidrios y la perfilaría se resuelven mediante juntas EPDM, de goma, o aplicando silicona en obra o masilla se poliuretano. Los sistemas de silicona estructural, vidriado estructural o piel de vidrio es el más novedoso sistema de fachadas acristaladas de la actualidad. Consisten en eliminar de la cara externa de la fachada el elemento de sujeción metálico para evitar las líneas de fachada y conseguir un efecto de continuidad en la superficie del vidrio. Para ello los cristales se fijan a la estructura (generalmente de aluminio) a través de selladores siliconados de características especiales. En el caso de las fachadas FV, esta solución es muy interesante ya que la superficie vidriada resultante queda totalmente libre de sombras que se proyecten sobre el mismo, aumentando entonces sensiblemente la superficie disponible para la instalación de células fotovoltaicas.



- **En fachada vertical discontinua.** En este tipo de instalaciones vamos a considerar los módulos integrados en lamas o parasoles, que son un instrumento ideal para el control

solar del espacio interior del edificio, facilitando el balance energético, sobre todo en los meses de verano de los países con mucho soleamiento.



- **En fachada inclinada.** Las fachadas inclinadas no son soluciones habituales en arquitectura, si bien se pueden resolver con los mismos criterios que las fachadas verticales, tanto continuas como discontinuas. En cualquier caso habrá que incidir en la solución para evacuación de las aguas de lluvia y procedentes de la limpieza de los módulos, de forma que dicha evacuación se haga sin obstáculos que produzcan su acumulación.



- **Instalación de módulo inclinado en fachada vertical.** Este tipo de instalación responde a la solución de marquesina o porche. En ella se confecciona una estructura auxiliar con perfiles que forman triángulos con la fachada vertical y se orienta e inclina el soporte en la posición más favorable posible hacia el sol. Tienen la ventaja de producir una sombra que se puede aprovechar en los meses de verano. Mediante estas soluciones se consigue evitar el calentamiento innecesario de la fachada en los meses de verano y permite la entrada de luz natural.



**En fachadas de doble piel o fachada ventilada.** Las fachadas respirantes están constituidas por una cámara de aires de dimensiones restringidas y dotadas de una membrana que equipara las presiones interior y exterior, para evitar de esa forma las condensaciones. Proporcionan buen aislamiento térmico y acústico y carecen de mantenimiento interno, pero su coste de fabricación es elevado.

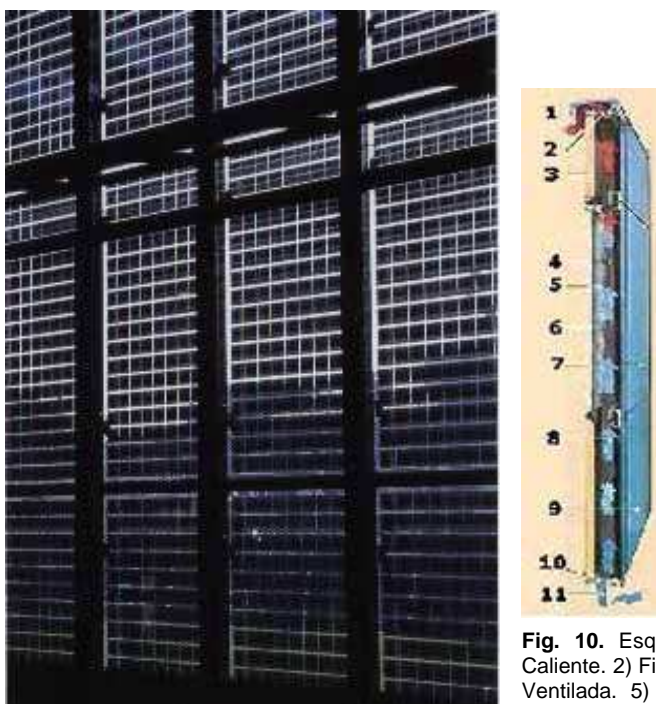
Las fachadas ventiladas tienen una cámara de aire abierta por donde circula el aire libremente, lo cual requiere mayor mantenimiento. Con ellas se obtienen los mejores coeficientes térmicos de verano e invierno y su construcción es más sencilla que las fachadas respirantes. La ventilación de estas fachadas se efectúa por convección natural, mixta o forzada. La convección natural se produce por efecto chimenea evacuando la energía absorbida por los cristales. En consecuencia se disminuye la temperatura superficial del cristal interior. Cuando la ventilación es forzada se actúa sobre la velocidad del aire, controlando el flujo dentro de la misma pudiendo incluso recuperar la energía térmica por acumulación pasiva o mediante intercambiadores de calor.

Otra posibilidad es la introducción del aire calentado en la cámara de aire en el interior del edificio. Consiste en dividir la fachada en dos capas independientes y con usos distintos, separadas por una cámara de aire ventilada. La piel interior es la fachada resistente, estanca y aislada, mientras que la piel exterior tiene como objetivo proteger la interior de los agentes atmosféricos y cumplir una función estética. En nuestro caso, la segunda piel nos servirá para instalar los módulos FV mediante anclajes a una perfilera auxiliar. Con la ventaja que los módulos estarán bien ventilados, lo cual mejora su rendimiento al disipar el calor generado por los mismos.

En la **imagen** siguiente perteneciente a la Universidad de Barcelona vemos como la piel de la fachada actúa como amortiguador térmico generado en la cámara de aire entre el paramento exterior e interior. En ella se crea una cavidad donde el aire se calienta por insolación. En verano el aire que asciende desde la base ventilando los módulos solares y evitando que lleguen a un tope de calentamiento. En invierno el aire caliente se conduce a una planta convencional de calefacción a través de ventiladores o por corrientes libres de convección. El módulo fotovoltaico-térmico multifuncional está formado por células fotovoltaicas con las conexiones eléctricas dispuestas entre dos láminas de vidrio. Ello permite realizar revestimientos opacos o semitransparentes que producen electricidad y aire caliente utilizando la tecnología del muro cortina, termo panel. Los módulos semitransparentes incorporan células solares de silicio amorfo de PHOTOTRONIKS SOLAR TECHNIK GmbH (PST) encapsuladas en doble cristal. Esta innovadora tecnología ha sido desarrollada por TFM (Teulades i Façades Multifuncionals S.A.) dentro del marco del programa para la difusión del ahorro de energía JOULE II de la Unión Europea. Actualmente todo el aire caliente producido en la fachada y en



los lucernarios se recalienta en un campo de colectores solares y se introduce en un moderno climatizador, el que aprovecha el aire caliente tanto para el sistema de calefacción como para el de aire acondicionado de verano, en donde se utiliza como desecante, de forma que pulverizando agua y fomentando su evaporación en el secado del aire exterior se produce una absorción de energía creando aire frío. La eficiencia energética del edificio de la Universidad de Barcelona, en colaboración con el ZSW de Stuttgart, desarrolló un sistema de control informatizado (monitoreado), que permitía acceder a datos precisos sobre la instalación termo-fotovoltaica combinada con la climatización del edificio. El análisis de datos corresponde a un período de prueba: indica que el sistema FV de la Biblioteca trabaja con un coeficiente de eficiencia del 62 %, valor satisfactorio teniendo en cuenta el estado tecnológico de la FV en nuestros días. El seguimiento ha comprobado que en invierno, con el sol bajo, la fachada obtiene un rendimiento similar a las lucernas, pero en verano, con el sol alto, la eficiencia de los paneles de la cubierta casi triplica el rendimiento de sus homólogos en la fachada.



**Fig. 10.** Esquema Corte Muro. 1) Salida de Aire Caliente. 2) Filtro de Aire 3) Panel Aislante. 4) Cámara Ventilada. 5) Persiana Veneciana. 6) Doble Cristal Aislante. 7) Cristal Interior Normal o Fotovoltaico Semitransparente. 8) Ventilación por Efecto Chimenea o Forzada. 9) Cristal exterior Fotovoltaico Opaco. 10) Filtro de Aire. 11) Entrada de Aire. Catálogo TFM.

### Integración en cubierta.

Podemos diferenciar las siguientes variantes:

- En cubierta inclinada.







- Estructura inclinada en cubierta plana.



- "Dientes de Sierra" sobre cubierta plana.





- En cubierta curva.



### **Ventajas integración FV en fachadas**

- Se pueden aprovechar superficies destinadas a otros usos para la incorporación de células fotovoltaicas para la producción de electricidad (ventanas, paneles de fachada o fachadas completas).
- Ahorro de materiales exteriores de revestimiento del edificio y en la estructura de soporte de la instalación.
- Posibilidad de recuperar la energía térmica que se produce en la superficie de captación y aprovecharla en climatizar el edificio.
- Reducción de las pérdidas por transporte de la energía eléctrica, ya que la misma se produce en el sitio de consumo (generación distribuida).
- La posibilidad de reducir la luminosidad o el soleamiento interior del edificio a niveles óptimos. El excedente de energía lumínica no se rechaza, sino que se capta para la producción de electricidad.
- La cámara ventilada, al mismo tiempo de mejorar las condiciones de aislamiento térmico, constituye una barrera eficaz para proteger a los usuarios de la instalación eléctrica del campo de paneles: cajas de conexiones, cableados, superficie posterior de las células y otros elementos eléctricos.
- La misma cámara ventilada permite una temperatura de trabajo de la célula más adecuada y controlada y permite trabajar con módulos de cristal/teclor de escaso espesor ya que el cristal fotovoltaico se ve liberado de las funciones de seguridad y fortaleza física.
- Ahorro en iluminación producido por el hecho de que con las células FV se pueden provocar unas sucesiones de huecos y sombras que permiten tener más espacios abiertos (ventanas) en la pared interior, provocando la entrada de iluminación natural en el interior del edificio.
- En los casos en que los módulos se integran en lucernario basados en montantes y travesaños, se sustituyen los vidrios de doble acristalamiento de las cubiertas por los

paneles con cierto grado de transparencia montados sobre un doble acristalamiento para no perder prestaciones térmicas. Su fijación es exactamente igual a las de los vidrios sustituidos.

#### 4.8) Sistemas en edificios históricos y/o protegidos.

La instalación de sistemas FV en centros históricos de grandes ciudades está cada vez más en los programas municipales de medio ambiente, ejemplo de ello es el proyecto REBUILD (Energías Renovables para Ciudades Europeas con Centros Históricos, FEDER N° 91/00/29/019) del programa RECITE de la D.G. XVI de la CE. Este proyecto, en el que participaron varias ciudades Europeas fue presentado al programa RECITE (Redes de cooperación entre regiones y ciudades de Europa) y nació con una meta muy ambiciosa: Investigar la posibilidad de integrar las energías renovables en edificios ya existentes dentro de los cascos históricos.

En los centros históricos en nuestro país y sobre todo en Andalucía, es muy importante tener en cuenta la tipología de las edificaciones, considerando que los edificios suelen ser de viviendas unifamiliares y por lo general, de más antigüedad que la media habitual. Normalmente se distribuyen en dos o tres pisos, poseen fachadas blanqueadas, algunas ventanas exteriores, tejas árabes cubriendo el tejado y un patio. En su mayor parte, las calles mantienen el trazado musulmán original con la que esta zona de la ciudad se construyó.

A la hora de emplazar el GFV sobre los edificios, se asumen las siguientes premisas:

- a) No se consideran las fachadas como superficies útiles para instalar módulos fotovoltaicos. La ocultación recíproca de fachadas, heredada en esta zona de la época generalmente musulmana y encaminada a conseguir una refrigeración natural, produce un sombreado inaceptable para el GFV. Por otra parte, la colección de la irradiación incidente sobre superficies verticales presenta pérdidas muy elevadas respecto de la captación de energía que se conseguiría sobre una superficie óptimamente orientada en la zona de cubierta,
- b.) Únicamente se consideran útiles aquellos tejados cuyo acimut a esté comprendido entre  $-90^{\circ}$  (Este) y  $90^{\circ}$  (Oeste): se evita así la orientación Norte.
- c) Los módulos fotovoltaicos sobre terrazas estarán orientados al sur e inclinados según la latitud de la ciudad. Si se denomina FR a la superficie de terrazas disponibles, y debido a la necesidad de un ángulo libre de visión igual a  $70^{\circ}$  entre las líneas de módulos fotovoltaicos dispuestos en esta clase de superficie a efectos de minimizar el sombreado, únicamente podrán ser instalados  $0.41 \cdot FR$  m<sup>2</sup> de módulos fotovoltaicos. El factor 0.41 se deduce de una serie de sencillas relaciones trigonométricas. La figura siguiente aclara las consideraciones expuestas más arriba.

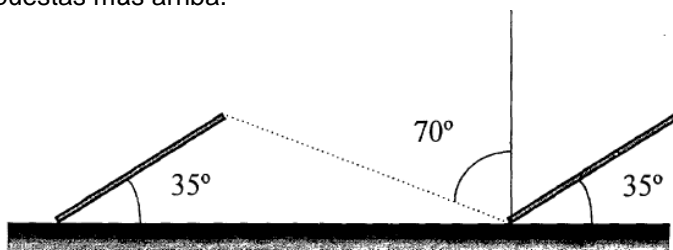


Figura. Inclinación de los módulos fotovoltaicos instalados sobre terrazas. Se respetaría un ángulo libre de visión igual a  $70^{\circ}$  entre las líneas de módulos fotovoltaicos a fin de reducir al mínimo los sombreados

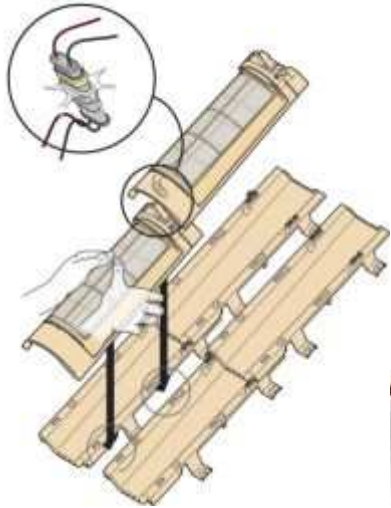
Esta energía no es competitiva respecto de la energía convencional, sin embargo, los costes externos incurridos a lo largo del ciclo de generación de electricidad de la red por medios convencionales en España están escondidos tras el precio mencionado. La cuantificación de algunos costes externos sociales, como pueden ser los daños medioambientales y a la salud

humana, no se cuantifican. De todos modos está claro que los costes de generación no incluidos en las energías renovables son mucho más bajos que los de la energía convencional. Algunos estudios en este campo muestran que los costes sociales de la producción convencional de electricidad doblan, al menos, a los incurridos en la generación de electricidad solar. Otros proponen añadir unos céntimos de euro al precio del mercado del kWh de electricidad generada convencionalmente en países de la Unión Europea al objeto de incorporar los aludidos costes externos.

Una solución típica en edificios históricos son las llamadas tejas TechTile tienen el aspecto óptico de una teja tradicional de arcilla, pero contienen en su interior células fotovoltaicas o bien módulos solares térmicos para calentar agua. A diferencia de los paneles solares convencionales, las superficies de los colectores de las tejas son algo más pequeñas, ya que sólo manteniendo la impresión óptica se pueden aprovechar los tejados históricos para la obtención de energía a pesar de las normas de protección de monumentos. Un tejado orientado al sur con un tamaño de 18 metros cuadrados y un ángulo de inclinación de 30 grados produce 1.650 kilovatios-hora de electricidad al año bajo el sol del sur de Italia. Esto cubre unos cinco sextos del consumo de electricidad anual de un hogar unifamiliar en Alemania.



Gracias a la sencilla conexión por enchufe, se pueden instalar las tejas solares fotovoltaicas sin necesidad de un electricista. Para tejar rápidamente una casa, las tejas solares también están disponibles como módulos de tejado prefabricados con capa aislante y soporte de tejado. No obstante, cada una de las tejas solares funciona independientemente de las tejas contiguas. Si una teja se cae, todas las demás continúan produciendo electricidad.



## 5) INTEGRACION ARQUITECTONICA.

### 5.1) Sistemas existentes.

El conocimiento exhaustivo de los diversos tipos de los módulos disponibles en el mercado, así como su comprobación (dimensiones, peso, sistemas de anclaje, estructuras auxiliares, opacidad y transparencia) es el primer paso hacia la integración de sistemas fotovoltaicos en arquitectura, y que tiene en cuenta los aspectos económicos y funcionales pero también los problemas tales como simplicidad de la instalación, durabilidad, o la propia estética de la instalación.

El uso de módulos estándar así como de los especiales se analizan para alcanzar los requisitos particulares de los edificios, de forma que la integración arquitectónica sea lo mejor posible, desde los puntos de vista estético y funcional.

Existen diferentes tipos o grados de integración. Desde el punto de vista “tradicional” de la tipología, la integración en edificios y en alrededores urbanos se podría clasificar según el tipo de superficie que tendrá la instalación fotovoltaica. Las clasificaciones comunes en resumen son:

**a) Integración de módulos fotovoltaicos en tejados inclinados o módulos que conformando una cubierta sellada con los módulos fotovoltaicos, o que sobrepone los módulos sobre el tejado existente.** Instalación simple (sobre marco metálico – aluminio o acero galvanizado). Generalmente la inclinación de los módulos es la del tejado. Esta solución, aparte de ser simple, produce sombra permanente sobre el tejado, lo cual es una ventaja para combatir la insolación en climas calientes o usando los módulos como láminas sobre estructuras de aluminio que se utilizarán como tejados de cristal estándar, o usando los módulos de BIOSOL, en el cual el generador es también un tejado en el cual cada uno los módulos son una teja de techumbre. Estas dos tecnologías permiten que sustituyamos tejado o partes de él, lo cual hay que tener en cuenta para su evaluación económica y su mantenimiento.

**b) Integración de módulos fotovoltaicos en tejados planos:** integración de los paneles inclinados, mediante estructuras apoyadas simplemente o ajustándose a una superficie paralela a la superficie de la cubierta. Instalación simple (sobre estructuras metálicas – de aluminio o el acero galvanizado). Éstos están disponibles con un ángulo fijo adecuado por la latitud y la época del año, o ajustable. Tienen generalmente contrapeso para evitar el efecto de la vela que se produce con el viento. Las estructuras y el contrapeso se deben diseñar según las regulaciones básicas de la normativa española. Cuando la hoja de la techumbre no resiste el peso de las estructuras o del contrapeso se pueden fijar a las caras o a las paredes del perímetro.

**c) Integración de módulos fotovoltaicos en fachadas:** proyecciones, fachadas ventiladas, ventanas grandes, muros cortina, pieles de cristal ventiladas. Como elementos para el control solar: Parasoles, toldos, alas de los listones. Para estas soluciones se debe tener en cuenta que la superposición de los módulos debe no sólo generar energía sino también actuar como sombra y control solar, así se minimiza el calor y la insolación solar en verano y maximiza la luz en invierno. Estos sistemas de control solares son generalmente horizontales en las fachadas orientados al sur y verticales en las fachadas orientadas al oeste.

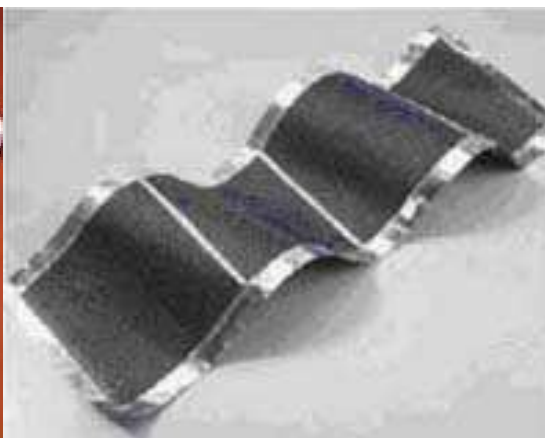
**d) Paredes ciegas, fachadas ventiladas, fachadas y ventanas de cristal,** sustituyendo elementos estándar de la construcción usados como capa. La cámara ventilada evita la entrada del sol directa en el interior de edificios, mejorando la eficacia térmica en el verano. La corriente convectiva del aire que es generado dentro de la fachada ventilada se podría utilizar para soluciones enérgicas integradas. Otra opción es colocar los módulos inclinados levemente para que mejoren la captación solar. Fachadas de cristal y ventanas sustituyendo el por los módulos con diversos grados de la transparencia.



## 5.2) Sistemas en vías de desarrollo.

La ciencia ha permitido aventurar nuevas tecnologías revolucionando los dispositivos foto electroquímicos como son los polímeros conductores y las nanoestructuras sensibilizadas que han permitido a la industria fotovoltaica iniciar recientemente la diversificación de la oferta. Además de las tradicionales células de silicio dopado monocristalino o amorfo que conforman los paneles, se han desarrollado nuevos productos y técnicas. Hoy se han patentado las revolucionarias células solares en dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) nanoestructurado sensibilizado con colorante presentándose como una nueva alternativa para generación fotovoltaica. Los resultados son: células solares flexibles, transparentes, y en diferentes colores.

Sin lugar a dudas, estamos frente a nuevos dispositivos que podrían generar aplicaciones innovadoras y promover nuevos mercados. Se pueden fabricar en cualquier color deseado para una aplicación concreta. En particular, se podría utilizar un colorante con absorción en el infrarrojo que sería transparente para el ojo humano y, aun así, absorbería una fracción substancial de la luz solar; por esto se contempla la incorporación de células de color en ventanas inteligentes que regulan el paso de luz y calor al interior de los edificios. La célula de  $\text{TiO}_2$  con colorante encuentra un mercado potencial de reciente evolución y competencia si se desea aprovechar las ventajas para producir electricidad.



Los módulos de silicio amorfo flexible están formados por un sistema de tres elementos de silicio superpuesto que genera electricidad aprovechando los diferentes espectros de la luz solar. Se trata de un sistema que está colocado entre dos electrodos conductores, consiguiendo un módulo que integra directamente en las membranas poliméricas.

En la actualidad esta joven y reciente tecnología se perfecciona, mejorando la eficiencia y la estabilidad del colorante que a mediano o largo plazo inutilizaría la célula ante otras más competitivas en el mercado solar.

Las esferas que componen la lámina, debido a su forma, tienen la capacidad de absorber luz solar desde cualquier ángulo, y pueden ser de diferentes colores para las más diversas aplicaciones en arquitectura. La flexibilidad del producto deja a la imaginación múltiples aplicaciones. La durabilidad y resistencia de los materiales empleados no requiere de sistemas de protección como marco y vidrio aun para caminar sobre ellos, lo que los hace más ligeros. Se pueden alcanzar tamaños mayores (actualmente 15 cm. x 60 cm.), y pueden ser cortadas en tamaños pequeños según la necesidad. Los costos de producción son menores comparados a la tecnología solar FV tradicional, por una capacidad de producción en serie y un menor uso de materia prima.



Los parámetros, por tanto, a tener en cuenta para el desarrollo tecnológico futuro de los sistemas se basan en los siguientes conceptos:

**-Materiales:**

- No tóxicos y fácilmente reciclables.
- Sustitutivos de elementos de construcción (Integración).

**Vida media de los módulos:**

- Superior a 40 años.

**Proceso:**

- Consumo eléctrico reducido drásticamente (silicio, célula).
- Energía necesaria para proceso, devuelta por la propia generación en un periodo inferior a 12 meses.

**Sistemas:**

- Mini redes locales con distintas fuentes energéticas.
- Energía convencional como complemento para asegurar suministro.
- Autogestión energética en Ayuntamiento o mancomunidades.
- Edificios autosuficientes.

### 5.3) paneles HIBRIDOS.

Es un hecho cierto, que los paneles fotovoltaicos son enemigos del calor. Como es habitual, en las hojas de características de los fabricantes, la potencia del panel está especificada en base a unas condiciones de prueba estándar, (Irradiancia 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura de la célula 25°C,

AM 1.5, etc.). En la vida real, la temperatura de la célula es muchísimo más elevada, con lo cual, la eficiencia de las mismas cae al aumentar la temperatura en una proporción aproximada de  $TK = -0.44\% \text{ } ^\circ\text{C}$ , reduciendo la potencia del panel aproximadamente un 15%.

Lo mencionado anteriormente a modo de introducción es algo que casi todos conocemos, pero ¿existe otra alternativa? La respuesta es sí.

En la Oficina Española de Patentes y Marcas está registrado un invento llamado Panel Solar Híbrido, dicho invento es un Panel que integra la energía solar fotovoltaica y Térmica en un único Módulo Solar.

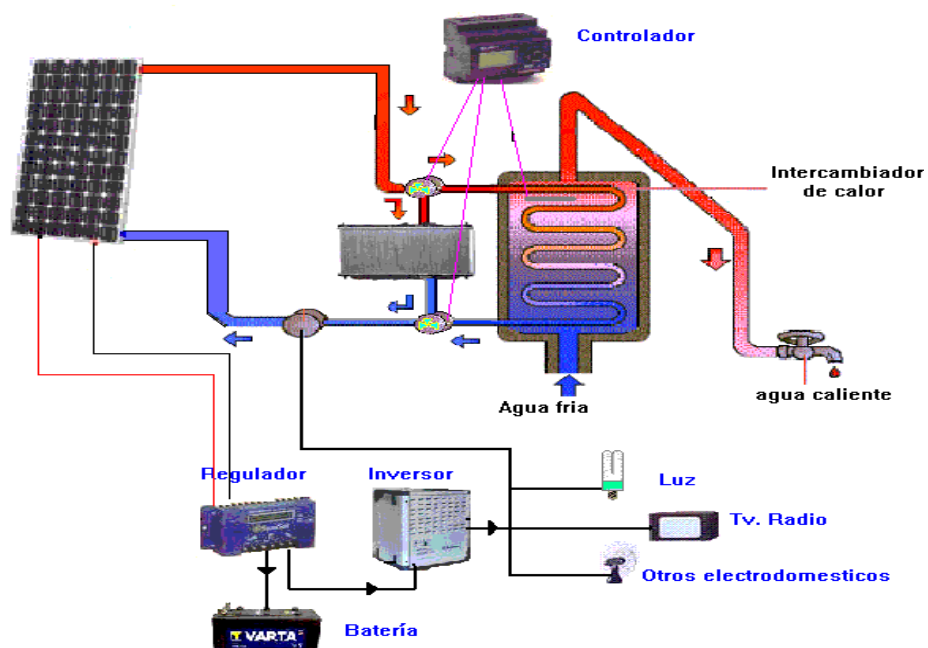
En el Panel Solar Híbrido, utilizado en edificaciones, el calor existente en las células fotovoltaicas, que era un problema, es transferido a un absorbedor de calor integrado en el mismo. El serpentín o similar del absorbedor es recorrido por un fluido calor-portante, que transfiere su energía térmica en el intercambiador del acumulador solar, para ser usada en agua caliente sanitaria. u otros usos. Con este sistema conseguimos aumentar la producción de electricidad un 15% y reducir el espacio necesario para instalar ambos sistemas, ya que obtenemos una cogeneración, mediante la cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil.

El Panel Solar Híbrido usado en Huertas Solares funciona de una forma similar, pero se sustituye el acumulador solar por un sistema de refrigeración basado en disipadores que enfrían el fluido calor-portante por convección de aire. De esta forma el Panel Solar Híbrido se usa como un Módulo Fotovoltaico Refrigerado, concentrando su función en la producción de electricidad.

La vida útil de la instalación es más prolongada, debido a que la temperatura de trabajo de las células es más idónea para los semiconductores.

En edificaciones, actualmente es obligatorio instalar un mínimo de energía solar, pero... ¿Hay espacio suficiente?, ¿Se puede instalar módulos fotovoltaicos y colectores térmicos en el mismo espacio? Los sistemas híbridos son una respuesta parcial a esta pregunta.

*Imagen. Esquema de funcionamiento con panel solar híbrido con recuperador/intercambiador de calor.*



Por otro lado, tenemos ejemplos de desarrollos urbanísticos promovidos por la comunidad de Madrid, que empezará a ser ecológicos por dos colonias del distrito Puente de Vallecas, San Francisco Javier y Nuestra Señora de los Ángeles. El "ecobarrio" de la Empresa Municipal de Vivienda y Suelo (EMVS) es un área de propiedad municipal donde se van a levantar dos colonias con 2069 viviendas de protección oficial (VPO)

La seña de identidad de esta nueva zona residencial será el *District Heating* o calefacción urbana, "una fuente de abastecimiento de energía convencional de alta eficiencia, basada en la tecnología de condensación y baja temperatura, energía solar térmica y pilas de combustible que transforman el gas en calor y electricidad".

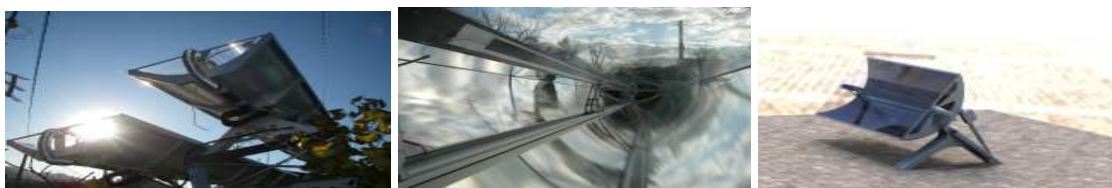
Bajo el suelo de la colonia de San Francisco Javier y Nuestra Señora de los Ángeles se extenderá toda una planta de producción termoeléctrica basada en una tecnología puntera que utilizará un sistema no contaminante, con una veintena de pilas de combustible y el biogás procedente de la planta biometanizadora del vertedero de Valdemingómez, con el valor añadido que presenta la valorización de los Residuos Urbanos de la Comunidad de Madrid. El biogás, una vez comprimido, desulfurado y humidificado se inyectará en los correspondientes procesadores de combustible; el hidrógeno resultante alimentará la sección anódica de las pilas de combustible, reaccionando con el aire comprimido del cátodo y produciendo así corriente continua. Toda la corriente continua producida será convertida en alterna en el inversor y exportada en su totalidad a la red eléctrica general de la compañía distribuidora. El importe de venta de esta electricidad generada permitirá amortizar la inversión en unos seis años si el mercado energético continúa al ritmo actual.

Otro sistema a tener en cuenta son los híbridos de concentración, como el sistema desarrollado por ABSOLICON, que es un concentrador solar cilindro parabólico, el cual concentra la luz en un receptor ubicado en la línea focal del concentrador. El receptor puede ser un tubo de vacío que produce calor, o un receptor con DOBLE TECNOLOGÍA SOLAR (Double Solar Technology (TM) )que produce calor y electricidad simultáneamente.

Double Solar Technology (TM) es una tecnología que fue desarrollada en el año 2002 por Absolicon. En pocas palabras, la idea tras Double Solar Technology es combinar un concentrador térmico y un concentrador fotovoltaico en uno solo, y de esta manera aumentar la producción energética un 40-50% con respecto a un panel fotovoltaico plano con un 10-20% de eficiencia. El resultado es evidente: se consigue optimizar el espacio disponible y la inversión económica necesaria.

Los rayos del sol inciden sobre el colector, el cual enfoca y por tanto concentra la luz del sol 10 veces sobre un elemento receptor ubicado en el centro del colector. En la superficie del receptor se encuentran unas células fotovoltaicas especialmente diseñadas para soportar altos niveles de concentración, de hecho, son capaces de soportar el doble de concentración que aquella a la que le sometemos en Absolicon x10. Tales células fotovoltaicas se calientan debido a la incidencia de la luz concentrada, y con el objeto de mantener dichas células a temperaturas óptimas para la producción eléctrica, el sistema ajusta el caudal de fluido refrigerante que circula por el interior del receptor consiguiendo así mantener la temperatura adecuada, produciendo así, de manera simultánea calor y electricidad.

El sistema viene preparado de fábrica con un seguidor solar astronómico en altura solar. El seguidor también actúa como mecanismo de protección para controlar que no se produzcan sobrecalentamientos, alejando el receptor del foco de concentración cuando se dan temperaturas por encima de cierto valor prefijado, y volviendo a su posición focal cuando se recuperan las temperaturas correctas.





## 6) EVALUACIÓN DE COSTES REPERCUTIDOS EN EL PROYECTO DE EDIFICACIÓN.

La existencia de barreras de carácter no técnico retarda el desarrollo y difusión de la integración fotovoltaica en edificios. Los sistemas fotovoltaicos necesitan elevados costes de inversión inicial para el promotor de las viviendas, que luego habrá que repercutir en el precio de venta final de las mismas. Asimismo hay que pensar en los costes de operación, aunque estos suelen ser bajos ya que se reducen al coste de mantenimiento de los equipos y el seguro. Por ello, son necesarios los incentivos económicos para promover la utilización de la FV en edificios.

Para hacer un análisis de coste de instalación correcto, hay que tener en cuenta no sólo el coste del propio sistema fotovoltaico, sino también el de los elementos constructivos que son sustituidos por los módulos (tejas, elementos de fachadas, elementos de sombra, etc.). En este sentido, aunque en términos absolutos son más caros los sistemas integrados en fachadas que en tejados, en términos relativos esta distancia se acorta, debido al más alto coste de los elementos que son sustituidos, que pueden ser de hasta un 60% del elemento fotovoltaico correspondiente.

La instalación de energía solar fotovoltaica en una vivienda tipo(para unos 5,5 kW) tiene un coste medio de 15.000 euros (año 2009).

Sin embargo el coste real para el usuario es aproximadamente de 6.000 euros, pues existen ayudas y subvenciones de organismos oficiales que alcanzan el 60% del coste de la instalación de energía solar fotovoltaica.

Gracias a la normativa legal existente, que obliga a las compañías eléctricas a comprar la energía generada en instalaciones solares fotovoltaicas a un precio prefijado, podemos "revender" la electricidad generada en nuestra instalación solar a un precio mayor del que la compañía eléctrica nos vende la electricidad, porque las compañías eléctricas están obligadas a comprar a 0,32 euros/kWh la electricidad generada por las instalaciones de energía solar, mientras que nosotros la compramos a la compañía eléctrica a 0.09 euros/kWh.

### **Cálculo del coste de una instalación FV a lo largo de su vida útil:**

El coste a lo largo de la vida útil de una intervención solar en un edificio se obtiene a partir de sumar la inversión inicial más el valor actual del coste de operación y mantenimiento.

En el caso de calefacción por combustible de biomasa tiene que añadirse el valor actual del coste del combustible (orujillo) que se consumirá a lo largo de la vida del equipo.

Existen numerosos métodos de cálculo, pero aquí se adoptarán los relacionados con instalaciones FV en edificios y sus consideraciones económicas.

El coste a lo largo de la vida útil de una instalación FV en un edificio puede ser calculado como:

$$PV_{cost} = PV_{,IN} + PW[PVOM] \quad (1)$$

Donde:

$PV_{cost}$  = es el coste a lo largo de la vida útil de una instalación FV (unidades monetarias).

$PV_{,IN,}$  = es la inversión inicial en el SFCR (unidades monetarias).

$PW(PVOM)$  = es el valor actual de operación y mantenimiento de la instalación FV (unidades monetarias).

$PW(PVOM)$  puede ser escrita como sigue:



$$PW[ PV_{OM} ] = PV_{AOM} \frac{K_{PV} (1 - K_{PV}^N)}{1 - K_{PV}} \quad (2)$$

Donde:

$PV_{AOM}$  = coste anual de operación y mantenimiento, considerado igual a 0.01- PF/w (Unidades monetarias).

$K_{PV} = (1 + \epsilon_{PVOM}) / ((1+i)(1+g))$ . (adimensional).

$N$  = vida útil de la instalación FV (años).

$\epsilon_{PVOM}$  =- diferencial anual del coste de operación y mantenimiento de la instalación FV (adimensional).

$i, g$  = índices de interés e inflación, respectivamente (adimensionales).

Datos y fórmulas obtenidos de:

European Photovoltaic Industry Association (EPIA), *Photovoltaics in 2010, Vol 1-4, Lovaina, 1996*

F. Sick and T. Erge, *Photovoltaics in Buildings, James & James, Londres, 1996.*

ANEXO

M. Kleinpeter, *Energy Planning and Policy, John Wiley & Sons, Wiltshire, 1995.*

G. Almonacid, G. Nofuentes, J. D. Aguilar, J. de la Casa y A. Garrido, 'Estimation of the effects of an intensive solar intervention in the Historical Centre of Jaén (Spain)', *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 3, 197-209(1995).

M. Kleinpeter, *Energy Planning and Policy, John Wiley & Sons, Wiltshire, 1995.*

G. Almonacid, G. No fuentes, J. D. Aguilar, J. de la Casa y A. Garrido, 'Estimation of the effects of an intensive solar intervention in the Historical Centre of Jaén (Spain)', *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 3, 197-209(1995).

European Photovoltaic Industry Association (EPIA), *Photovoltaics in 2010, Vol 1-4, Lovaina, 1996*

F. Sick and T. Erge, *Photovoltaics in Buildings, James & James, Londres, 1996.*

## 7) MANTENIMIENTO.

Como en toda instalación es necesario realizar operaciones de mantenimiento durante la vida de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma.

Es conveniente la instalación de sistemas de monitorización que informaran en cada momento y de forma precisa de la producción de energía. Con estos sistemas no es necesario el control personal continuo de la instalación. Si se registra algún problema se genera un aviso que se transmite a la empresa de mantenimiento de la instalación. La cual a través de Internet monitoriza el funcionamiento de la instalación. No obstante, la monitorización de los equipos no es obligatoria, aunque sí conveniente y dependerá de los criterios que pretenda aplicar el promotor de la instalación y de la inversión a realizar.

Para la limpieza de los paneles, mediante una estructura se elevan los módulos FV entre 20° y 30°, para conseguir la máxima producción energética. Esta inclinación permite que la propia lluvia limpie los paneles, reduciendo su mantenimiento.

Siempre es conveniente tener en cuenta que el acceso a la instalación debe ser lo más cómodo posible. En los casos de cubiertas planas, su limpieza afecta en gran medida a su rendimiento.

### **Generalidades del mantenimiento:**

Se definen dos escalones complementarios de actuación:

#### a) plan de vigilancia;

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.

#### b) plan de mantenimiento preventivo.

Son operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros, que aplicados a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

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.

El mantenimiento preventivo ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles ó desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.

El mantenimiento preventivo de la instalación incluirá, al menos, una revisión semestral en la que se realizarán las siguientes actividades:

- b.1) comprobación de las protecciones eléctricas;
- b.2) comprobación del estado de los módulos: comprobar la situación respecto al proyecto original y verificar el estado de las conexiones;
- b.3) comprobación del estado del inversor: funcionamiento, lámparas de señalizaciones, alarmas, etc.;

b.4) comprobación del estado mecánico de cables y terminales (incluyendo cables de tomas de tierra y reapriete de bornes), pletinas, transformadores, ventiladores/extractores, uniones, reaprietes, limpieza.

## 8) CONCLUSIONES

La generación distribuida de energía eléctrica es una de las soluciones para el ahorro energético y el desarrollo sostenible de nuestra sociedad. Esta generación distribuida, evitando centrales de generación y distribución masiva, permite acondicionar la generación energética a las necesidades particulares de los edificios a suministrar, sea cual sea el uso al que vaya destinado.

Las exigencias por parte de la opinión pública y la sociedad en general, ante los gobiernos y organismos internacionales, de reducir la utilización de combustibles fósiles y exigir el uso de fuentes de energía renovables y no contaminantes, será un elemento fundamental para la implantación de dichas fuentes de energía; permitiendo una democratización de los recursos energéticos, de los procesos de producción y de las empresas que los controlan.

Además, el crecimiento de la población mundial y la demanda de energía los países en vías de desarrollo hará que los precios de los combustibles fósiles inicien una escalada que permitirá hacer competitivos otros sistemas de energía, como la producción de energía solar fotovoltaica. La cual deberá implantarse en entornos urbanos con integración en los edificios, del mismo modo que se ha ido implantando en entornos rurales. Así como deberá desarrollarse de forma distribuida, al igual que se ha desarrollado en grandes centrales de producción.

A pesar de su gran potencial, la existencia de barreras de carácter no técnico retarda el desarrollo y difusión de la integración fotovoltaica en edificios. Son necesarios los incentivos económicos para promover la utilización de la FV en edificios, debido a que estos sistemas, aunque tienen bajos costes de operación, necesitan elevados costes de inversión.

Las principales ventajas que presenta la integración de sistemas fotovoltaicos en edificios residenciales consisten en que suponen un apoyo para cubrir las necesidades de consumo de los edificios, se aprovechan superficies no utilizadas en cubiertas, se ahorra materiales de revestimiento (tejas, vidrios, cubiertas, etc.) si el sistema está realmente integrado y se ahorran pérdidas adicionales de conducción y distribución de la energía eléctrica. Así se puede adaptar la potencia del sistema a las necesidades locales de consumo. Incluso en sistemas conectados a red, en los que interese reducir los picos de demanda eléctrica a la red en determinadas horas.

Aparecen, por lo tanto, dos retos a corto plazo, que podrían concretarse en la integración arquitectónica y en el impulso al modelo de la generación distribuida.

Asimismo, en el momento actual, se están produciendo dos cambios muy importantes en la estructura española de apoyo público a la I+D, el actual Ministerio de Ciencia y Tecnología que desgaja también del de Educación las competencias de la investigación pública y que por primera vez existe un programa de investigación en energía que podría ser más integrador que los que ha habido en el pasado.

Es evidente que optar por instalaciones de energía solar fotovoltaica reporta numerables ventajas, tanto en instalaciones de generación centralizada como distribuida. En nuestro caso, en el que nos centramos en las ventajas obtenidas en instalaciones en edificaciones de viviendas en entorno urbano, que es el objeto del presente trabajo, tiene las mismas ventajas a nivel genérico para cualquier instalación FV, entre otras adicionales, que se relacionan conjuntamente con las particulares para este tipo de instalaciones (elevada calidad energética, es inagotable a escala humana, no requieren sofisticar las medidas de seguridad, no producen residuos tóxicos de difícil o imposible tratamiento o eliminación, su balance energético es positivo generalmente a partir del 3º al 5º año, obtiene ingresos adicionales en la comunidad de propietarios, rentabiliza un espacio desaprovechado, aumenta el valor de la propiedad, etc.).

Esta tendencia convertirá las instalaciones FV en una parte más del edificio que tanto promotores, como arquitectos, ingenieros y constructores deberán asumir. Cuanto más

implicado esté en el diseño del edificio el diseño de la instalación FV, mejor será el resultado y su integración. Gracias a los nuevos tipos de módulos que se están fabricando, su integración en las fachadas o cubiertas de los edificios es cada vez más sencilla y rentable. Teniendo en cuenta que al sustituir materiales tradicionales (tejas, vidrios elementos de fachadas, lucernarios, pérgolas, voladizos, etc.) por estructuras de paneles solares, no sólo se obtiene rendimiento energético, sino que además se obtiene un ahorro en los materiales sustituidos, así como influencia en el balance térmico del edificio y en la iluminación procedente del exterior.

La aprobación del CTE marca un antes y un después en el uso de las energías renovables en los edificios en nuestro país. En el caso de edificios residenciales de viviendas aun no se contempla la obligatoriedad de su instalación, sin embargo, al igual que sucedió con la energía solar térmica, se prevé que en el futuro sea obligatorio disponer de sistemas de generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables en los edificios destinados a viviendas.

En cuanto a la tecnología, disponemos ya de una hipotética cuarta generación de células solares con tecnología fotovoltaica compuesta en las que se mezclan, conjuntamente, nanopartículas con polímeros en varias capas delgadas multiespectrales, creando células más eficientes y baratas, con aprovechamiento de diferentes tipos de luz, de energía y de calor . No obstante, las células de cuarta generación están aún en periodo de investigación, siendo el 80 % de las utilizadas de primera generación y el 20 % de segunda generación.

Por otro lado, en cuanto a los sistemas de instalaciones, las instalaciones híbridas (fotovoltaicas, termoeléctricas, biogás, gas natural, pilas de hidrógeno, etc.), parecen ser las que resolverán en el futuro las necesidades energéticas en zonas urbanas, aprovechando diferentes fuentes de energía, seleccionadas en base a su rentabilidad económica y satisfacción de las necesidades de los usuarios.

En el caso de las instalaciones en edificios de viviendas en entorno urbano, consideramos que se generalizarán las instalaciones conectadas a red con producción híbrida. Definiendo el sistema de generación adecuado al edificio que queremos dotar, ya sea con generadores estáticos o con sistema de seguimiento y con aprovechamiento del calor residual producido. Asimismo el sistema utilizado se integrará arquitectónicamente en el edificio o bien simplemente se utilizará espacio disponible en cubierta para su ubicación, pero siempre planificando su instalación desde la redacción del proyecto arquitectónico como un elemento más del edificio.



## 9) BIBLIOGRAFÍA Y SITIOS web DE INTERÉS.

- [www.bpsolar.es](http://www.bpsolar.es)
  - [www.censolar.org](http://www.censolar.org)
  - [www.shellsolar.com](http://www.shellsolar.com)
  - [www.heliplast.cl](http://www.heliplast.cl)
  - [www.isofoton.es](http://www.isofoton.es)
  - [www.total-energie.fr](http://www.total-energie.fr)
  - [www.solarcentury.co.uk](http://www.solarcentury.co.uk)
  - Ballard Power Systems Inc. ([www.Ballard.com](http://www.Ballard.com))
  - [www.Isofoton.com](http://www.Isofoton.com)
  - [www.uni-solar.com](http://www.uni-solar.com)
  - [www.intemper.com](http://www.intemper.com)
  - [www.asif.org](http://www.asif.org)
  - [www.epsea.org](http://www.epsea.org)
  - [www.asades.org.ar](http://www.asades.org.ar)
  - [www.vitruvius.com.br](http://www.vitruvius.com.br)
  - [www.akademie-mont-cenis.de](http://www.akademie-mont-cenis.de)
  - [www1.dicoruna.es/ipe/ayudas/TecnologiaTIC/energia\\_investigacion/joule\\_thermie/JouleThermie.htm](http://www1.dicoruna.es/ipe/ayudas/TecnologiaTIC/energia_investigacion/joule_thermie/JouleThermie.htm)
  - [www.gruposolarquantica.com](http://www.gruposolarquantica.com)
  - 3S Swiss Solar Systems AG
  - [www.adventsolar.com](http://www.adventsolar.com)
  - [www.centennialsolar.com](http://www.centennialsolar.com)
  - [www.powerquant.com](http://www.powerquant.com)
  - [www.ertex-solar.at](http://www.ertex-solar.at)
- Ministerio de Educación y Ciencia. Jornada de Difusión PSE-CO2. Proyectos Científico Tecnológicos singulares y Estratégicos (PSE) Ciencia-Tecnología-Empresa. Manuel Montes Ponce de León. Subdirector General de Programas de Fomento de la Investigación Técnica Sectorial.

European Photovoltaic Industry Association (EPIA), Photovoltaics in 2010, Vol 1-4, Lovaina, 1996

F. Sick and T. Erge, Photovoltaics in Buildings, James & James, Londres, 1996.

M. Kleinpeter, Energy Planning and Policy, John Wiley & Sons, Wiltshire, 1995.

G. Almonacid, G. Nofuentes, J. D. Aguilar, J. de la Casa y A. Garrido, 'Estimation of the effects of an intensive solar Intervention in the Histórica! Centre of Jaén (Spain)', Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 3, 197- 209(1995).

M. Kleinpeter, Energy Planning and Policy, John Wiley & Sons, Wiltshire, 1995.

European Photovoltaic Industry Association (EPIA), Photovoltaics in 2010, Vol 1-4, Lovaina, 1996

F. Sick and T. Erge, Photovoltaics in Buildings, James & James, Londres, 1996.

J. Rifkin. La economía del Hidrógeno. Ed. Paidós. Nueva York, 2000.

Nuria Martín Chivelet, I. Fernández Solla. La envolvente fotovoltaica en la arquitectura. Ed. Reverté. Barcelona, 2007.

ASIF (Asociación de la Industria Fotovoltaica). Informe Anual 2009.

## 10) TERMINOLOGÍA

### Terminología (según CTE)

**Célula solar o fotovoltaica:** dispositivo que transforma la radiación solar en energía eléctrica.

**Cerramiento:** función que realizan los módulos que constituyen el tejado o la fachada de la construcción arquitectónica, debiendo garantizar la debida estanqueidad y aislamiento térmico.

**Elementos de sombreado:** módulos fotovoltaicos que protegen a la construcción arquitectónica de la sobrecarga térmica causada por los rayos solares, proporcionando sombras en el tejado o en la fachada del mismo.

**Fuente de corriente:** sistema de funcionamiento del inversor, mediante el cual se produce una inyección de corriente alterna a la red de distribución de la compañía eléctrica.

**Funcionamiento en isla o modo aislado:** cuando el inversor sigue funcionando e inyectando energía a la red aún cuando en ésta no hay tensión.

**Generador fotovoltaico:** asociación en paralelo de ramas fotovoltaicas.

**Instalación solar fotovoltaica:** aquella que dispone de módulos fotovoltaicos para la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica, sin ningún paso intermedio.

**Integración arquitectónica de módulos fotovoltaicos:** módulos fotovoltaicos que cumplen una doble función, energética y arquitectónica (revestimiento, cerramiento o sombreado) y, además, sustituyen a elementos constructivos convencionales o son elementos constituyentes de la composición arquitectónica.

**Interrupción:** dispositivo de seguridad y maniobra.

**Irradiación solar:** energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado, obtenida por integración de la irradiancia durante un intervalo de tiempo dado, normalmente una hora o un día. Se mide en kWh/m<sup>2</sup>.

**Irradiancia solar:** potencia radiante incidente por unidad de superficie sobre un plano dado. Se expresa en kW/m<sup>2</sup>.

**Módulo o panel fotovoltaico:** conjunto de células solares directamente interconectadas y encapsuladas como único bloque, entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie.

**Perdidas por inclinación:** cantidad de irradiación solar no aprovechada por el sistema generador a consecuencia de no tener la inclinación óptima.

**Perdidas por orientación:** cantidad de irradiación solar no aprovechada por el sistema generador a consecuencia de no tener la orientación óptima.

**Perdidas por sombras:** cantidad de irradiación solar no aprovechada por el sistema generador a consecuencia de la existencia de sombras sobre el mismo en algún momento del día.

**Potencia de la instalación fotovoltaica o potencia nominal:** suma de la potencia nominal de los inversores (la especificada por el fabricante) que intervienen en las tres fases de la instalación en condiciones nominales de funcionamiento.

**Potencia nominal del generador:** suma de las potencias máximas de los módulos fotovoltaicos.

**Radiación Solar Global media diaria anual:** energía procedente del sol que llega a una determinada superficie (global), tomando el valor anual como suma de valores medios diarios.

**Radiación solar:** energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas.

**Rama fotovoltaica:** subconjunto de módulos interconectados en serie o en asociaciones serie-paralelo, con voltaje igual a la tensión nominal del generador.

**Superposición de módulos fotovoltaicos:** módulos fotovoltaicos que se colocan paralelos a la envolvente del edificio sin la doble funcionalidad definida en la integración arquitectónica. No obstante no se consideran los módulos horizontales.

## Anexo I

*Cálculo del potencial de FV en edificios para un edificio tipo.*

Superficie	Tejado	Fachada
Area planta del edificio de referencia.	1 m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup>
Superficie total.	1.2 m <sup>2</sup>	1.5 m <sup>2</sup>
Superficie disponible tras descontar elementos de la construcción, históricos, sombras y factor de vandalismo.	60 %	20 %
Como consecuencia, área arquitectónica neta.	0.72 m <sup>2</sup>	0.3 m <sup>2</sup>
Superficie aceptable desde el punto de vista de la irradiación (80% de la óptima).	55%	50%
Área neta tras considerar las restricciones arquitectónicas y solares.	0.4 m <sup>2</sup>	0.15 m <sup>2</sup>
Factor de utilización final.	40%	15%

## Anexo II: El CTE y la fotovoltaica

### Determinación de la potencia a instalar

1 La potencia pico a instalar se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$P = C \cdot (A \cdot S + B)$$

Siendo

**P** la potencia pico a instalar [kWp];

**A y B** los coeficientes definidos en función del uso del edificio;

**C** el coeficiente definido en función de la zona climática

**S** la superficie construida del edificio [m<sup>2</sup>].

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 unos límites establecidos. Consideran tres casos: general, superposición de módulos e integración arquitectónica. Considerando que existe integración arquitectónica cuando los módulos cumplen una doble función energética y arquitectónica y además sustituyen elementos constructivos convencionales o son elementos constituyentes de la composición arquitectónica. Se considera que existe superposición arquitectónica cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio, no aceptándose en este concepto la disposición horizontal con en fin de favorecer la auto limpieza de los módulos. Una regla fundamental a seguir para conseguir la integración o superposición de las instalaciones solares es la de mantener, dentro de lo posible, la alineación con los ejes principales de la edificación.

En todos los casos se han de cumplir las tres condiciones: pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombreado y pérdidas totales inferiores a los límites estipulados respecto a los valores obtenidos con orientación e inclinación óptimas y sin sombra alguna. Se considerará como la orientación optima el sur y la inclinación óptima la latitud del lugar menos 10°.

Sin excepciones, se deben evaluar las pérdidas por orientación e inclinación y sombras del sistema generador de acuerdo a lo estipulado en los apartados 3.3 y 3.4. Cuando, por razones arquitectónicas excepcionales no se pueda instalar toda la potencia exigida cumpliendo los requisitos indicados, se justificará esta imposibilidad analizando las distintas alternativas de configuración del edificio y de ubicación de la instalación, debiéndose optar por aquella solución que más se aproxime a las condiciones de máxima producción.

### Cálculo

#### Zonas climáticas

1 En la tabla y en la figura se marcan los límites de zonas homogéneas a efectos de la exigencia. Las zonas se han definido teniendo en cuenta la Radiación Solar Global media diaria anual sobre superficie horizontal (H), tomando los intervalos que se relacionan para cada una de las zonas.

*Radiación solar Global*

**Tabla 3.1 Radiación solar Global**

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



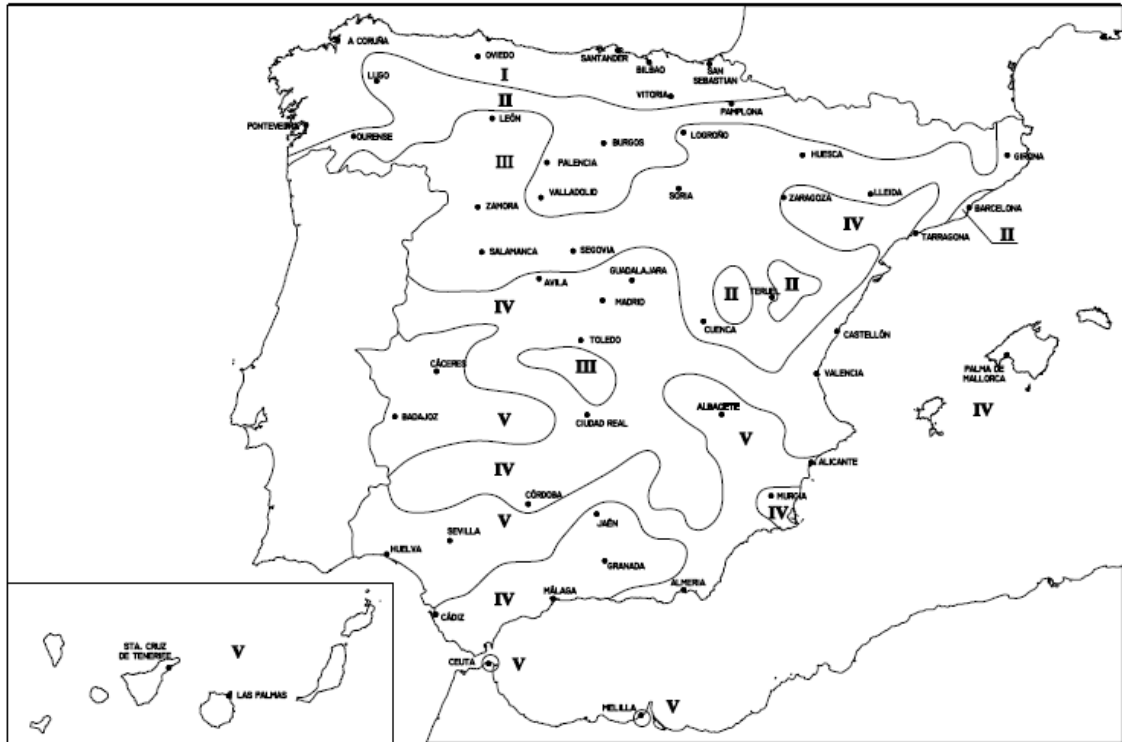


Figura 3.1 Zonas climáticas

Tabla 3.2 Zonas climáticas

A CORUÑA	Arteixo	I	Cerdanyola del Valles	II	Rota	V		
	Carballo	I	Cornella de Llobregat	II	San Fernando	IV		
	A Coruña	I	Gava	II	San Roque	IV		
	Ferrol	I	Granollers	III	Sanlúcar de Barrameda	V		
	Naron	I	L'Hospitalet de Llobregat	II	CANTABRIA	Camargo	I	
	Oleiros	I	Igualada	IV		Santander	I	
	Riveira	I	Manresa	III		Torrelavega	I	
	Santiago de Compostela	I	El Masnou	II	CASTELLON	Burriana	IV	
ALAVA	Vitoria-Gasteiz	I	Mataro	II		Castellon de la Plana	IV	
ALBACETE	Albacete	V	Mollet del Valles	II		La Vall d'Uixó	IV	
	Almansa	V	Montcada i Prat	II		Vila-Real	IV	
	Hellin	V	Llobregat	II		Vinaroz	IV	
	Villarrobledo	IV	Premia de mar	II	CEUTA	Ceuta	V	
ALICANTE	Alcoy	IV	Ripollet	II	CIUDAD REAL	Alcazar de San Juan	IV	
	Alicante	V	Rubi	II		Ciudad Real	IV	
	Benidorm	IV	Sabadell	III		Puertollano	IV	
	Crevillent	V	Sant Adria de Besos	II		Tomelloso	IV	
	Denia	IV	Sant Boi de Llobregat	II		Valdepeñas	IV	
	Elche	V	Sant Cugat del Valles	II	CORDOBA	Baena	V	
	Elda	IV	Sant Feliu de Llobregat	II		Cabra	V	
	Ibi	IV	Sant Joan Despi	II		Córdoba	IV	
	Javea	IV	Sant Pere de Ribes	II		Lucena	V	
	Novelda	IV	Sant Vicenç dels Horts	II		Montilla	V	
	Orihuela	IV	Santa Coloma de Gramenet	II		Priego de Córdoba	V	
	Petrer	IV	Terrassa	III		Puente Genil	V	
	San Vicente del Raspeig	V	Vic	III	CUENCA	Cuenca	III	
	Torre Vieja	V	Viladecans	II	GIRONA	Blanes	III	
	Villajoyosa	IV	Vilafranca del Penedes	III		Figueras	III	
	Villena	IV	Vilanova i Geltru	III		Girona	III	
ALMERIA	Adra	V	Aranda de Duero	II		Olot	II	
	Almería	V	Burgos	II		Salt	III	
	El Ejido	V	Miranda de Ebro	II	GRANADA	Almuñecar	IV	
	Roquetas de mar	V	CÁCERES	Cáceres		Baza	V	
ASTURIAS	Aviles	I		Plasencia		Granada	IV	
	Castrillon	I	CADIZ	Algeciras	IV	Guadix	IV	
	Gijón	I		Arcos de la Frontera	V	Loja	IV	
	Langreo	I		Barbate	IV	Motril	V	
	Mieres	I		Cadiz	IV	GUADALAJARA	Guadalajara	IV
	Oviedo	I		Chiclana de la frontera	IV	GUIPUZCOA	Arrasate	I
	San Martín del Rey Aurelio	I		Jerez de la frontera	V		Mondragón	I
	Siero	I					Donostia-San Sebastian	I
AVILA	Ávila	IV					Eibar	I
BADAJOS	Almendralejo	V					Errenteria	I
	Badajoz	V					Irun	I
	Don Benito	V				HUELVA	Huelva	V
	Mérida	V				HUESCA	Huesca	III
	Villanueva de la Serena	V				ILLES	Calvia	IV
BARCELONA	Badalona	II	CADIZ	La Línea de la Concepción	IV	BALEARS	Ciudadella Menorca	IV
	Barbera del Valles	II		El Puerto de Santa María	IV		Eivissa	IV
	Barcelona	II		Puerto Real	IV		Inca	IV
	Castelldefels	II						

	Llucmajor	IV	MALAGA	Antequera	IV	Ecija	V
	Mahon	IV		Benalmadena	IV	Lebrija	V
	Manacor	IV		Estepona	IV	Mairena del	V
	Palma de	IV		Fuengirola	IV	Aljarafe	
	Santa Eulalia del Río	IV		Malaga	IV	Morón de la	V
JAEN	Alcalá la Real	IV		Marbella	IV	Frontera	
	Andujar	V		Mijas	IV	Los Palacios y	V
	Jaén	IV		Rincón de la	IV	Villafranca	
	Linares	V		Victoria	IV	La Rinconada	V
	Martos	IV		Ronda	IV	San Juan de	V
	Ubeda	V		Torremolinos	IV	Aznalfarache	V
				Velez-Málaga	IV	Sevilla	V
LA RIOJA	Logroño	II	MELILLA	Melilla	V	Utrera	V
LAS PALMAS	Arrecife	V	MURCIA	Águilas	V	SORIA	Soria
	Arucas	V		Alcantarilla	IV	TARRAGONA	Reus
	Galdar	V		Caravaca de la	V		Tarragona
	Ingenio	V		Cruz	V		Tortosa
	Las Palmas de Gran Canaria	V		Cartagena	IV		Valls
	San Bartolome de Tirajana	V		Cieza	V		El Vendrell
	Santa Lucia	V		Jumilla	V	TERUEL	Teruel
	Telde	V		Lorca	V	TOLEDO	Talavera de la
LEON	León	III		Molina de Segura	V		Reina
	Ponferrada	II		Murcia	IV		Toledo
	San Andres del Rabanedo	III		Torre-Pacheco	IV	VALENCIA	Alaquas
LUGO	Lugo	II	NAVARRA	Barañain	II		Aldaia
LLEIDA	Lleida	III		Pamplona	II		Algemesi
MADRID	Alcalá de	IV		Tudela	III		Alzira
	Alcobendas	IV	OURENSE	Ourense	II		Burjassot
	Alcorcón	IV	PALENCIA	Palencia	II		Carcaixent
	Aranjuez	IV	PONTEVEDRA	Cangas	I		Catarroja
	Arganda del Rey	IV		A Estrada	I		Cullera
	Colmenar Viejo	IV		Lalín	I		Gandia
	Collado Villalba	IV		Marín	I		Manises
	Coslada	IV		Pontevedra	I		Mislata
	Fuenlabrada	IV		Redondela	I		Oliva
	Getafe	IV		Vigo	I		Ontinyent
	Leganes	IV		Vilagarcía de	I		Paterna
	Madrid	IV		Arousa	I		Quart de poblet
	Majadahonda	IV	SALAMANCA	Salamanca	III		Sagunto
	Mostoles	IV	SANTA CRUZ	Arona	V	VALLADOLID	Sueca
	Parla	IV	DE TENERIFE	Icod de los Vinos	V		Torrent
	Pinto	IV		La Orotava	V		Valencia
	Pozuelo de Alarcon	IV		Puerto de la Cruz	V		Xativa
	Rivas-Vaciamadrid	IV		Los Realejos	V		Xirivella
	Las Rozas de Madrid	IV	SANTA CRUZ DE TENERIFE	San Cristobal de Santa Cruz de Tenerife	V		Medina del Campo
MADRID	San Fernando de Henares	IV		Tacoronte	V		Valladolid
	San Sebastian de los Reyes	IV	SEGOVIA	Segovia	III	VIZCAYA	Barakaldo
	Torrejon de Ardoz	IV		Alcala de	V		Basauri
	Tres Cantos	IV	SEVILLA	Guadaira	V		Bilbao
	Valdemoro	IV		Camas	V		Durango
				Carmona	V		Erandio
				Coria del Río	V		Galdakao
				Dos Hermanas	V		Getxo
							leioa
							Portugalete
							Santurtzi
							Sestao
						ZAMORA	Zamora
						ZARAGOZA	Zaragoza

### **Anexo III:**

#### **Criterios generales de cálculo de un 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 ó 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.

#### **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.

#### **Protecciones y elementos de seguridad**

- 1) La instalación incorporará todos los elementos y características necesarias para garantizar en todo momento la calidad del suministro 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 IP65.

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.

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

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.

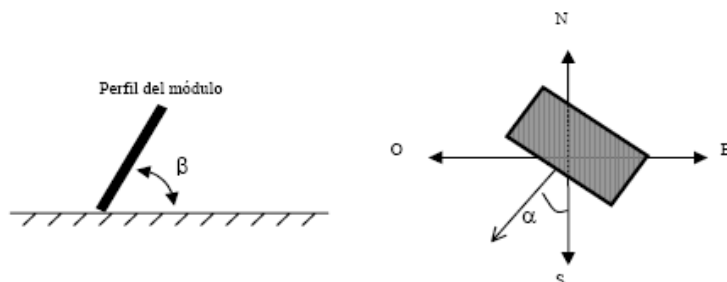


Figura 3.2 Orientación e inclinación de los módulos

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 establecidas. Para ello se utilizará la figura 3.3, válida para una latitud ( $\varphi$ ) de 41°, de la siguiente forma:

1.a) conocido el acimut, determinamos en la figura 3.3 los límites para la inclinación en el caso ( $\varphi$ ) = 41°. 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 nos proporcionan los valores de inclinación máxima y mínima.



1.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 interceptan, se obtienen los valores para latitud ( $\phi$ ) = 41° 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°, de acuerdo a las siguientes fórmulas:

2.a) inclinación máxima = inclinación ( $\beta = 41^\circ$ ) - (41° - latitud);

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

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

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \cdot [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \phi + 10)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \alpha^2] \quad \text{para } 15^\circ < \beta < 9$$

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

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

### Apéndice: (pérdidas de radiación por sombras)

1) El presente apéndice 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.

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 figura 3.4, 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° 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).

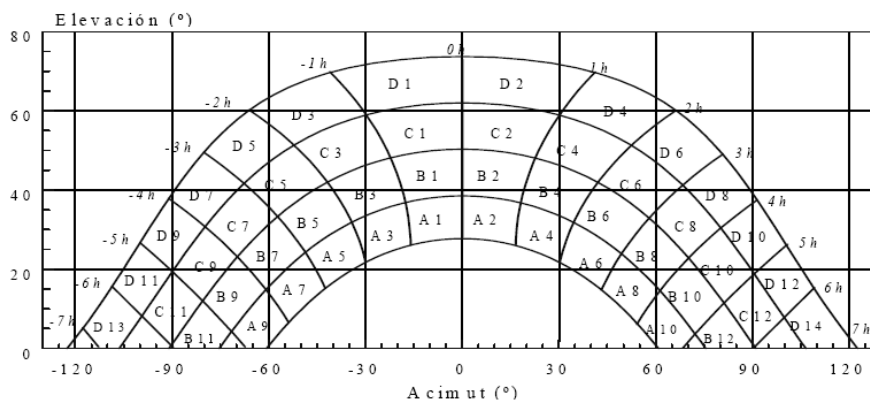


Diagrama trayectorias del sol:

(\*) los grados de ambas escalas son sexagesimales

de

2) Cada una de las porciones de la figura anterior 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 particular aquélla que resulte interceptada por el obstáculo. Debe escogerse como referencia para el cálculo la tabla más adecuada de entre las que se incluyen en el apéndice B de tablas de referencia.

3) Las tablas incluidas en este apéndice se refieren a distintas superficies caracterizadas por sus ángulos de inclinación y orientación ( $\beta$  y  $\alpha$ , respectivamente). Debe escogerse aquélla 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.