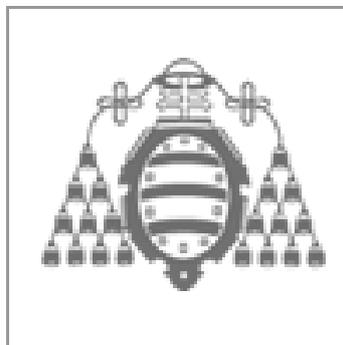


INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Máster Universitario en Ciencia y Tecnología de Materiales
Trabajo Fin de Máster
Junio 2013

Tutor: Amador Menéndez Velázquez

Alumna: Marta Neira Artidiello



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ÍNDICE

| | |
|---|-------|
| 1. Prólogo..... | 3 |
| 2. Introducción..... | 4-5 |
| 3. Historia y evolución..... | 6-7 |
| 4. Situación de la Energía Fotovoltaica..... | 7-8 |
| 5. El proyecto arquitectónico y la Energía Fotovoltaica..... | 8-10 |
| 6. Normativa de la Energía Fotovoltaica..... | 11-21 |
| 6.1 Código Técnico de la Edificación (CTE)..... | 14 |
| 6.1.1 Ámbito de aplicación..... | 15 |
| 6.1.2 Cálculo y dimensionado de una instalación fotovoltaica..... | 15-17 |
| 6.1.3 Pérdidas de una instalación fotovoltaica..... | 17-21 |
| 7. Instalación de la Energía Fotovoltaica..... | 22-25 |
| 8. Sistemas fotovoltaicos convencionales..... | 26-31 |
| 8.1 Características del módulo fotovoltaico..... | 28-29 |
| 8.2 Pérdidas comunes de las instalaciones fotovoltaicas convencionales..... | 29-30 |
| 8.3 Incorporación de los módulos fotovoltaicos a las edificaciones..... | 30-31 |
| 9. Ventanas generadoras de energía..... | 32-48 |
| 9.1 Los vidrios fotovoltaicos semitransparentes..... | 33-35 |
| 9.2 El concentrador solar luminiscente..... | 35-40 |
| 9.3 Tipologías y posibilidades de combinación..... | 41-44 |
| 9.4 Integración arquitectónica de las ventanas generadoras de energía..... | 44-48 |
| 10. Conclusiones..... | 49 |
| 11. Bibliografía..... | 50 |

1. PRÓLOGO

A lo largo del curso del *Máster Universitario en Ciencia y Tecnología de Materiales*, hemos comprobado la importancia que tienen los materiales en el avance de la tecnología. Gracias a la asignatura de *Avances Recientes en Materiales y Metalurgia* pudimos acercarnos a los últimos avances en tecnología de la energía fotovoltaica. Dada mi formación como arquitecta, la integración arquitectónica de la energía fotovoltaica me despertó gran interés, por ser una asignatura pendiente dentro del sector de la construcción.

A lo largo de este Trabajo Fin de Máster, y gracias a la colaboración de Amador Menéndez Velázquez, hago una descripción global de esta tecnología desde un punto de vista arquitectónico. Cualquier profesional de la construcción podrá entender los conceptos básicos de los distintos sistemas de generación de energía fotovoltaica, desde los convencionales hasta los más novedosos, y de cómo cada uno de ellos hace más o menos posible su integración arquitectónica. Por otro lado, se explica cómo las nuevas normativas en el sector de la edificación obligan a incorporar sistemas de energía fotovoltaica en los edificios, hecho que puede condicionar la calidad del diseño arquitectónico. Por todo ello, una gran parte del texto, está dedicada a plantear diferentes soluciones constructivas, con el objetivo de conseguir integrar la energía fotovoltaica en las edificaciones de forma óptima y eficiente.

2. INTRODUCCIÓN

Es un hecho que el actual modelo de desarrollo económico, basado principalmente en el uso intensivo de recursos energéticos de origen fósil, provoca impactos medioambientales negativos y desequilibrios socioeconómicos que están obligando a definir un nuevo modelo de “*desarrollo sostenible*”.

Existe una relación entre consumo de energía y desarrollo económico y, asimismo, entre consumo de energía y calidad de vida. Es por tanto condición “*sine qua non*” para garantizar el desarrollo sostenible y, en su vertiente económica, garantizar el suministro energético y estable de calidad.

La generación eléctrica en plantas de carbón, fuel o gas natural produce la emisión a la atmósfera de compuestos contaminantes diversos, óxidos de azufre, de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles responsables de diferentes daños medioambientales, tales como la desertización o el temible cambio climático. Estos impactos sobre el medio ambiente provocan el deterioro de los ecosistemas naturales y la pérdida de la biodiversidad.

Tal y como señala la Estrategia de la Unión Europea para un Desarrollo Sostenible, es obligado limitar el impacto del cambio climático. No debemos olvidar que más del 75% de las emisiones de los seis gases de efecto invernadero, contemplados por el Protocolo de Kioto, tienen un origen energético.

Por otro lado, la excesiva tasa de dependencia energética exterior de España (cercana al 80% en los últimos 5 años) y de la Unión Europea en su conjunto (del orden del 50%) provoca riesgos macroeconómicos derivados de posibles restricciones de la oferta de petróleo por parte de los países productores, agravadas incluso debido a situaciones geopolíticas de difícil control. Además, el nivel de consumo actual de los países desarrollados no permite asegurar el abastecimiento futuro de energía, ni facilita el acceso a la energía de los países en desarrollo.

Todo este cúmulo de problemas ha llevado a una concienciación de la población, que cada día ve con más reticencia la excesiva dependencia de estos recursos energéticos, y que demanda a sus gobernantes la apuesta por nuevas alternativas energéticas más limpias y menos contaminantes. Estas alternativas son las que hoy conocemos como Energías Renovables, que tienen la capacidad de ser inagotables y respetuosas en su gran mayoría con el Medio Ambiente.

Entre estas energías se encuentra la Energía Solar Fotovoltaica, que mediante un dispositivo denominado célula fotovoltaica, convierte la radiación solar en electricidad. Con la ventaja que esto supone, ya que el sol es una fuente inagotable de energía que, además de ser limpia, posee la ventaja de estar disponible en mayor o menor grado en toda la superficie del planeta.

Debe señalarse, que cada kWh generado con energía solar fotovoltaica evita la emisión a la atmósfera de aproximadamente un kilo de CO₂, en caso de comparar con

generación eléctrica con carbón, o de aproximadamente 400 gramos de CO₂, en el caso de comparar con la generación eléctrica mediante gas natural.

España, por su localización y clima, es uno de los países de Europa donde el recurso solar es más abundante. Además, presenta la ventaja de que su distribución por el territorio puede ser relativamente homogénea, produciéndose por ello escasas variaciones en la irradiación solar en superficies inferiores a los 100km².

Las instalaciones solares fotovoltaicas no requieren características geográficas específicas para ser productivas. Además, el recurso solar no presenta limitaciones de generación, estando tan sólo limitado por el territorio disponible.

La mayor parte del consumo de energía eléctrica se lleva a cabo en las edificaciones. Gracias a la investigación multidisciplinar de físicos, químicos e ingenieros existen grandes avances tecnológicos que permiten incorporar la generación de energía solar fotovoltaica en el entorno urbano, es decir, mediante células fotovoltaicas cada edificio puede generar su propia energía eléctrica. El alto consumo de energía de los edificios impide que las instalaciones fotovoltaicas puedan abastecer el 100% de su demanda, de todos modos, la constante investigación en el sector, permite que se estén consiguiendo instalaciones fotovoltaicas cada vez más eficientes.

El Parlamento y el Consejo Europeo han aprobado en mayo de 2010 la directiva 2010/31/UE denominada “Directiva Europea de Eficiencia Energética en Edificios” y conocida como “Directiva de ahorro energético 20 20 20”. Su principal objetivo es reducir un 20 por ciento el consumo energético de los edificios para el año 2020. Esta norma, obliga a renovar un mínimo de edificios públicos e impone auditorías energéticas a las grandes empresas. Además, a partir del 31 de diciembre de 2020, todos los edificios de nueva construcción deberán tener un consumo de energía casi nulo.

Esta medida dará un giro a la forma de construir edificios ya que todos ellos deberán incorporar algún tipo de energía renovable, siendo óptima, tal y como se ha descrito, la energía solar fotovoltaica. Los arquitectos, a la hora de proyectar los edificios tendrán que contar desde el principio con esta nueva condición.

La Integración Arquitectónica de la Energía Fotovoltaica, será la única posibilidad de ganar en eficiencia energética sin perder en calidad de diseño, ya que las células fotovoltaicas han de estar o bien en las fachadas, o bien en las cubiertas, por estar en contacto directo con la radiación solar.

3. HISTORIA Y EVOLUCIÓN

En 1839, el físico francés Edmund Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico, es decir, la transformación de luz en energía eléctrica, cuando experimentaba con dos electrodos metálicos en una solución conductora y constató un aumento de la generación eléctrica producida al exponerla a la luz del sol.

Durante más de 30 años, el descubrimiento no fue utilizado, hasta que Heinrich Hertz estudió el efecto fotoeléctrico en los cuerpos sólidos, produciendo celdas fotovoltaicas que convertían la luz en electricidad con 1-2% de eficiencia.

Posteriormente, fueron surgiendo diferentes científicos que aportaron sus progresos a esta nueva forma de energía. En 1873, Willoughby Smith descubre la fotoconductividad del selenio y, en esta dirección, W.G.Adams y R.E.Day producen la primera célula fotovoltaica de selenio.

En 1904, Albert Einstein publica su artículo sobre el efecto fotovoltaico, que posteriormente recibiría el premio Nobel de 1921. Los principios cuánticos desarrollados en los años 1920 y 1930 fundamentaron el presente modo de entender el fenómeno fotovoltaico.

No obstante, es importante destacar que fue el método Czochralski desarrollado en 1918 el que supuso uno de los mayores avances de esta tecnología, y que permitió en la década 1940-50 la obtención, de forma comercial, de monocristales de silicio con la pureza requerida para el desarrollo de células solares.

Fue en 1954, cuando los investigadores D.M. Chaplin (ingeniero electrónico), C.S. Fuller (químico) y G.L. Pearson (físico), de los Laboratorios Bell, el centro de investigación y desarrollo de la empresa AT&T en EE.UU., dieron a conocer la primera célula que obtenía energía eléctrica directamente de la luz solar con eficiencia suficiente para hacer funcionar un radiotransistor.

Este avance quedó reflejado mediante la publicación del artículo *A New Silicon p-n junction Photocell for converting Solar Radiation into Electrical Power*. Es importante reseñar que este prototipo de célula de silicio sólo aprovechaba en 6% de la energía que le llegaba del sol, pero fue suficiente para dar comienzo a una nueva era en la obtención de las energías renovables.

La verdadera revolución en la investigación de la energía solar llegó en la década de 1960, con el desarrollo de la exploración espacial. Los satélites espaciales necesitaban una fuente de energía autónoma y fiable que no supusiera un peso excesivo. La energía solar se presentó como la solución ideal. Desde entonces, la eficiencia de las células solares ha aumentado exponencialmente y la energía fotovoltaica se ha hecho imprescindible en algunas aplicaciones espaciales.

En paralelo, la utilización de la energía solar en la Tierra comenzó a desarrollarse de una forma más prosaica, con aplicaciones a pequeña escala.

En los años 80 se comenzaron a utilizar instalaciones solares como fuente de energía para viviendas apartadas, cuyos habitantes buscaban una alternativa no contaminante, así como un complemento para sus generadores diesel. Durante los años 90, los programas de promoción pública puestos en práctica en algunos países como Alemania o Japón, aumentaron la demanda de estas instalaciones.

En consecuencia, a través del desarrollo de la producción industrial en serie, comenzaron a bajar los costes de producción, de modo que los sistemas también pudieron incrementar su presencia en otros sectores del mercado y competir con las soluciones energéticas existentes.

Hoy en día, la tecnología solar fotovoltaica tiene un futuro prometedor, ya que combina ventajas económicas y ambientales, que dan respuesta a la demanda de una manera adecuada al contexto social, económico y energético.

4. SITUACIÓN DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

El mercado europeo fotovoltaico creció notablemente en el año 2007. Según los datos disponibles y proporcionados por EurObserver, la potencia añadida durante el año 2006 alcanzó los 1.245,7 MWp (Megavatio pico o 1 millón de vatios pico), lo que ha permitido al conjunto de la Unión Europea sumar un total de 3.400 MWp. Los objetivos del Libro Blanco de la Comisión Europea para 2010 se cumplieron con cuatro años de anticipación.

El mercado europeo fotovoltaico ha mantenido un ritmo de crecimiento sostenido, aunque la industria se ve frenada por la incapacidad de cubrir la demanda. La potencia acumulada corresponde al suministro eléctrico de 110.000 hogares. Sin embargo, el sector europeo sigue siendo muy heterogéneo, con un mercado alemán muy dominante, su potencia acumulada se estima en 1.153 MWp.

Alemania ocupa la primera posición mundial, seguido por Japón, que suma 300 MWp, y por Estados Unidos, que añadió más de 120 MWp.

El mercado español ocupa la segunda posición en Europa con una potencia complementaria de 60,5 MWp, seguido por Italia con 11,6 MWp y por Francia con 6,4 MWp.

A pesar de las estrategias de los mercados japoneses y chinos, que aspiran a aumentar sus capacidades de producción y sus cotas de venta, la industria europea mantiene una buena posición en el mercado mundial.

Uno de los problemas que impiden un mayor crecimiento es la escasez de silicio. El mercado del silicio presenta ahora dos sectores que cubrir, el electrónico y en los últimos años el de las células fotovoltaicas. Cada año las empresas productoras amplían su producción pero todavía resulta insuficiente para el mercado.

En cuanto a las tecnología fotovoltaicas empleadas, aquellas basadas en el uso del silicio policristalino y monocristalino como material semiconductor suponen un 90% de la potencia fotovoltaica instalada total, situación que se prevé que continúe en el futuro.

Esta falta de oferta de material de silicio y el costoso proceso de fabricación aparejado encarecen el producto final. Sin embargo, gracias al apoyo de numerosos gobiernos para fomentar el I+D+i en la industria fotovoltaica, cada pocos meses surgen nuevas tecnologías y nuevos procesos de fabricación que permiten recortar costes y aumentar la producción. De hecho, uno de los principales objetivos perseguidos por el sector es nada menos que conseguir igualar, a medio plazo, el coste de producción energética de las energías fósiles.

5. EL PROYECTO ARQUITECTÓNICO Y LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Tal y como se ha citado anteriormente, la Integración Arquitectónica de la Energía Fotovoltaica se presenta como la solución para que nuestros edificios puedan ganar en eficiencia energética, sin perder en calidad de diseño.

Puede parecer que la calidad de diseño de una construcción está condicionada por la percepción de belleza del observador en cuestión. Sin embargo, desde un punto de vista arquitectónico, la perspectiva es totalmente distinta. Para poder comprender este concepto es necesario conocer cómo se desarrolla un proyecto de arquitectura.

Proyectar un edificio es un proceso complejo. El arquitecto, con el fin de responder con éxito a la demanda de su cliente, debe seguir un proceso determinado. El primer paso consiste en conocer el uso que tendrá la edificación (residencial, hospitalario, administrativo, escolar, hotelero, comercial...) y quiénes serán sus habitantes, prestando especial atención a las actividades que en él se van a realizar, a sus culturas y a sus costumbres. De esta forma se va generar un Programa de Necesidades que la construcción deberá cubrir y que será el pilar principal del proyecto.

Por otro lado, se debe realizar un estudio del emplazamiento, localizar sus límites, orientación, accesos, infraestructuras urbanas y definir la superficie del solar y la topografía. Es de gran importancia conocer qué elementos lo rodean, si existen construcciones que arrojen sombras sobre él, etc.

Una vez definido el Programa de Necesidades y el emplazamiento, el arquitecto comienza a proyectar el edificio. Para ello, además de tener en cuenta estos factores, debe atenerse al menos, a dos normativas que van a condicionar en gran medida el diseño: por un lado el Código Técnico de la Edificación (CTE) y por otro el planeamiento urbanístico.

El CTE es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de Noviembre, de ordenación de la Edificación

(LOE). Las Exigencias Básicas de calidad que deben cumplir los edificios se refieren a materias de seguridad: seguridad estructural, seguridad contra incendios, seguridad de utilización; y habitabilidad: salubridad, protección frente al ruido y ahorro de energía. El CTE se aplica a edificios de nueva construcción, a obras de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación y a determinadas construcciones protegidas desde el punto de vista ambiental, histórico o artístico. Se estructura en Documentos Básicos (DB) haciendo cada uno referencia a una materia determinada.

Por otro lado, el planeamiento urbanístico es un conjunto de normas establecidas por cada municipio, destinadas a controlar aspectos relacionados con el entorno, con los edificios y con las calles. Tienen como misión proteger el patrimonio, la naturaleza y a los habitantes. En función del número de habitantes de cada municipio, estas normas se recogen en los Planes de Ordenación Urbana o en las Normas Urbanísticas. Estas normas establecen la calificación del terreno (urbano, urbanizable y no urbano) y la clasificación del solar (uso: hotelero, hospitalario, residencial...). Además pueden definir otra serie de parámetros como edificabilidad, tipología, superficie máxima a edificar, retranqueos, número de plantas, altura, inclinación de cubierta, materiales de construcción, carpinterías,...

Llegados a este punto, existe un gran número de condicionantes del proyecto. Analizados todos ellos, el arquitecto proyecta el edificio, trabajando simultáneamente con cuatro factores: diseño, estructura, construcción e instalaciones.

-El diseño está asociado a la expresión artística del proyectista. Su objetivo, es dar respuesta al Programa de Necesidades, adaptarse al emplazamiento y cumplir tanto el CTE como el planeamiento urbanístico correspondiente.

-La estructura está compuesta por los elementos que forman "el esqueleto" de la construcción dándole estabilidad. Está compuesta por pilares, muros de carga, vigas y forjados. En función de cómo sea el edificio y de sus dimensiones se elegirá un determinado sistema.

-La construcción hace referencia al sistema constructivo elegido para realizar los paramentos, acabados, etc., donde la elección de materiales tiene un papel protagonista.

-Las instalaciones son el conjunto de redes y equipos fijos que permiten el suministro y operación de los servicios que ayudan a los edificios a cumplir las funciones para las que han sido diseñados. Abarcan: saneamiento de aguas usadas, saneamiento de aguas pluviales, instalación eléctrica, agua fría y caliente, telecomunicaciones, instalaciones de climatización, instalaciones de incendios, etc.

Para que haya calidad de diseño, los cuatro factores han de combinarse de forma simultánea. No se habla de un buen proyecto arquitectónico cuando el diseño se ve afectado por las limitaciones de la estructura, por las redes de instalaciones o por la elección del sistema constructivo.

Los módulos fotovoltaicos, tal y como los encontramos en el mercado, condicionan el diseño y en algunos casos la estructura de la edificación. Debido a los materiales utilizados para que sean efectivos, estos módulos tienen un color y una textura determinados que los caracterizan. Si se superpone un módulo fotovoltaico sobre un elemento de una edificación, bien sea en la cubierta o en una fachada, su diseño se va a ver afectado; por otro lado, si se coloca un gran número de módulos, es posible que el peso que estos ejerzan implique que se deba reforzar la estructura.

El CTE, en determinados casos, obliga a la implantación de un mínimo de energía fotovoltaica, así como también lo hacen nuevas normativas emergentes, como la ya citada 20 20 20. Para que su uso en edificaciones no implique una pérdida en la calidad de diseño deben buscarse alternativas que posibiliten su integración.

La Integración Arquitectónica de la Energía Fotovoltaica (BIPV-Building Integrated Photovoltaics) consiste en la sustitución de materiales y/o elementos convencionales de construcción por elementos fotovoltaicos. De esta forma se genera un nuevo sistema constructivo que, además de ser generador energía, puede adaptarse a las características de la edificación.

Comparando las siguientes fotografías puede apreciarse la diferencia que existe entre la incorporación y la integración de la energía fotovoltaica. En la figura 1, se ha superpuesto un módulo fotovoltaico a la cubierta de una edificación; se trata por tanto de incorporación de energía fotovoltaica y lleva aparejado una pérdida en calidad de diseño. Sin embargo, en la figura 2, se han sustituido elementos convencionales de construcción, como son las tejas, por elementos fotovoltaicos; siendo un ejemplo de integración de energía fotovoltaica.



Figura 1. Incorporación de la energía fotovoltaica.



Figura 2. Integración de la energía fotovoltaica.

6. NORMATIVA DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

A continuación se citan las normativas nacionales referentes a energía fotovoltaica.

-Plan de Energías Renovables en España (PER) 2005-2010

-Ley 54/1997, del sector eléctrico (B.O.E. 30.09.2000)

-Real Decreto 1663/2000, sobre la conexión de instalaciones fotovoltaicas a la Red Eléctrica (B.O.E DE 28.11.1997)

-Resolución del Ministerio de Economía, de 31 de mayo de 2001, de la Dirección Gral. De Política Energética y Minas, por la que establecen modelo de contrato tipo y el modelo de factura para instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la Red de baja tensión (B.O.E 21.01.2001)

-Real Decreto 314/2006, de 17 de Marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

-Real Decreto 661/2007, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial (B.O.E 26.05.2007)

-Real Decreto 2818/1998, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración (B.O.E 30.12.1998)

-Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se 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 841/2002, de 3 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 si energía eléctrica producida.

-Real Decreto 871/2007, de 29 de junio, por el que ajustan las tarifas eléctricas a partir del 1 de julio de 2007.

-Real Decreto 2019/1997, de 26 de diciembre, por lo que se organiza y regula el mercado de producción de energía eléctrica.

Por otra parte, según la normativa propia y existente establecida a nivel regional, tenemos:

-Andalucía:

Instrucción de 21/01/2004, de la Dirección Gral. De Industria, Energía y Minas sobre el procedimiento de puesta en servicio de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a Red (BOJA 26).

Resolución de 1/12/2003 de la Dirección Gral. De Industria, Energía y Minas por la que se aprueba el modelo de memoria técnica de diseño de instalaciones eléctrica en baja tensión (BOJA 8).

-Aragón:

Orden de 25/06/2004 del Departamento de Industria, Comercio y Turismo sobre el procedimiento administrativo aplicable a las instalaciones de energía solar fotovoltaica conectadas a la Red eléctrica (BOA 82)

-Baleares:

Resolución del Conseller de Comercio, Industria y Energía de 11 de julio de 2006 por la que se Ordena la publicación de la circular del Director General de Energía de 10 de julio de 2006, por la que se dictan con carácter provisional pautas de actuación interna encaminadas a unificar criterios de interpretación en relación con la normativa aplicable a las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la Red.

-Canarias:

Decreto 26/1996 de 9 de febrero por el que se simplifican los procedimientos administrativos aplicables a las instalaciones eléctricas (BOC 28)

-Castilla la Mancha:

Decreto 299/2003 de 4 de noviembre, por el que se regula el procedimiento de reconocimiento de la Condición de Instalación de Producción de Energía Eléctrica en Régimen Especial y la creación del Registro Autonómico de las Instalaciones acogidas a dicho régimen (BOCM 158).

-Castilla y León:

Instrucción 01/2004/E de 5 de abril de 2004, sobre procedimientos abreviados de autorizaciones administrativas de instalaciones de producción de energía eléctrica, en baja tensión, en las que no se precise el reconocimiento en concreto, de utilidad pública.

Orden FOM/1079/2006 de 9 de junio por la que se regula la instrucción técnica urbanística relativa en condiciones generales de instalación y autorización de infraestructuras de producción de energía eléctrica que tengan un origen fotovoltaico (BOCyL 126)

-Cataluña:

Decreto 352/2001 de 18 de diciembre sobre procedimiento administrativo aplicable a las instalaciones de energía solar fotovoltaica conectadas a la Red eléctrica (DOGC 3544-02/01/2002).

-Comunidad Valenciana:

Decreto 117/2005 de 18 de noviembre del Consell de la Generalitat, por el que se regula el procedimiento administrativo aplicable a determinadas instalaciones de energía solar fotovoltaica (DOGV 5141).

-Extremadura:

Orden de 29/01/2007 de la Consejería de Economía y Trabajo, por la que se establecen normas complementarias para la conexión en las redes de distribución y para la tramitación de determinadas instalaciones generadoras de energía eléctrica en régimen especial y agrupaciones de las mismas (DOE 15).

-Madrid:

Orden 9344/2003 de 1 de octubre del Consejero de Economía e Innovación Tecnológica, por la que se establece el procedimiento para la tramitación, puesta en servicio e inspección de las instalaciones eléctricas no industriales conectadas a una alimentación en baja tensión (BOCM 249).

Resolución de 14 de enero de la Dirección Gral. De Industria, Energía y Minas por la que se publican los modelos oficiales de Memoria Técnica de Diseño y Certificado de Instalación de la Comunidad de Madrid.

-Murcia:

Ley 10/2006 de 21 de diciembre de Energías Renovables y Ahorro y Eficiencia Energética de la Región de Murcia (BORM 2).

-Navarra:

Orde Foral 258/2006 de 10 de agosto del Consejero de Industria y Tecnología, Comercio y Trabajo, por la que se dictan normas complementarias para la tramitación administrativa de puesta en servicio y conexión a la Red de distribución eléctrica de las instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial y sus agrupaciones (BON 113).

-País Vasco:

Orden 5057 del 11 de julio de 2001 por el que se regula el procedimiento administrativo aplicable a las instalaciones de energía solar fotovoltaica (BOPV 177).

Por otro lado existe el denominado *Pliego de Condiciones Técnicas (PCT)*, elaborado por el IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético) que fija las

condiciones técnicas mínimas que deben cumplir las instalaciones fotovoltaicas aisladas de la Red y que sirven de guía para instaladores y fabricantes de equipos. Define las especificaciones mínimas que debe cumplir una instalación para asegurar su calidad, en beneficio del usuario y del propio desarrollo de esta tecnología.

Además, en el marco de las nuevas directrices para la edificación se pretende profundizar en la certificación energética de los edificios (obligatoriedad para la obtención del permiso o cédula de habitabilidad) y hacerlo visible para el público de forma que se genere demanda de edificios de bajo consumo energético (alta eficiencia, bioclimáticos, sostenible, etc.) motivando a la innovación en este mercado en el caso de los edificios nuevos y a una mayor demanda de la rehabilitación energética de edificios existente.

6.1 CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE)

Como se ha citado anteriormente el Código Técnico de la Edificación es un conjunto de normas de obligado cumplimiento en edificación. El Documento Básico de Ahorro de Energía (DB HE) tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de ahorro de energía.

Este DB HE está estructurado en secciones en función de la materia a regular, siendo la sección número 5 la que recoge las reglas referentes a la Energía Fotovoltaica. Las secciones son:

- HE 1: Limitación de la Demanda Energética.
- HE 2: Rendimiento de las Instalaciones Térmicas.
- HE 3: Eficiencia Energética de las Instalaciones de Iluminación.
- HE 4: Contribución Solar mínima de Agua Caliente Sanitaria.
- HE 5: Contribución Fotovoltaica mínima de Energía Eléctrica.

Los aspectos que regula esta normativa son el ámbito de aplicación, el cálculo y dimensionado, las pérdidas y el mantenimiento de la instalación.

Como se podrá comprobar a continuación, las especificaciones que establece el CTE son muy rigurosas. En muchos casos, cumplir con la normativa conlleva a cierta pérdida en calidad de diseño de las edificaciones. Por ello, cobra tanta importancia el concepto de integración arquitectónica.

Las figuras de este apartado (Figuras 3-12) están extraídas de la sección HE 5: Contribución Fotovoltaica mínima de Energía Eléctrica, del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación.

6.1.1 ÁMBITO DE APLICACIÓN

El Código Técnico de la Edificación obliga a que, en determinados edificios y a partir de una determinada superficie o capacidad, se incorporen sistemas de captación y transformación de energía solar por procedimientos fotovoltaicos.

Los usos y límites de aplicación a partir de los cuales resulta de aplicación el CTE quedan recogidos en la figura 3:

| Tipo de uso | Límite de aplicación |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Hipermercado | 5.000 m ² construidos |
| Multitienda y centros de ocio | 3.000 m ² construidos |
| Nave de almacenamiento | 10.000 m ² construidos |
| Administrativos | 4.000 m ² construidos |
| Hoteles y hostales | 100 plazas |
| Hospitales y clínicas | 100 camas |
| Pabellones de recintos feriales | 10.000 m ² construidos |

Figura 3. Ámbito de aplicación.

6.1.2 CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

La potencia mínima exigida dependerá de la zona climática donde se ubique el edificio, del tipo de edificio y de la superficie construida.

Las instalaciones fotovoltaicas se conectarán a la Red interior del edificio, para consumo interno, o en la Red de distribución de la compañía eléctrica, para suministro a la Red. En cualquiera de las dos opciones, deberán cumplir con el Real Decreto 843/2002, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, y con el Real Decreto 1663/2000, sobre conexión a la Red eléctrica de instalaciones fotovoltaicas a la Red de Baja Tensión.

La determinación de la potencia pico a instalar para cada uso se deberá calcular mediante la siguiente fórmula:

$P=Cx(AxS+B)$, donde:

-P es la potencia pico mínima a instalar, en KWp. La potencia pico es la potencia máxima del generador fotovoltaico en condiciones estándar de medida (irradiancia de 1.000w/m², distribución espectral AM 1,5G y temperatura de célula fotovoltaica de 25°C).

-C es el coeficiente climático, que dependerá de la zona climática donde se encuentre el edificio bajo la aplicación de la exigencia. Toma valores desde 1,0 para la zona climática menos favorable, hasta 1,5 para la zona climática más favorable.

En relación con el nivel de radiación solar en el territorio, se definen 5 zonas climáticas, las cuales quedan delimitadas en el siguiente mapa representado en la Figura 4.

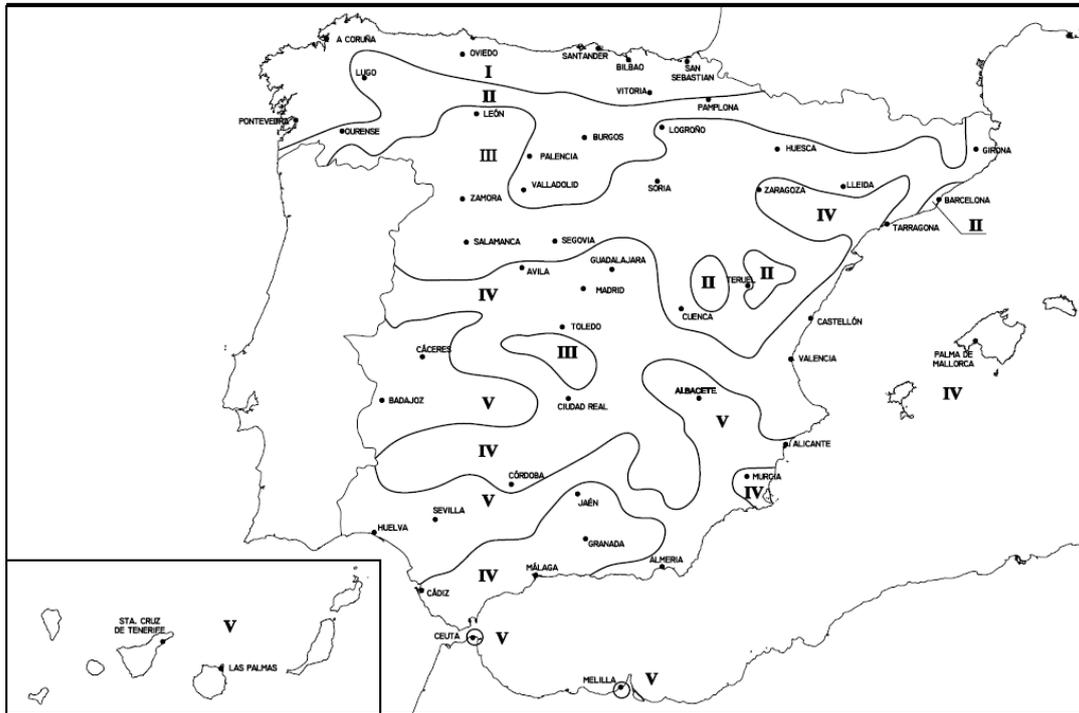


Figura 4. Mapa de las zonas climáticas.

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

Figura 5. Radiación solar Global.

Los coeficientes correspondientes a cada zona climática quedan reflejados en la Figura 6.

| Zona climática | C |
|----------------|-----|
| I | 1 |
| II | 1,1 |
| III | 1,2 |
| IV | 1,3 |
| V | 1,4 |

Figura 6. Coeficientes climáticos.

-A y B son dos coeficientes que toman distintos valores según el uso del edificio. A se expresa en KWp/m², y B en KWp.

| Tipo de uso | A | B |
|---------------------------------|----------|-------|
| Hipermercado | 0,001875 | -3,13 |
| Multitienda y centros de ocio | 0,004688 | -7,81 |
| Nave de almacenamiento | 0,001406 | -7,81 |
| Administrativo | 0,001223 | 1,36 |
| Hoteles y hostales | 0,003516 | -7,81 |
| Hospitales y clínicas privadas | 0,000740 | 3,29 |
| Pabellones de recintos feriales | 0,001406 | -7,81 |

Figura 7. Coeficientes de uso.

-S es la superficie construido del edificio, en m². Y con la salvedad de que:

- 1- Para un mismo uso: la suma de la superficie de todos los edificios del recinto.
- 2- Para distintos usos: dentro de un mismo edificio o recinto la potencia mínima a instalar será la suma de las potencias de cada uso, siempre que resulten positivas. Para que sea de obligación esta exigencia, la potencia resultante deberá ser superior a 6,25 KWp.

La potencia resultante de esta fórmula debe entenderse como mínima, sin perjuicio de valores más estrictos que puedan ser establecidos por las administraciones competentes, o de valores más elevados decididos por el promotor.

En cualquier caso, la potencia mínima a instalar será de 6,25 KWp, y con un inversor de potencia nominal 5 KW, aunque el resultado de la fórmula fuera inferior.

6.1.3 PÉRDIDAS DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Una vez calculada la potencia mínima, se debe verificar que el diseño de la instalación no supera los límites de pérdidas por sombreado y orientación, que se muestra en la Figura 8.

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

Figura 8. Pérdidas límite.

A) CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN

El CTE determina los límites en la orientación e inclinación de los módulos de acuerdo a las pérdidas máximas permisibles.

Las pérdidas han de calcularse en función de:

-El ángulo de inclinación β , 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.

-Ángulo de acimut α , 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 a sur, -90° para módulos orientados a este y +90° para módulos orientados a oeste.

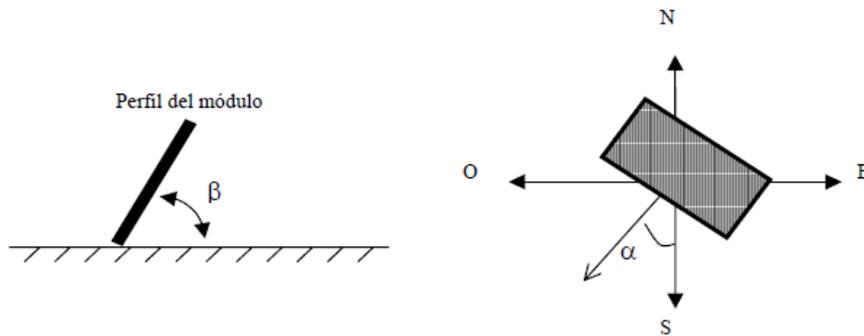


Figura 9. Valores de α y β .

Conocido el acimut, se deben calcular los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecida. Para ello, se utiliza la siguiente tabla, válida para una latitud ϕ de 41° . Las pérdidas máximas son para el caso general del 10%, para superposición del 20%, y para la 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. Si no existiese intersección entre ellas, las pérdidas se consideran superiores a las permitidas y la instalación está fuera de los límites permitidos.

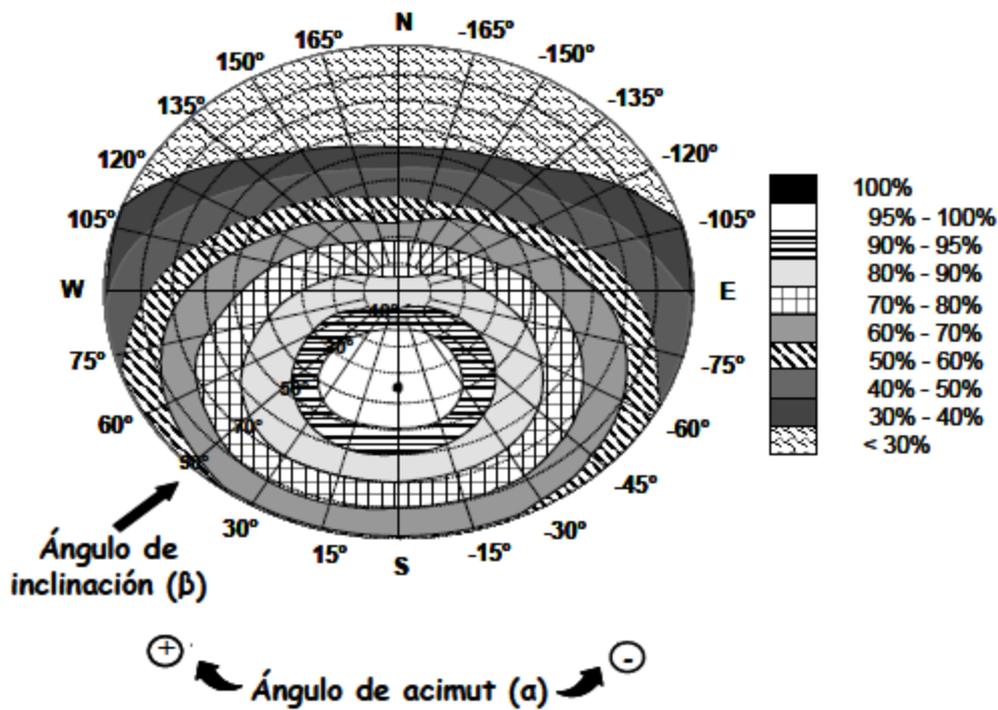


Figura 10. Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación.

B) CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR RADIACIÓN SOLAR POR SOMBRAS

Tal y como dice el CTE, para calcular las pérdidas de radiación solar por sombras que experimenta una superficie debidas a sombras circundantes, se debe realizar una comparación del perfil de obstáculos que afectan a dicha superficie con el diagrama de trayectoria del sol. En primer lugar han de localizar 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 a la horizontal). Una vez localizados, se representa el perfil en el diagrama de la Figura 11, presentada a continuación. En ella se muestra la banda de trayectorias del sol a lo largo de todo el año. La banda está dividida en porciones, delimitadas por las horas solares (negativas antes del mediodía solar y positivas después de él) e identificadas por una letra y un número.

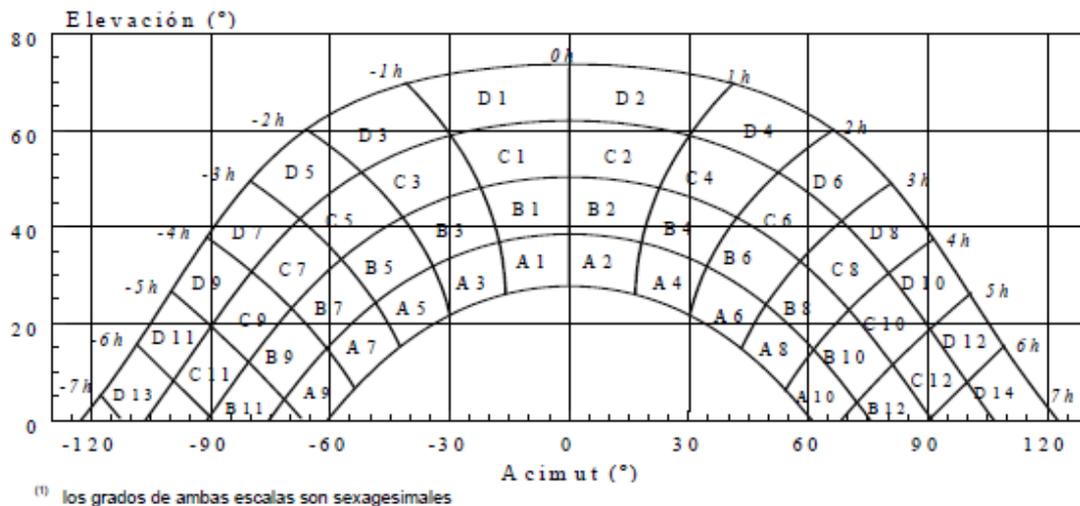


Figura 3.4 Diagrama de trayectorias del sol

Figura 11. Diagrama de trayectorias del sol.

Cada una de las porciones representa el recorrido del sol y tiene por tanto una determinada contribución a la irradiación solar global anual que incide en la superficie. El hecho de que algún obstáculo cubra una de las porciones supone una cierta pérdida de irradiación. Se escogerá como referencia para el cálculo de la tabla más adecuada de entre las que se incluyen en la figura 12, correspondiente a las tablas del Apéndice B del CTE. Estas tablas se refieren a distintas superficies caracterizadas por sus ángulos de inclinación y orientación (α y β), y debe escogerse la tabla que más se parezca a la superficie de 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.

Para calcular las pérdidas totales por sombreado deben sumarse las contribuciones de aquellas porciones que resulten total o parcialmente ocultas por el perfil de obstáculos representado.

En el caso de ocultación parcial se utiliza factores de llenado (fracción oculta respecto del total de la porción) más próximo a los valores 0,25; 0,50; 0,75 ó 1.

Estas pérdidas se expresan como un porcentaje de la radiación solar global que incidiría sobre la superficie en el caso de que no existiesen sobras.

Apéndice B Tablas de referencia

| | $\beta=35^\circ; \alpha=0^\circ$ | | | | $\beta=0^\circ; \alpha=0^\circ$ | | | | $\beta=90^\circ; \alpha=0^\circ$ | | | | $\beta=35^\circ; \alpha=30^\circ$ | | | |
|----|----------------------------------|------|------|------|---------------------------------|------|------|------|----------------------------------|------|------|------|-----------------------------------|------|------|------|
| | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D |
| 13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 |
| 11 | 0,00 | 0,01 | 0,12 | 0,44 | 0,00 | 0,01 | 0,18 | 1,05 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,06 |
| 9 | 0,13 | 0,41 | 0,62 | 1,49 | 0,05 | 0,32 | 0,70 | 2,23 | 0,23 | 0,50 | 0,37 | 0,10 | 0,02 | 0,10 | 0,19 | 0,56 |
| 7 | 1,00 | 0,95 | 1,27 | 2,76 | 0,52 | 0,77 | 1,32 | 3,56 | 1,66 | 1,06 | 0,93 | 0,78 | 0,54 | 0,55 | 0,78 | 1,80 |
| 5 | 1,84 | 1,50 | 1,83 | 3,87 | 1,11 | 1,26 | 1,85 | 4,66 | 2,76 | 1,62 | 1,43 | 1,68 | 1,32 | 1,12 | 1,40 | 3,06 |
| 3 | 2,70 | 1,88 | 2,21 | 4,67 | 1,75 | 1,60 | 2,20 | 5,44 | 3,83 | 2,00 | 1,77 | 2,36 | 2,24 | 1,60 | 1,92 | 4,14 |
| 1 | 3,17 | 2,12 | 2,43 | 5,04 | 2,10 | 1,81 | 2,40 | 5,78 | 4,36 | 2,23 | 1,98 | 2,69 | 2,89 | 1,98 | 2,31 | 4,87 |
| 2 | 3,17 | 2,12 | 2,33 | 4,99 | 2,11 | 1,80 | 2,30 | 5,73 | 4,40 | 2,23 | 1,91 | 2,66 | 3,16 | 2,15 | 2,40 | 5,20 |
| 4 | 2,70 | 1,89 | 2,01 | 4,46 | 1,75 | 1,61 | 2,00 | 5,19 | 3,82 | 2,01 | 1,62 | 2,26 | 2,93 | 2,08 | 2,23 | 5,02 |
| 6 | 1,79 | 1,51 | 1,65 | 3,63 | 1,09 | 1,26 | 1,65 | 4,37 | 2,68 | 1,62 | 1,30 | 1,58 | 2,14 | 1,82 | 2,00 | 4,46 |
| 8 | 0,98 | 0,99 | 1,08 | 2,55 | 0,51 | 0,82 | 1,11 | 3,28 | 1,62 | 1,09 | 0,79 | 0,74 | 1,33 | 1,36 | 1,48 | 3,54 |
| 10 | 0,11 | 0,42 | 0,52 | 1,33 | 0,05 | 0,33 | 0,57 | 1,98 | 0,19 | 0,49 | 0,32 | 0,10 | 0,18 | 0,71 | 0,88 | 2,26 |
| 12 | 0,00 | 0,02 | 0,10 | 0,40 | 0,00 | 0,02 | 0,15 | 0,96 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,13 | 0,00 | 0,06 | 0,32 | 1,17 |
| 14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,22 |

| | $\beta=90^\circ; \alpha=30^\circ$ | | | | $\beta=35^\circ; \alpha=60^\circ$ | | | | $\beta=90^\circ; \alpha=60^\circ$ | | | | $\beta=35^\circ; \alpha=-30^\circ$ | | | |
|----|-----------------------------------|------|------|------|-----------------------------------|------|------|------|-----------------------------------|------|------|------|------------------------------------|------|------|------|
| | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D |
| 13 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,33 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,43 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,22 |
| 11 | 0,06 | 0,01 | 0,15 | 0,51 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,16 | 0,00 | 0,01 | 0,27 | 0,78 | 0,00 | 0,03 | 0,37 | 1,26 |
| 9 | 0,56 | 0,06 | 0,14 | 0,43 | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,09 | 0,21 | 0,33 | 0,76 | 0,21 | 0,70 | 1,05 | 2,50 |
| 7 | 1,80 | 0,04 | 0,07 | 0,31 | 0,02 | 0,13 | 0,31 | 1,02 | 0,21 | 0,18 | 0,27 | 0,70 | 1,34 | 1,28 | 1,73 | 3,79 |
| 5 | 3,06 | 0,55 | 0,22 | 0,11 | 0,64 | 0,68 | 0,97 | 2,39 | 0,10 | 0,11 | 0,21 | 0,52 | 2,17 | 1,79 | 2,21 | 4,70 |
| 3 | 4,14 | 1,16 | 0,87 | 0,67 | 1,55 | 1,24 | 1,59 | 3,70 | 0,45 | 0,03 | 0,05 | 0,25 | 2,90 | 2,05 | 2,43 | 5,20 |
| 1 | 4,87 | 1,73 | 1,49 | 1,86 | 2,35 | 1,74 | 2,12 | 4,73 | 1,73 | 0,80 | 0,62 | 0,55 | 3,12 | 2,13 | 2,47 | 5,20 |
| 2 | 5,20 | 2,15 | 1,88 | 2,79 | 2,85 | 2,05 | 2,38 | 5,40 | 2,91 | 1,56 | 1,42 | 2,26 | 2,88 | 1,96 | 2,19 | 4,77 |
| 4 | 5,02 | 2,34 | 2,02 | 3,29 | 2,86 | 2,14 | 2,37 | 5,53 | 3,59 | 2,13 | 1,97 | 3,60 | 2,22 | 1,60 | 1,73 | 3,91 |
| 6 | 4,46 | 2,28 | 2,05 | 3,36 | 2,24 | 2,00 | 2,27 | 5,25 | 3,35 | 2,43 | 2,37 | 4,45 | 1,27 | 1,11 | 1,25 | 2,84 |
| 8 | 3,54 | 1,92 | 1,71 | 2,98 | 1,51 | 1,61 | 1,81 | 4,49 | 2,67 | 2,35 | 2,28 | 4,65 | 0,52 | 0,57 | 0,65 | 1,64 |
| 10 | 2,26 | 1,19 | 1,19 | 2,12 | 0,23 | 0,94 | 1,20 | 3,18 | 0,47 | 1,64 | 1,82 | 3,95 | 0,02 | 0,10 | 0,15 | 0,50 |
| 12 | 1,17 | 0,12 | 0,53 | 1,22 | 0,00 | 0,09 | 0,52 | 1,96 | 0,00 | 0,19 | 0,97 | 2,93 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,05 |
| 14 | 0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,55 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,08 |

| | $\beta=90^\circ; \alpha=-30^\circ$ | | | | $\beta=35^\circ; \alpha=-60^\circ$ | | | | $\beta=90^\circ; \alpha=-60^\circ$ | | | |
|----|------------------------------------|------|------|------|------------------------------------|------|------|------|------------------------------------|------|------|------|
| | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D |
| 13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,01 |
| 11 | 0,00 | 0,05 | 0,60 | 1,28 | 0,00 | 0,04 | 0,60 | 2,09 | 0,00 | 0,08 | 1,10 | 3,08 |
| 9 | 0,43 | 1,17 | 1,38 | 2,30 | 0,27 | 0,91 | 1,42 | 3,49 | 0,55 | 1,60 | 2,11 | 4,28 |
| 7 | 2,42 | 1,82 | 1,98 | 3,15 | 1,51 | 1,51 | 2,10 | 4,76 | 2,66 | 2,19 | 2,61 | 4,89 |
| 5 | 3,43 | 2,24 | 2,24 | 3,51 | 2,25 | 1,95 | 2,48 | 5,48 | 3,36 | 2,37 | 2,56 | 4,61 |
| 3 | 4,12 | 2,29 | 2,18 | 3,38 | 2,80 | 2,08 | 2,56 | 5,68 | 3,49 | 2,06 | 2,10 | 3,67 |
| 1 | 4,05 | 2,11 | 1,93 | 2,77 | 2,78 | 2,01 | 2,43 | 5,34 | 2,81 | 1,52 | 1,44 | 2,22 |
| 2 | 3,45 | 1,71 | 1,41 | 1,81 | 2,32 | 1,70 | 2,00 | 4,59 | 1,69 | 0,78 | 0,58 | 0,53 |
| 4 | 2,43 | 1,14 | 0,79 | 0,64 | 1,52 | 1,22 | 1,42 | 3,46 | 0,44 | 0,03 | 0,05 | 0,24 |
| 6 | 1,24 | 0,54 | 0,20 | 0,11 | 0,62 | 0,67 | 0,85 | 2,20 | 0,10 | 0,13 | 0,19 | 0,48 |
| 8 | 0,40 | 0,03 | 0,06 | 0,31 | 0,02 | 0,14 | 0,26 | 0,92 | 0,22 | 0,18 | 0,26 | 0,69 |
| 10 | 0,01 | 0,06 | 0,12 | 0,39 | 0,02 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,08 | 0,21 | 0,28 | 0,68 |
| 12 | 0,00 | 0,01 | 0,13 | 0,45 | 0,00 | 0,01 | 0,07 | 0,14 | 0,00 | 0,02 | 0,24 | 0,67 |
| 14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,36 |

Figura 12. Tablas de referencia para el cálculo de pérdidas.

7. INSTALACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Los sistemas fotovoltaicos, independientemente de su utilización, tamaño y potencia, se pueden dividir en dos categorías:

- A) Aislados de la Red (Stand Alone)
- B) Conectados a la Red (Grid Connectd)

En España muchas áreas geográficas no están integradas dentro de la Red de distribución eléctrica. De hecho, en estas áreas una instalación aislada alimentada con energía solar es la única solución viable a la obtención de energía eléctrica (sucede cuando la conexión a la Red pública es demasiado costosa o impracticable).

Mientras en muchas otras zonas integradas dentro de la Red de distribución eléctrica, se incentiva el uso de instalaciones de energía fotovoltaica para incrementar la presencia de fuentes de energía renovables y no contaminantes como complemento al conjunto de centrales eléctricas convencionales. Estas instalaciones solares conectadas suministran energía a la Red de distribución eléctrica nacional a coste ambiental cero.

A) SISTEMAS AISLADOS EN LA RED (STAND ALONE)

Hace algunos años, las aplicaciones sin conexión a la Red aún constituían el ámbito de aplicación más importante de las instalaciones solares fotovoltaicas. Especialmente en zonas rurales, la energía solar fotovoltaica esa la única posibilidad de generar electricidad de forma eficiente. Este sistema podría considerarse de autoconsumo.

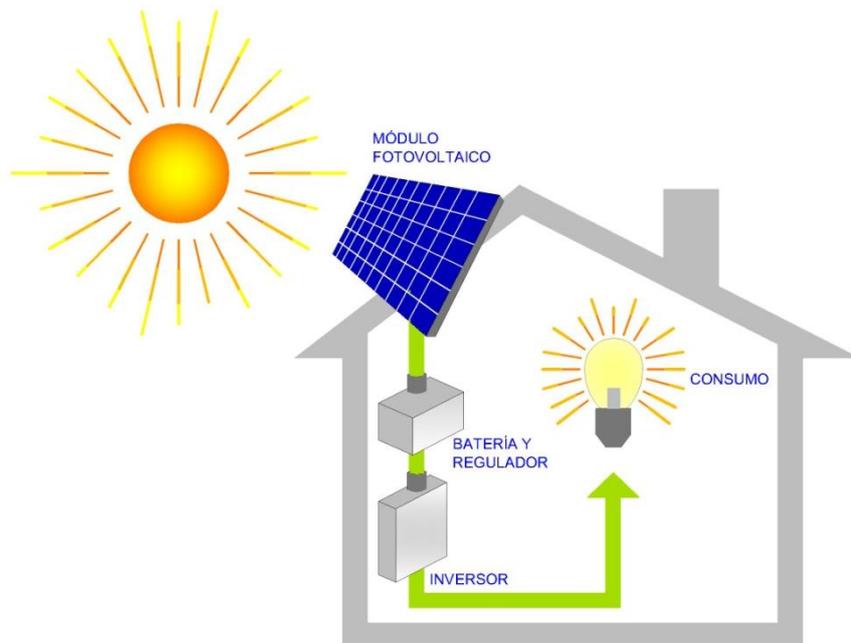


Figura 13. Esquema de concepto de Sistema Aislado en la Red.

Actualmente, la situación no ha cambiado demasiado en un aspecto concreto: las instalaciones fotovoltaicas sin conexión a Red siguen empleándose sobre todo en aquellos lugares en los que no se tiene acceso a la Red eléctrica, dado que resulta más económico instalar un sistema solar fotovoltaico, que tender una línea entre la Red y el punto de consumo.

En estos casos, debido a que los paneles sólo producen energía durante las horas de sol y el consumo puede necesitarse a lo largo de las 24 horas del día, es necesario un sistema de acumulación que nos permita producir más energía de la que se consume para acumular el exceso y posteriormente poder utilizarlo cuando no se esté generando.

La cantidad de energía que se necesita acumular se calcula en función de las condiciones climáticas de la zona y el consumo de electricidad asociado.

Parece lógico establecer que en una zona donde haya muchos días soleados al año hay que acumular poca energía; por el contrario, si el periodo disponible de luz es corto, habrá que acumular más energía.

En consecuencia, el número de paneles solares fotovoltaicos a instalar deberá calcularse teniendo en cuenta tanto la demanda energética en los meses más desfavorables, como las condiciones técnicas óptimas de orientación e inclinación, dependiendo del lugar geográfico de la instalación.

Por ello, y con el fin de optimizar el sistema fotovoltaico, es necesario calcular correctamente la demanda con el fin de no sobredimensionar la instalación. Con frecuencia, el dimensionado de la instalación fotovoltaico está por debajo del margen de seguridad que garantizaría la cobertura del suministro eléctrico todo el año, ya sea por razones económicas o bien porque se dispone de otra fuente de generación eléctrica complementaria.

También debe tenerse en cuenta que, aun siendo el dimensionado correcto, se puedan producir puntas de consumo muy por encima de lo habitual o simplemente puede darse un período anormalmente largo de tiempo sin sol (nubosidad alta), y todo esto sucedería mientras existen necesidades inaplazables (el bombeo de agua para una granja, el congelador lleno de alimentos...) que hay que garantizar en cualquier situación.

Por lo tanto, hay casos en los que es recomendable disponer de algún sistema de generación auxiliar e independiente que permita hacer frente con seguridad a los períodos de alta demanda.

Las instalaciones fotovoltaicas convencionales constan de los siguientes elementos:

- Módulos fotovoltaicos: transforman la energía del sol en energía eléctrica.
- Regulador de carga: controla la carga de la batería evitando que se produzcan sobrecargas o descargas excesivas que disminuyan la vida útil del acumulador.

-Sistema de acumulación (baterías): acumulan la energía entregada por los paneles. Cuando no hay generación solar, la electricidad la proporciona directamente la batería y no los paneles.

-Inversor (onduladores): la corriente que generan los paneles o que entrega la batería es corriente continua DC y la mayoría de las cargas conectadas al sistema que se comercializan funcionan con corriente alterna AC. Por este motivo se utilizan inversores que convierten la corriente continua en alterna.

-Seguidores (Eje o Doble Eje): se puede incorporar un sistema de seguimiento del punto de máxima potencia que es un dispositivo que aumenta el rendimiento de la instalación.

B) SISTEMAS CONECTADOS A LA RED (GRID CONNECTD)

En los lugares que disponen de electricidad, la conexión a la Red de los sistemas fotovoltaicos contribuye a la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Este tipo de instalación se ajusta muy bien a la curva de demanda de la electricidad, ya que en el momento en que más energía generan los paneles, cuando hay luz solar, es cuando más electricidad se demanda (horas punta).

Al instalar un sistema fotovoltaico conectado a la Red, se está construyendo en realidad una minicentral eléctrica que inyecta KWh “verdes” a la Red para que se consuman allí donde sean demandados, lo que elimina las pérdidas por acumulación y transporte de electricidad.

Para que este tipo de instalaciones sean técnicamente viables es necesario:

-La existencia de una línea de distribución eléctrica cercana con suficiente capacidad para admitir la energía que va a ser producida por la instalación fotovoltaica.

-La determinación, con la compañía distribuidora, del punto de conexión a Red.

-Un sistema que incluya equipos de generación y transformación de primera calidad, con las protecciones establecidas y debidamente verificados, certificados y garantizados por los fabricantes, de acuerdo a la legislación vigente.

-Una instalación eléctrica realizada y certificada por un instalador autorizado.

El consumo de electricidad es independiente de la energía generada por los paneles fotovoltaicos. El propietario de la instalación, en tanto que desempeña su papel de “consumidor”, sigue comprando la electricidad que consume a la distribuidora al precio establecido, pero además es propietario de una instalación generadora de electricidad que factura a la distribuidora los KWh producidos a un precio superior (subvencionados).

La tarea de los sistemas conectados a la Red es de introducir en la Red la mayor cantidad posible de energía y no la de proporcionar “*autoconsumo*”.

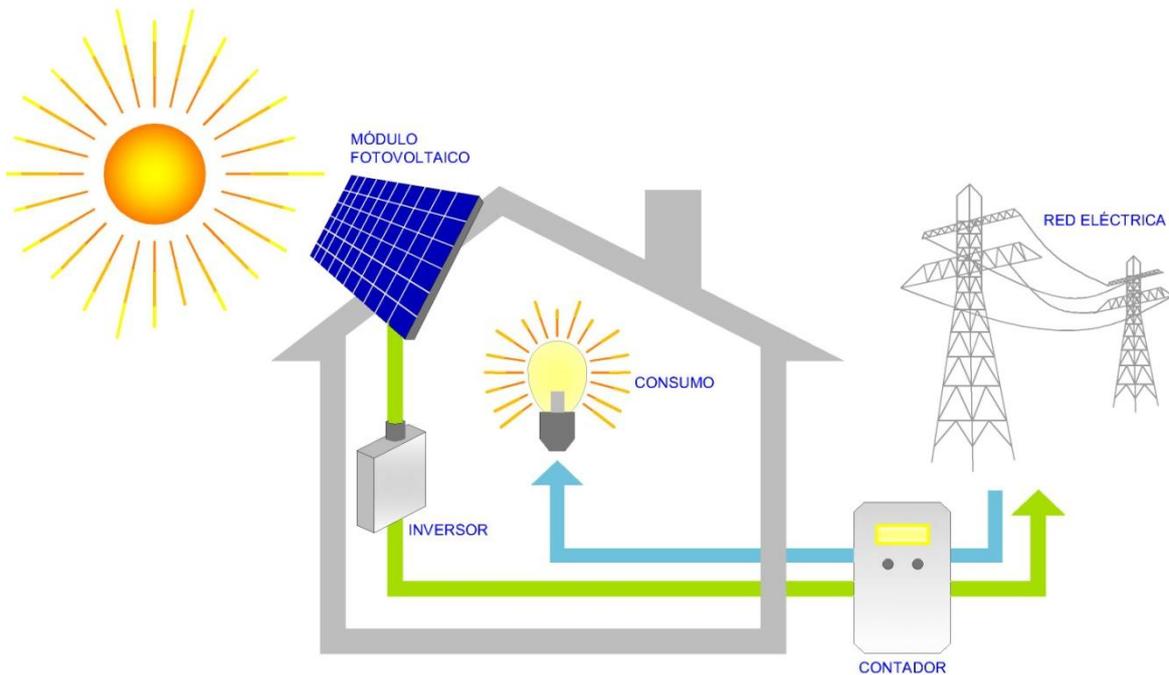


Figura 14. Esquema de concepto de Sistema Conectado a la Red.

Los principales componentes que forman un sistema fotovoltaico conectado a la Red son:

-Módulo fotovoltaico: transforma la energía del Sol en energía eléctrica.

-Inversor (ondulador): transforma la corriente continua DC producida por los paneles en corriente alterna AC, de las mismas características que la de la Red eléctrica. Esta debe ser una calidad acorde a la que establece la Ley.

-Contadores de energía: un contador principal mide la energía producida (KWh) y enviada a la Red, para que pueda ser facturada a la compañía a los precios autorizados. También deberá controlar la energía consumida por la instalación fotovoltaica y el consumo del usuario.

-Seguidores (Eje o Doble Eje): se puede incorporar un sistema de seguimiento del punto de máxima potencia que es un dispositivo que aumenta el rendimiento de la instalación.

8. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONVENCIONALES

Los sistemas fotovoltaicos, basándose en las propiedades de los materiales semiconductores, transforman la energía que irradia el sol en energía eléctrica. La conversión directa de la energía solar en energía eléctrica se debe al fenómeno físico de la interacción de la radiación luminosa con los electrones en los materiales semiconductores, fenómeno conocido como “efecto fotovoltaico”.

Todo este proceso se produce en un elemento semiconductor que se denomina célula fotovoltaica, que no es otra cosa que un diodo, con la característica esencial de tener una superficie muy amplia.

Cuando la luz solar incide sobre la superficie de la célula, se genera una tensión entre el lado superior y el lado inferior de la misma. Si se conectan los dos lados de la célula entre sí, comenzará a circular una corriente eléctrica y la célula entregará energía.

Su funcionamiento reside en los diodos que forman. Las células fotovoltaicas son de silicio de alta pureza y germanio, materiales que se encuentran dopados con fósforo y boro en una unión tipo p-n. Están formadas por dos capas de material semiconductor: P y N. Al recibir la luz del sol, el límite entre las dos capas se excita actuando como un diodo, los electrones se pueden mover de la zona N a la P pero no al revés. Los fotones de la luz que inciden sobre la célula con suficiente energía hacen mover un electrón de la zona P a la N creando en la zona N un exceso de carga negativa por los electrones y en la zona P un exceso de huecos (carga positiva). Esta diferencia en la cantidad de electrones genera una pequeña diferencia de tensión que es la que aporta la potencia.

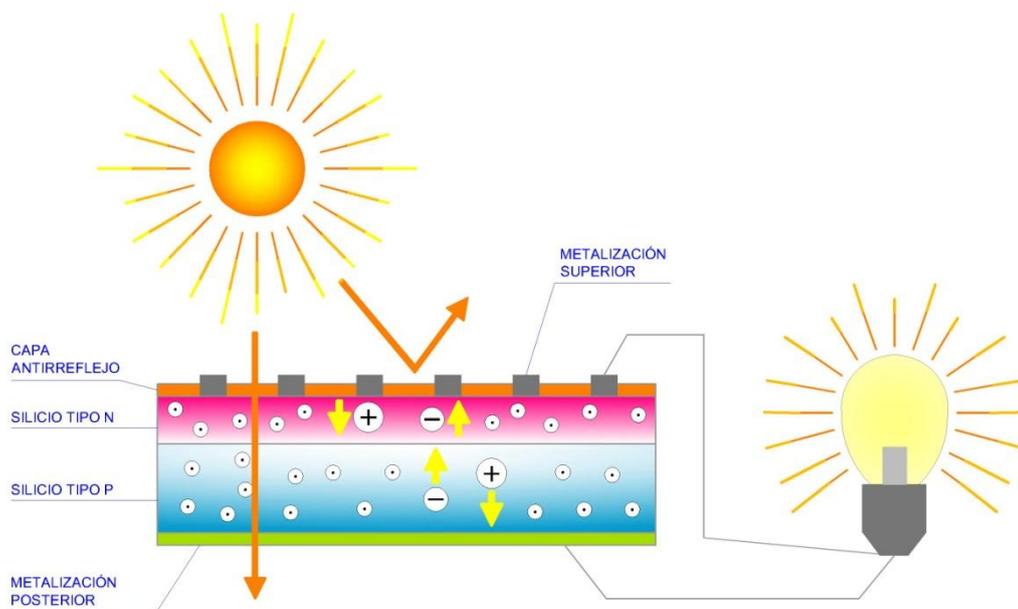


Figura 15. Esquema de funcionamiento de una célula fotovoltaica.

Para generar la tensión deseada se conectan varias células en serie, mientras que la intensidad se consigue alineando células en paralelo.

Un avance a estas células solares son las denominadas de segunda generación que se basan en multicapas de uniones p-n de diodos. Cada capa absorbe sucesivamente longitudes de onda del espectro con la finalidad de absorber un espectro más grande y aumentar la producción de energía. Este sistema permite disminuir el espesor de la placa, aportando flexibilidad y menor peso.

La conexión de células fotovoltaicas, y su posterior encapsulado y empaquetado, da como resultado la obtención de los conocidos paneles o módulos fotovoltaicos. Éstos a su vez, junto a reguladores, inversores y acumuladores, constituyen el Generador Fotovoltaico.

La electricidad que éste produce varía, dependiendo entre otros factores de la intensidad energética de la radiación que llega a las células de los módulos fotovoltaicos, de la temperatura ambiente, de la cantidad total de módulos instalados y de su inclinación con respecto a la luz solar incidente. Cabe señalar que el rendimiento mínimo de los módulos fotovoltaicos está garantizado durante todo el año siempre que reciban radiación solar. Las condiciones óptimas para que el módulo reciba el máximo de radiación solar son orientación sur y 45º de inclinación.

Las instalaciones fotovoltaicas que se comercializan actualmente, frente a otros tipos de soluciones encaminadas a la obtención de energías renovables (eólica, hidráulica, mareomotriz, etc.) ofrecen los siguientes aspectos positivos:

- Su relativa simplicidad y fácil instalación.
- Bajo o nulo mantenimiento.
- Larga vida útil (superior a 25 años).
- Fuente inagotable de energía.
- Disponibilidad geográfica mundial.
- Elevada fiabilidad.
- No produce ningún tipo de contaminación ambiental.
- Funcionamiento silencioso.
- Mínimo impacto medioambiental.

A pesar de ello, para conseguir su plena incorporación a la sociedad de consumo, como una solución complementaria a los sistemas tradicionales de suministro eléctrico, es necesario superar ciertas barreras:

-Económico-Financiera, reducción de costes de fabricación y precio final de la instalación, todavía muy elevados; consiguiendo condiciones de financiación aceptables para abordar la inversión necesaria así como la obtención de retornos de la inversión seguros.

-Estéticas, integrando los elementos fotovoltaicos en los edificios y en los entornos rural y urbano, así como en usos cotidianos.

-Administrativas: obteniendo el máximo apoyo de las Administraciones Públicas (UE, Estado, CC.AA. y Municipios), y clarificándose y agilizándose las tramitaciones necesarias, así como los marcos normativos y legales.

Desde un punto de vista técnico, existen una serie de conceptos básicos para el cálculo y dimensionado de la potencia necesaria en las instalaciones fotovoltaicas.

En un módulo fotovoltaico, el rendimiento depende de algunas variables externas como la radiación solar y la temperatura de funcionamiento, por ello, para medir y comparar correctamente los diferentes módulos fotovoltaicos, se han fijado unas condiciones de trabajo nominales o estándar.

Estas condiciones se han normalizado para una temperatura de funcionamiento de 25°C y una radiación solar de 1KW/m² (irradiación del sol en un instante de un día soleado); de ahí que los valores eléctricos con estas condiciones se definan como “valores pico”.

8.1 CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO

Las células solares, por norma general, tienen un espesor de 0,25 mm, de modo que son extremadamente sensibles y se deben proteger de las influencias externas. Por esta razón se instalan en módulos solares.



Figura 16. Módulo fotovoltaico convencional.

El módulo solar consta de una placa de cristal endurecida, tras la cual están alineadas las células solares. Del lado posterior, las células están protegidas por un panel de plástico o por otra placa de cristal. Las conexiones eléctricas de las células salen del módulo y van a una caja de conexión.

Tienen un peso aproximado de 15 kg/m^2 más el peso de la estructura soporte o marco, que es de aproximadamente de 10 kg/m^2 .

El efecto fotovoltaico se puede llevar a cabo en materiales sólidos, líquidos o gaseosos, pero es en sólidos, especialmente en los materiales semiconductores, en donde se han encontrado eficiencias aceptables de conversión de energía luminosa en eléctrica.

Existen diferentes materiales semiconductores con los que elaborar células solares, pero el que se utiliza comúnmente es el silicio (aproximadamente al 95% de la producción mundial de células fotovoltaicas) en sus diferentes formas de fabricación.

A continuación se muestran los porcentajes de distribución de material utilizado para generar energía solar fotovoltaica (según datos recogidos en *Desarrollo de la energía solar fotovoltaica en España* (CC.OO., Ecologistas en acción y UGT)).

-Silicio cristalino 89,9%

-Silicio amorfo 4,7%

-Teluro de cadmio 2,7%

-Cobre-Selenio-Indio 0,2%

-Otras tecnologías 2,5%

Según los datos expuestos, para la producción de las células, el material actualmente más utilizado es el mismo silicio utilizado por la industria electrónica, cuyo proceso de fabricación presenta costes muy altos, no justificados por el grado de pureza requerido para la implantación en proyectos fotovoltaicos (los cuales son netamente inferiores a los necesarios en aplicaciones de tecnologías electrónicas).

8.2 PÉRDIDAS COMUNES DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS CONVENCIONALES

Existen una serie de pérdidas en todas las instalaciones fotovoltaicas que provienen de diversas causas, y entre las que destacan:

-La conexión en serie de módulos fotovoltaicos con potencias no exactamente iguales producen pérdidas al quedar limitada la intensidad de la serie a la que permita el módulo de menor corriente (fenómeno conocido como “*mismatch*”).

-La potencia del módulo fotovoltaico está medida en condiciones de iluminación específicas; en operación, en el módulo incidirá una radiación distinta a la del ensayo,

es decir, no será siempre perpendicular y con un espectro estándar AM 1,5G. Esta dispersión de características dará lugar a unas pérdidas angulares y espectrales.

-La potencia de salida del módulo fotovoltaico disminuirá progresivamente debido al polvo y suciedad que muy probablemente se depositará sobre la superficie.

-En el caso de que existan elementos que arrojen sombras sobre los módulos existirán pérdidas de potencia por sombreado.

-Las pérdidas del inversor y del dispositivo de seguimiento del punto de máxima potencia (PMP) están comprendidas entre un 4 y un 10%, excluyendo aquellos inversores sin transformador o de muy bajo rendimiento. Cabría entonces considerar que muchas de las instalaciones aisladas no tienen inversor ya que se alimentan directamente de corriente continua, por lo que se ahorran las pérdidas del mismo, pero en cambio hay que tener en cuenta las pérdidas propias del regulador y de la batería.

-Las pérdidas por las caídas de tensión del cableado, tanto en el de corriente continua como en el de alterna, las cuales suelen ser pequeñas dado que un buen diseñador preferirá poner cables de mayor diámetro que tener que perder potencia por este concepto.

La disponibilidad de la instalación fotovoltaica se revela como el factor clave, por el hecho evidente de que, si la instalación está fuera de servicio, estamos incurriendo en importantes pérdidas y afectando significativamente el rendimiento global que se obtiene de la instalación.

8.3 INCORPORACIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS A LAS EDIFICACIONES

Los módulos fotovoltaicos convencionales, dadas sus características tales como el color, la textura o la forma, no permiten la integración arquitectónica. Es por ello por lo que los arquitectos, de forma generalizada, tratan de evitarlos y únicamente los incorporan a sus proyectos en los casos en los que o bien la normativa lo exige, o bien el cliente lo demanda. Su incorporación en edificios va a ser siempre mínima y por tanto también será mínima la energía eléctrica producida.



Figura 17. Mala integración arquitectónica de la energía fotovoltaica por la incorporación de módulos fotovoltaicos a la cubierta de una edificación.

En el mercado, existen elementos constructivos que tratan de integrar células fotovoltaicas de segunda generación, como son tejas fotovoltaicas, vidrios con mini-células fotovoltaicas, paneles de cerramiento fotovoltaicos, o revestimientos flexibles. Estos elementos son un avance a los tradicionales módulos, pero aun así, el hecho de que sigan teniendo el mismo color y la misma textura hace que tampoco sean del todo aceptados por los arquitectos.



Figura 18. Uso de tejas fotovoltaicas en una cubierta.



Figura 20. Paneles fotovoltaicos de cerramiento.



Figura 19. Lucernario con vidrios con mini-células fotovoltaicas.



Figura 21. Uso de revestimientos fotovoltaicos flexibles.

9. VENTANAS GENERADORAS DE ENERGÍA

Los nuevos avances tecnológicos en el sector, basan sus investigaciones en hallar materiales fotovoltaicos que permitan de una vez por todas conseguir una óptima integración arquitectónica. Estas investigaciones se centran más en la “estética” del producto que en la potencia eléctrica que puedan generar. Es decir, en general, el principal objetivo es encontrar un material que por sus características estéticas (entendiendo por éstas color, textura y forma) permita integrarse en el diseño de la edificación. Por el contrario, no se presta tanta importancia a superar la eficiencia de los módulos fotovoltaicos convencionales, ya que si el material realmente se integra arquitectónicamente, se va a utilizar en mayor medida, y por tanto va a generar mayor cantidad de energía eléctrica, igualando o incluso superando la que se produciría en caso de los módulos convencionales. De todas formas, y como se verá más adelante, ya se han conseguido productos que además de integrarse arquitectónicamente, superan la eficiencia de los módulos.

Uno de los últimos avances, es el descubrimiento de las ventanas fotovoltaicas.

Actualmente el vidrio es uno de los materiales más utilizados en el diseño de edificaciones y ocupa gran parte de la envolvente de los edificios tanto en fachadas (en forma de ventanas, muros cortina o fachadas ventiladas) como en cubierta (en forma de lucernarios). La sustitución del vidrio convencional por ventanas generadoras de energía se presenta como una solución para la integración arquitectónica de la energía fotovoltaica.

Mediante dos novedosos mecanismos que usa como base el vidrio se consigue generar electricidad gracias a la captación de luz solar de forma muy diferente a los sistemas tradicionales. Estos mecanismos son: el vidrio fotovoltaico semitransparente (ya en el mercado) y el concentrador solar luminiscente (probado en laboratorio).

Las ventanas generadoras de energía, además de permitir la entrada de luz natural y de producir energía, pueden presentarse como soluciones constructivas bioclimáticas multifuncionales ya que en función de cómo se fabriquen pueden generar varias ventajas:

- Aislamiento térmico. Mediante sistemas de doble acristalamiento se consigue la eliminación de puentes térmicos lo que conlleva al aumento del confort en interiores y al ahorro de energía en climatización.

- Protección de la fachada y de la cubierta del edificio de agentes externos como la lluvia, el viento, el granizo, la nieve o la suciedad.

- Protege el interior de radiaciones ultravioletas y rayos UV, gracias al posible uso de filtros.

- Seguridad frente a impactos. Gracias a la combinación de vidrios laminados con encapsulantes.

-Aislamiento acústico. Sistemas de varias capas de acristalamiento permite aislar el interior de ruidos externos.

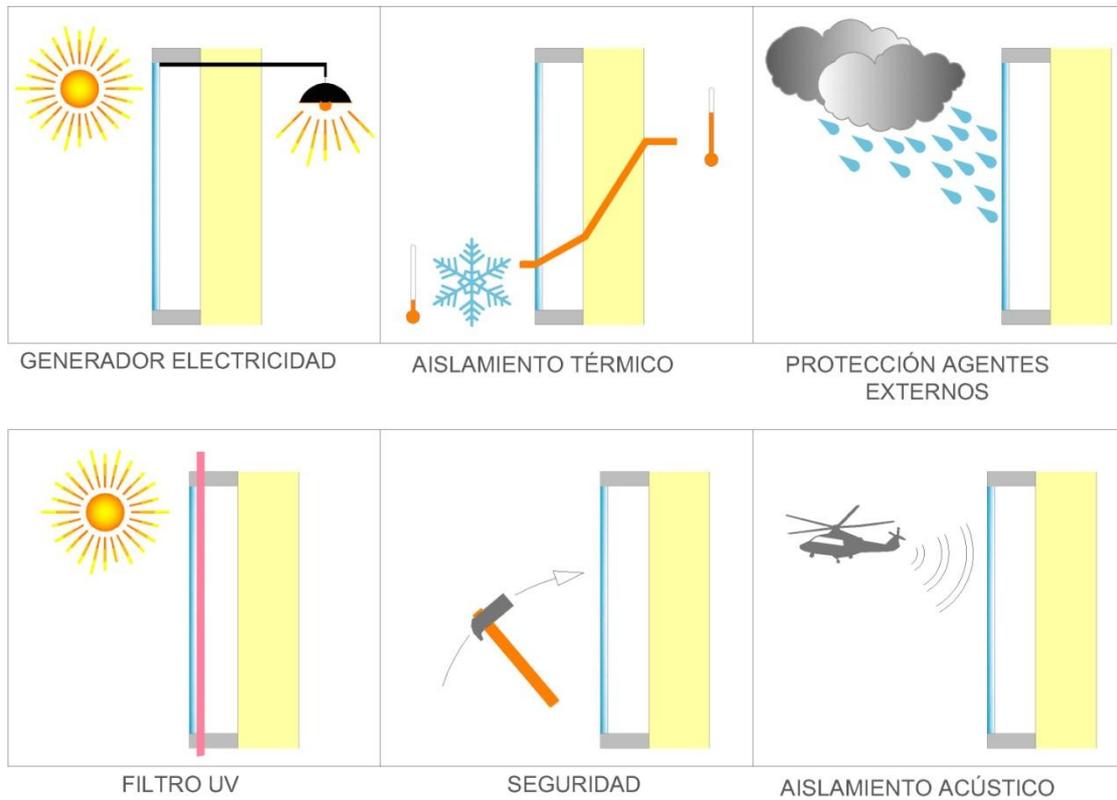


Figura 22. Esquemas de las ventajas de las ventanas generadoras de energía.

Además, pueden producir electricidad bajo cualquier condición meteorológica, incluidas las condiciones de poca luminosidad y momentos de nubosidad.

9.1 LOS VIDRIOS FOTOVOLTAICOS SEMITRANSSPARENTES

Los vidrios solares semitransparentes, o también conocidos como celdas solares semitransparentes, son un nuevo producto fotovoltaico que puede encontrarse en el mercado. Se trata celdas solares opacas que se depositan sobre un vidrio en forma de rejilla. De tal forma que la superficie ocupada por la rejilla captura los rayos del sol para generar energía, mientras que en los huecos que la misma genera (donde no hay celdas), la luz pasa, dando al producto cierta semitransparencia.

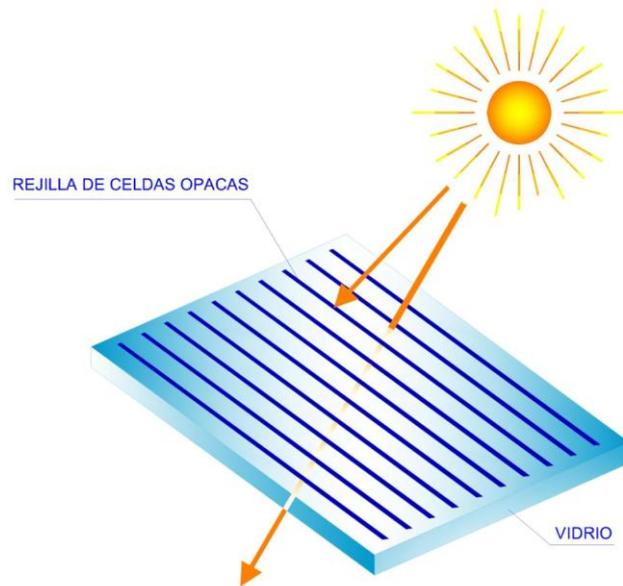


Figura 23. Esquema de concepto de los vidrios fotovoltaicos.

Estos productos, a pesar de ser semitransparentes y no completamente transparentes, pueden utilizarse en la fabricación de ventanas convencionales, consiguiendo una buena integración arquitectónica. Según la densidad de la rejilla, puede conseguirse entre un 10 y 30% de transparencia.

En la siguiente imagen puede verse un ejemplo de la integración de vidrios fotovoltaicos semitransparentes en un lucernario llevado a cabo por la empresa Onyx Solar.



Figura 24. Ejemplo de aplicación de vidrios fotovoltaicos en un lucernario.

Los vidrios fotovoltaicos se fabrican mediante diferentes tecnologías en función de la potencia pico que se espera obtener de ellos. La potencia dependerá directamente de la orientación y de la inclinación del vidrio.

Los vidrios fotovoltaicos actualmente comercializados tienen una potencia que oscila entre los 50 Wp/m² y los 180 Wp/m². Esta potencia está estimada a partir de mediciones realizadas bajo condiciones de Irradiancia de 1.000 W/m², Espectro AM 1.5, y Temperatura del vidrio de 25°C. De esta forma existen vidrios de potencias:

Si los vidrios fotovoltaicos están colocados de forma que la orientación y la inclinación son las más favorables (orientación sur y 45° de inclinación) se utilizan vidrios fotovoltaicos con tecnología cristalina que pueden alcanzar una Potencia Pico de 120 - 180 Wp/m². Estos vidrios tienen un coeficiente térmico de - 0.45 %/°C.

En el caso de que los vidrios no están dispuestos de la manera más favorable se utilizan vidrios fotovoltaicos con tecnología CIS/CIGS (Cobre-Indio-Selenio / Cobre-Indio-Galio-Selenio) llegando a alcanzar los 90 - 130 Wp/m² y con un coeficiente térmico de - 0.36 %/°C.

Si existen condiciones de radiación difusa se utilizan vidrios fotovoltaicos con tecnología a-Si y microamorfa. Su Potencia Pico oscila entre 50 - 90 Wp/m² y su coeficiente térmico es de - 0.13 %/°C.

El coeficiente térmico es un parámetro que da cuenta de la estabilidad del sistema ante condiciones meteorológicas extremas. Cuanto menor es el intervalo de variación por grado centígrado, más estable es el sistema en su eficiencia, minimizándose las pérdidas por calentamiento y obteniendo una mejor dispersión térmica.

9.2 EL CONCENTRADOR SOLAR LUMINISCENTE

El último avance en energía fotovoltaica es el concentrador solar luminiscente, desarrollado en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) y en el ITMA Materials Technology. Se trata de un mecanismo, que aunque aún no está comercializado, marcará un antes y un después en edificación, ya que permite integrar arquitectónicamente con éxito la energía fotovoltaica.

Desde que en 1954 los laboratorios Bell fabricaron las primeras celdas solares, estos dispositivos han venido desempeñando una doble función: captura de la luz solar y conversión de la misma en electricidad. Mediante los denominados concentradores solares es posible separar y optimizar estas dos funciones.

De modo similar a la lupa que enfoca la luz, los concentradores solares convencionales (hechos a base de espejos curvados o lentes) capturan, concentran e intensifican la radiación solar en una reducida área donde se sitúa la célula fotovoltaica, que entonces únicamente tendrá que convertir la luz en electricidad.



Figura 25. Concentradores solares.

De esta forma se necesita menos superficie activa de esta costosa celda fotovoltaica y se abaratan costes. Pero para que estos concentradores funcionen adecuadamente, deben estar orientados en todo momento respecto al Sol, de forma similar a como lo hace un girasol. Ello exige la presencia de un sensor que detecte la posición de nuestra estrella y de un complejo sistema mecánico que les permita girar, lo que encarece excesivamente el sistema resultante. Por otra parte, son demasiado grandes y todo el conjunto consume demasiado espacio, ya que es necesario dejar espacios residuales alrededor de su perímetro para evitar sombras en los concentradores solares adyacentes. Estos problemas se pueden eliminar o minimizar mediante el mencionado concentrador solar luminiscente.

El concentrador solar luminiscente consiste en un material transparente dopado con unos tintes luminiscentes. El material transparente puede ser vidrio y los tintes luminiscentes moléculas orgánicas o puntos cuánticos, entre otros posibles candidatos. Esta nueva tecnología actúa a modo de guía de ondas, capturando la luz del Sol y redirigiéndola y concentrándola en los extremos del cristal, donde celdas solares la convertirán en electricidad.

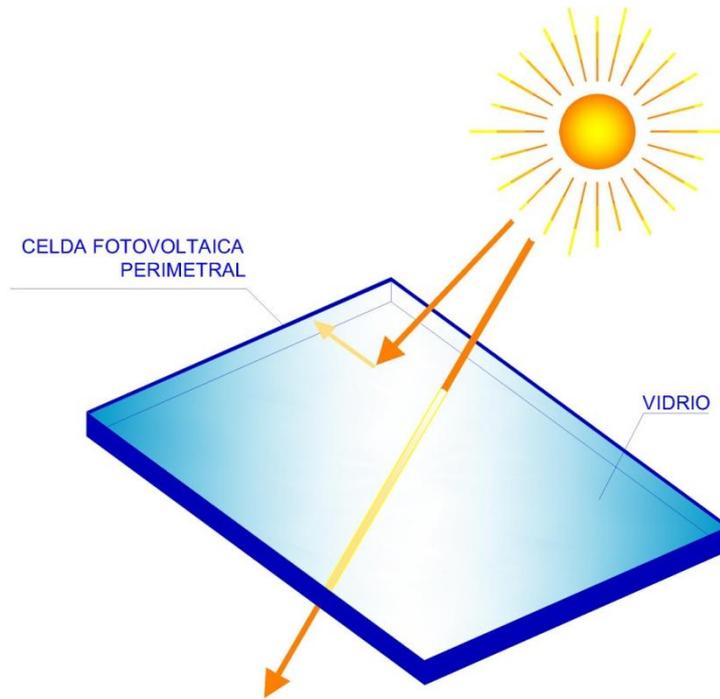


Figura 26. Esquema de concepto de concentrador solar luminiscente.

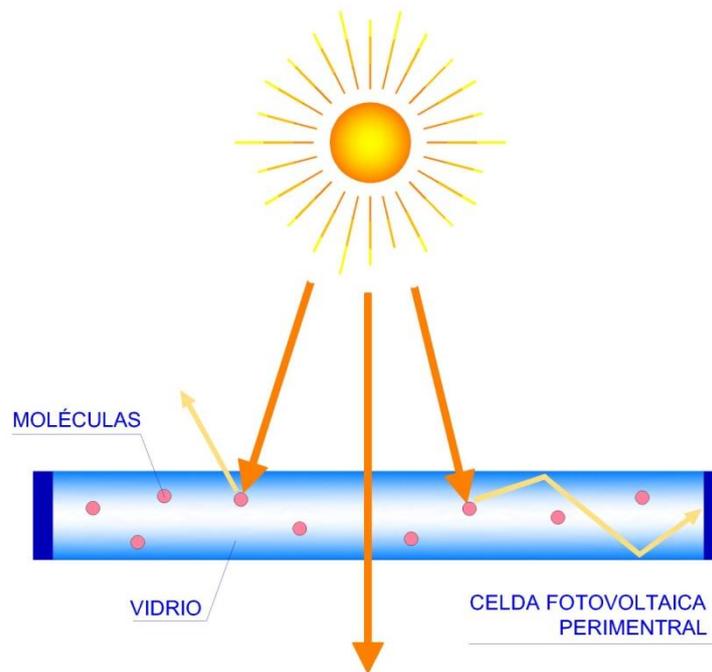


Figura 27. Esquema de funcionamiento del concentrador solar luminiscente.

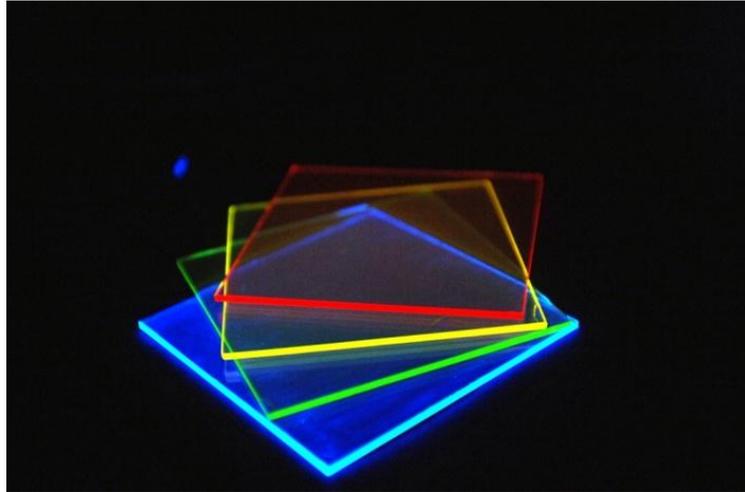


Figura 28. Concentradores solares luminiscentes. La luz se concentra en los bordes del cristal.

Los concentradores solares luminiscentes presentan varias ventajas con respecto a los concentradores solares convencionales mencionados anteriormente. Algunas de estas ventajas son:

- No requieren de un costoso procedimiento de “tracking” o seguimiento del Sol.
- Pueden aprovechar la luz difusa, así como la luz directa. La radiación solar tiene un componente difuso que puede ser tan alto como el componente directo en días y regiones nublados.
- Utilizan materiales baratos y reducen el tamaño de las células solares en un factor mayor del 90%.
- Debido a que son estáticos, los concentradores solares luminiscentes son de particular interés para aplicaciones fotovoltaicas integradas en edificios, en los que podría reemplazar a las ventanas convencionales.

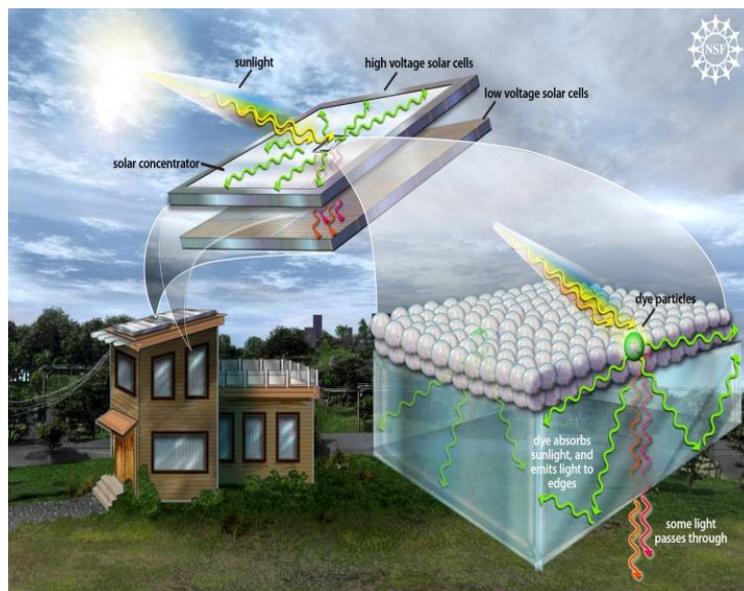


Figura 29. Prototipo de integración arquitectónica de la energía fotovoltaica.

Los concentradores solares luminiscentes también presentan varias ventajas frente a otras celdas solares depositadas sobre vidrio, como los vidrios fotovoltaicos semitransparentes, que pueden ser integradas en forma de ventanas u otros dispositivos:

-Aunque suele hablarse de celdas solares semitransparentes para hacer referencia a estas celdas depositadas sobre vidrio, realmente se trata de celdas solares opacas, pero que no ocupan todo el frontal del vidrio, sino que tejen una especie de rejilla. Es esta estructura en forma de rejilla la que hace a la ventana semitransparente (en la zona del vidrio donde no hay depositada celda, pasa la luz). Además de ser estéticamente más agresivo, supone una reducción de la superficie del material activo responsable de la captura de los rayos del Sol. Con el concentrador solar luminiscente, las pinturas luminiscentes se depositan completamente sobre la superficie del cristal. Como consecuencia, se dispone de una mayor superficie activa para la captura de los rayos del Sol, lo que se traducirá en una mayor eficiencia.

-A diferencia de los vidrios fotovoltaicos semitransparentes, con este nuevo método se consiguen vidrios prácticamente transparentes. Además, las células solares de los bordes pueden ir ocultas por la carpintería. Todo esto permite que la integración arquitectónica sea total.

-La eficiencia o cantidad de electricidad generada con el conjunto (concentrador solar - celdas en los bordes) es muy superior a la de las celdas solares anteriormente descritas. Como veíamos en apartados anteriores, la eficiencia de las celdas solares depositadas directamente sobre el vidrio estaba en torno a los 180 Wp/m^2 . Con los concentradores solares llega a los 2.000 Wp/m^2 . Además, supone un ahorro económico muy considerable al disminuir considerablemente el tamaño de las costosas celdas solares. Por ejemplo, para una superficie de cristal de 1 m^2 , la celda solar integrada en los borde podría reducirse a $0,01 \text{ m}^2$.

VENTANAS INTELIGENTES

Este avance no queda aquí, si no que los investigadores dan un paso más en el sistema y han logrado crear las denominadas “ventanas inteligentes” o “smart windows”. En el campo de la arquitectura es crucial la cantidad de luz y calor que pasa a través de las ventanas. En ciertas ocasiones la luz natural puede ser demasiado intensa llegando a molestar en el interior, por otro lado, la cantidad de calor que genera la radiación en el interior puede suponer un problema, haciendo que sea necesaria la instalación de climatización o sistemas de refrigeración. Cortinas, persianas u otros dispositivos son usados frecuentemente para regula el flujo de luz que penetra en el interior del edificio. Si bien estas estrategias funcionan, la luz que obstaculizan evitando la entrada en el interior es una luz desaprovechada. Por otra parte, estéticamente sería más amigable que las propias ventanas regulasen el flujo de luz. Es así como surge el concepto de “smart windows” o “ventanas inteligentes”.

En función de la luminosidad externa y de las necesidades lumínicas del interior, estas ventanas se presentan totalmente transparentes (permitiendo el flujo total de luz hacia el interior), parcialmente opacas (bloqueando parcialmente el flujo

de luz hacia el interior) o totalmente opacas (impidiendo completamente el flujo de luz hacia el interior). Mediante orden del habitante en cuestión, las ventanas hacen uso de moléculas que se reorientan adecuadamente, permitiendo u obstaculizando el paso de la luz. Basándose en el concepto de concentrador solar luminiscentes, es posible utilizar moléculas fluorescentes, de forma que la luz bloqueada se reemite hacia los marcos, donde celdas solares la convertirán en electricidad. Con esta tecnología es posible aprovechar siempre la luz solar, bien sea para iluminar los interiores (ventana en modo transparente o semitransparente) o bien para generar electricidad (ventana en modo opaco).

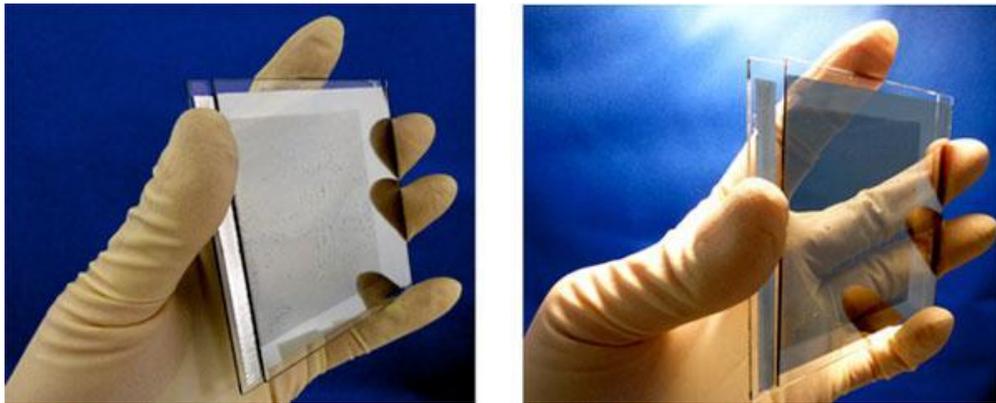


Figura 30. Ventana inteligente obstaculizando el paso de la luz (izquierda) y permitiendo el paso de la luz (derecha).



Figura 31. Ventana inteligente permitiendo el paso de la luz (izquierda) y obstaculizando parcialmente el paso de la luz (derecha).

9.3 TIPOLOGÍAS Y POSIBILIDADES DE COMBINACIÓN

Las ventanas generadoras de energía pueden fabricarse mediante los dos métodos descritos: por vidrios fotovoltaicos semitransparentes o por concentradores solares luminiscentes. Según como se combinen los vidrios que las formen, se pueden conseguir diferentes tipologías con distintas propiedades que las harán idóneas para llevar a cabo diferentes sistemas constructivos. Como ya se ha visto, las diferencias que van a existir en función de la tecnología elegida será:

-Los vidrios fotovoltaicos son semitransparentes y su eficiencia máxima es de 180 Wp/m².



Figura 32. Vidrio fotovoltaico semitransparente.

-Los vidrios usados en los concentradores solares luminiscentes pueden ser prácticamente transparentes y su eficiencia es mucho mayor que la de los vidrios fotovoltaicos, llegando a alcanzar los 2.000 Wp/m².

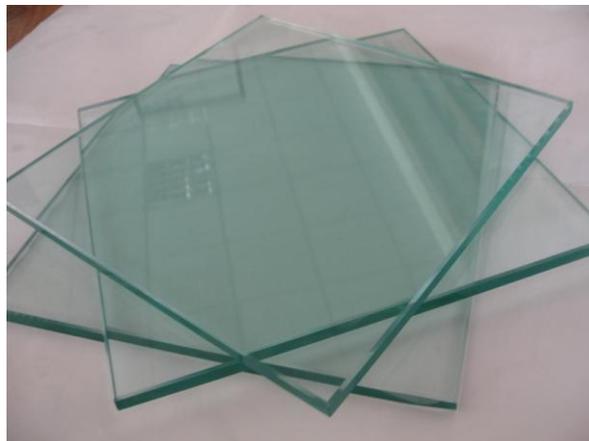


Figura 33. Vidrio base de un concentrador solar luminiscente.

-Vidrios de colores:

El tinte fluorescente del concentrador solar luminiscente puede ser de colores. Esto hará que el vidrio base tenga color.

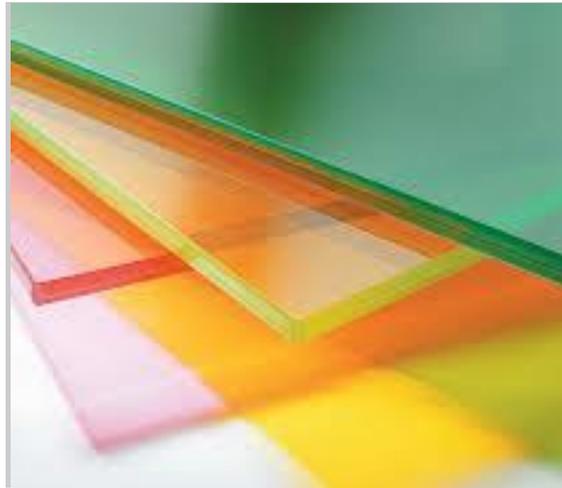


Figura 34. Vidrios de colores.

-Ventanas con doble acristalamiento:

Con el fin de mejorar el aislamiento térmico, y sea cual sea la tecnología utilizada, las ventanas generadoras de energía pueden estar compuestas por vidrios de doble acristalamiento, optimizando así el aislamiento térmico. Este sistema consta de dos vidrios uno interior y otro exterior, y de una cámara de aire estanca entre ellos de unos 15 mm de grosor. Una forma de mejorar la capacidad aislante de la cámara, es sustituyendo el aire del interior por gas Argón.

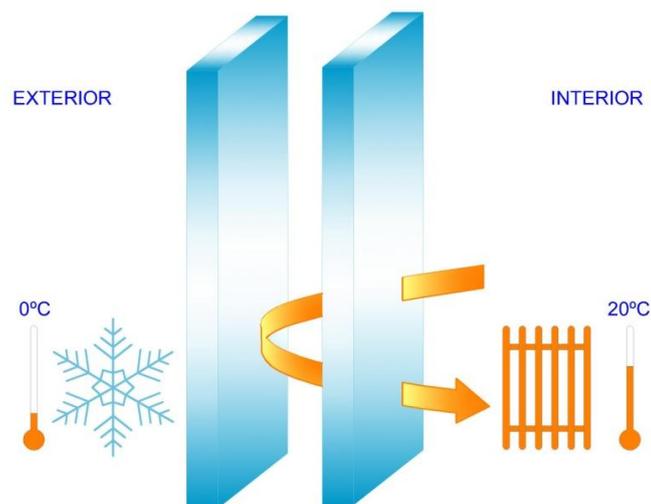


Figura 35. Esquema de concepto de una ventana con doble acristalamiento.

En caso de utilizar la tecnología de vidrios fotovoltaicos semitransparentes el doble acristalamiento puede componerse por un vidrio fotovoltaico exterior de 6, 8, 10, 12 ó 19 mm de grosor y un vidrio convencional interior de 6 mm de grosor.

Si se trata de un concentrador solar luminiscente, el vidrio exterior puede estar tintado con tinte fluorescente, mientras que el interior puede ser un vidrio convencional. Los dos vidrios pueden tener diferentes espesores 3, 6, 8, 10, 12, 15 ó 19 mm.

El uso de vidrios con doble acristalamiento es obligatorio en locales calefactados, ya que implican la rotura de puentes térmicos. Su reglamentación queda recogida en el Documento Básico de Ahorro de Energía del CTE (DB HE).

Ventanas de seguridad:

Cuando debido a condiciones de diseño se precisa una ventana con vidrio laminado de seguridad, los vidrios base utilizados pueden tratarse con el fin de obtener mayor resistencia.

Los vidrios laminados de seguridad están formados por varias láminas de vidrio unidas por un encapsulante del tipo EVA (etil binil acetato) o PVB (butiral de polivinilo), que le confiere una seguridad adicional ante roturas, ya que los pedazos quedan unidos a él.

Cualquiera que sea la tecnología elegida para hacer las ventanas generadoras de energía de seguridad, las láminas de vidrio pueden tener diferentes espesores (3, 6, 8, 10, 12, 15 ó 19 mm), y pueden estar templadas. El encapsulante puede adaptarse para mejorar el grado de insonorización consiguiendo mejor aislamiento acústico.

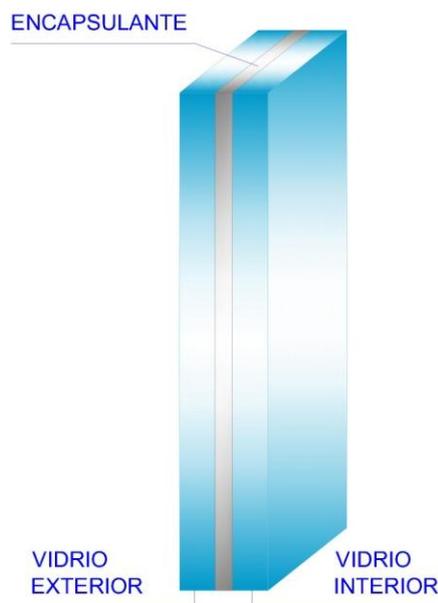


Figura 36. Esquema de concepto de una ventana de seguridad.

El uso vidrio de seguridad está regulado por el CTE, concretamente en el Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad (DB SUA), siendo obligatorio en casos en los que existe riesgo de impacto fortuito, de robo o de agresión.

9.4 INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE LAS VENTANAS GENERADORAS DE ENERGÍA

Tal y como se ha visto en el apartado anterior, las diferentes posibilidades de combinación de vidrios fotovoltaicos o concentradores solares luminiscentes permiten crear distintas tipologías de vidrios con características muy determinadas. Estas características, hacen que sean óptimos para ser usados en diferentes sistemas constructivos de tal forma que desde un punto de vista arquitectónico, se integren de forma óptima.

Sea cual sea el sistema constructivo, debe tenerse en cuenta que los concentradores solares luminiscentes son los más eficientes y son prácticamente transparentes, lo que hacen que su integración arquitectónica sea aún mejor.

Ventanas:

Las ventanas son vanos que se abren en los cerramientos con el fin de proporcionar luz natural y ventilación en el interior de la estancia. Además, posibilitan la relación entre el interior y el exterior. Al tratarse de estancias habitables, es necesario que cuenten con un sistema de cierre con el fin de proteger el interior de agentes externos y de cambios de temperatura. Este sistema de cierre, en general, se compone de pre-marco y marco (de aluminio, madera o PVC) que lo sujetan al cerramiento, y hojas abatibles acristaladas con vidrio. De forma adicional, las ventanas deben contar con un mecanismo de persianas o contraventanas, que eviten, cuando sea necesario, la entrada de luz.

Siempre que se trate de un lugar calefactado, las ventanas deben asegurar el aislamiento térmico, rompiendo con los puentes térmicos. Para llevarlo a cabo, deben tener doble acristalamiento.

El CTE, en el Documento Básico de Salubridad (DB HS), regula el número, las dimensiones y las características que deben tener en función del lugar en el que se hallen.

Si los vidrios de las hojas se sustituyen bien por vidrios fotovoltaicos semitransparentes o bien por concentradores solares luminiscentes, además de cumplir con los requisitos exigidos típicos de una ventana, se puede conseguir la producción de energía. En este caso la integración arquitectónica de la energía fotovoltaica sería total.

Por otro lado, si existe soleamiento excesivo, o por circunstancias la propia iluminación no es deseada, el uso de “ventanas inteligentes” evitaría la necesidad de usar mecanismos como persianas o contraventanas.



Figura 37. Ventana.

Lucernarios:

La utilización de vidrios fotovoltaicos semitransparentes o de concentradores solares luminiscentes en lucernarios permite iluminar el interior de la estancia y aprovechar la radiación solar que incide sobre la cubierta del edificio.

Además, como se ha visto en el apartado interior, en función de la combinación de los vidrios, se pueden aportar propiedades bioclimáticas de confort térmico en el interior. Si se coloca doble acristalamiento con cámara de aire, se garantiza un mejor rendimiento térmico en el interior del edificio y si la tecnología utilizada incorpora un filtro solar casi la totalidad de los rayos ultravioletas e infrarrojos serán absorbidos. Además el vidrio puede ser seguridad y se puede conseguir un buen aislamiento acústico.

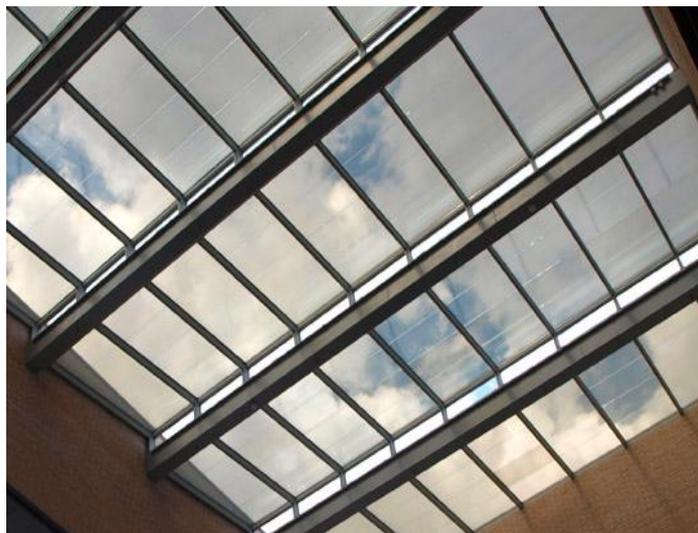


Figura 38. Lucernario.

Fachadas ventiladas:

La fachada ventilada es un sistema de cerramiento exterior formado por dos capas. La interior, que es aislante, y la exterior, que no es estanca y permite la circulación de un fluido de aire entre las capas. Este sistema mejora las condiciones térmicas del conjunto, ya que la corriente de aire permite secar las posibles condensaciones intersticiales que se formen en la cara fría del aislamiento. La capa exterior da el acabado final del cerramiento y protege la capa interior de los agentes externos. Además, la cámara de aire mejora el aislamiento térmico.

La capa exterior puede componerse bien por vidrios fotovoltaicos o bien por concentradores solares luminiscentes de tal forma que, además de cumplir las funciones de cerramiento exterior, la totalidad de la fachada se convierte en un generador de energía eléctrica, lo que deriva en un gran ahorro energético.

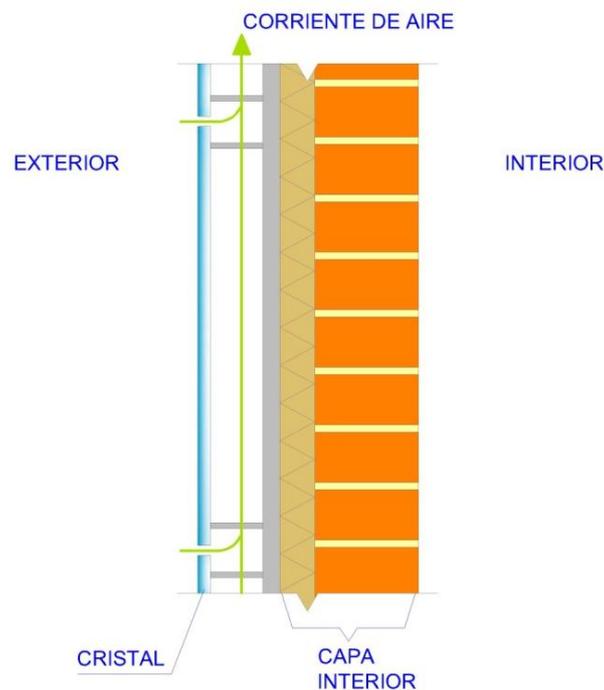


Figura 39. Esquema de concepto de fachada ventilada.

Muro trombe:

El muro trombe es un tipo de cerramiento bioclimático utilizado en construcciones tradicionales, que aprovecha la radiación solar para generar un sistema de calefacción. Es óptimo para edificaciones en zonas con bajas temperaturas y alta radiación solar.

En la cara sur de la edificación se colocan unos perfiles que forman una cámara de unos 15 cm de espesor adherida al cerramiento. En la cara paralela al muro, el cual se pinta de negro, se coloca un vidrio. En el interior de la cámara se genera una especie de “efecto invernadero” que calienta el aire de su interior. Ese aire caliente es reconducido al interior de la vivienda por unas rejillas, aumentando así la temperatura del ambiente.

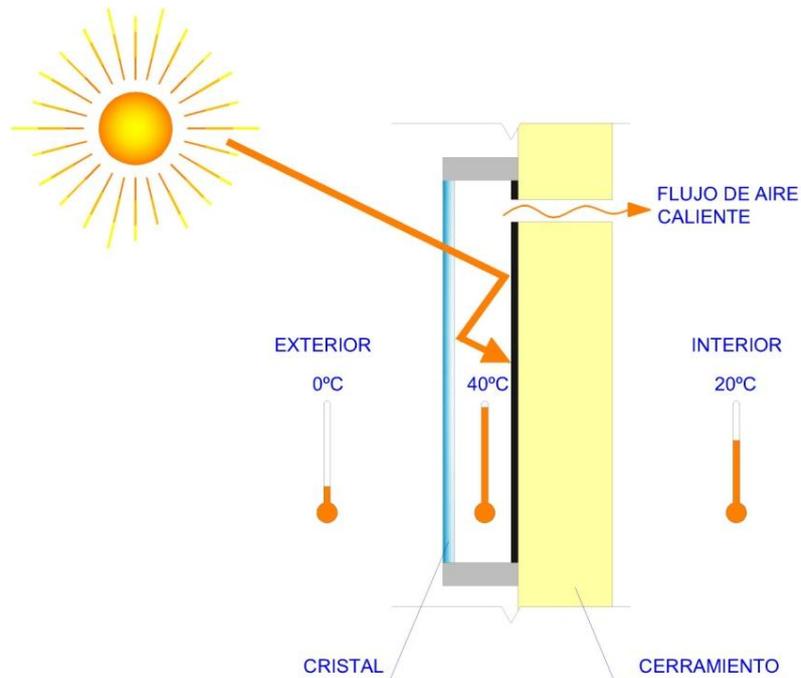


Figura 40. Esquema de concepto de muro trombe.

Si en lugar de un vidrio convencional se coloca un vidrio fotovoltaico o un concentrador solar luminiscente, se consigue producir electricidad de manera limpia, lo que dará más valor a la vivienda bioclimática.

Muros cortina:

El muro cortina es un sistema de cerramiento exterior de una sola capa, muy ligero y compuesto normalmente por perfiles metálicos y vidrio. El vidrio convencional que normalmente se usa en este sistema constructivo, puede ser sustituido por vidrio fotovoltaico o por concentradores solares luminiscentes.

Si el vidrio base es combinado con otros elementos como se ha visto en apartados anteriores, pueden aportarse nuevas ventajas al cerramiento: generación de energía eléctrica, filtración de rayos UV, aislamiento térmico y acústico, color, seguridad frente a impacto y protección frente agentes externos.

Uno de los principales problemas de este sistema constructivo, muy utilizado en edificios públicos y de oficinas, es la acumulación de calor en los meses de verano por la excesiva radiación solar. Este problema hace que el gasto en climatización se dispare. Una posible solución es el uso de “ventanas inteligentes”, que además de darle uso a la luz no deseada, generaría una importante cantidad de energía ya que este tipo de cerramiento ocupan por lo general gran superficie.



Figura 41. Muro cortina.



Figura 42. Muro cortina con vidrios de colores.

Suelo transitable:

Otra forma de utilizar vidrios fotovoltaicos o concentradores solares luminiscentes es en los suelos transitables. Mediante piezas de vidrio antideslizantes se permite la construcción de suelos para exteriores. Este pavimento es fotovoltaico, por lo que genera energía. Los requisitos fundamentales son dos, por un lado que sea antideslizante, característica que puede obtenerse mediante un tratamiento láser, haciendo que el vidrio adquiera cierta rugosidad. Por otro lado, debe de tratarse de vidrios laminados de seguridad, para que tengan suficiente resistencia.

Este sistema puede utilizarse de forma simultánea como lucernario. Por ejemplo, siendo a la vez el pavimento de una cubierta transitable y el lucernario de un espacio interior.



Figura 43. Suelo transitable.

10. CONCLUSIONES

Como se ha visto, los problemas económicos y medioambientales causados por el uso de energía fósil en el planeta está generando que tanto la población como los gobernantes apuesten por alternativas energéticas renovables. La energía fotovoltaica es una opción potente, ya que el sol es una fuente de energía inagotable. Por ello, las nuevas normativas de edificación, obligan a instalar sistemas de generación de energía fotovoltaica en las edificaciones.

En general, los sistemas de generación de energía fotovoltaica más utilizados son los módulos fotovoltaicos convencionales. Dadas sus características, estos módulos no hacen posible la integración arquitectónica, y en muchos casos implican la pérdida de calidad de diseño de las construcciones.

La única forma de ganar en eficiencia y de no perder en calidad de diseño es mediante la integración arquitectónica de sistemas fotovoltaicos.

Avances recientes en el sector de la fotovoltaica, han permitido la comercialización de nuevos productos que permiten generar energía fotovoltaica e integrarse arquitectónicamente. Estos son los vidrios fotovoltaicos semitransparentes. Además, existen, aunque aún no en el mercado, concentradores solares luminiscentes, y ventanas inteligentes, que superan la eficiencia de cualquier otro sistema, pudiendo incluso funcionar durante los días nublados.

Todos estos nuevos sistemas, que usan de base el vidrio, pueden sustituirse por los vidrios convencionales de los cerramientos, tanto en fachadas como en cubiertas.

Según como se fabriquen, y dependiendo de cómo se combinen los vidrios base, pueden obtenerse diferentes propiedades que los harán óptimos para ser utilizados en construcción. Además de posibilitar la integración arquitectónica, las propiedades que pueden llegar a tener son: generación de energía, aislamiento acústico y térmico, seguridad frente a impacto, protección frente a agentes externos y filtración de rayos UV.

Estas propiedades hacen que puedan utilizarse para llevar a cabo diferentes sistemas constructivos como ventanas, lucernarios, fachadas ventiladas, muros trombe, muros cortina o suelos transitables.

11. BIBLIOGRAFÍA

- BREIVIK, Chirster; JELLE, Borjn Petter and ROKENES, Hilde Drolsum. *Building integrated photovoltaic products: A state-of-the-art review and future research opportunities*. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2012, páginas 1-13
- CIESIELSKA, Joanna; FRAILE MONTORO, Daniel y VANBUGGENHOUT, Pieterjan. *Building integrated photovoltaics: an overview of the existing products and their fields of application*. EPIA, 2007
- MENÉNDEZ VELÁZQUEZ, Amador; MULDER, Carlijn L; THOMPSON, Nicholas J.; ANDREW, Trisha L.; REUSSWIG, Philip D.; ROTSCCHILD, Carmel and BALDO, Marc A. *Light-recycling within electronic displays using deep red and near infrared photoluminescent polarizers*. Energy & Environmental Science, 2013, páginas 72-75
- MOSQUERA MARTÍNEZ, Pepa y MERINO RUESCA, Luis. *Empresa y energías renovables. Lo que su empresa debe saber sobre energías renovables, eficiencia energética y Kioto*. FC Editorial, 2006.
- MULDER, C.L.; REUSSWIG, P.D.; VELÁZQUEZ, A.M.; KIM, H.; ROTSCCHILD, C.; BALDO, M.A. *Dye alignment in luminescent solar concentrators: I. Vertical alignment for improved waveguide coupling*. Department of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, 2010
- TORRES PORTERO, Manuel y TORRES PORTERO, Miguel A. *El ABC de la energía solar fotovoltaica en España. La guía definitiva para el pequeño inversor*. Ra-Ma, 2008.
- www.codigotecnico.org
- www.eurobserv-er.org
- www.onyxsolar.com

