

Sistemas fotovoltaicos en Arquitectura y Urbanismo

Photovoltaic Systems in Architecture and Urbanism

Jeannette Roldán Rojas

Filiación

Arqta. Investigadora del Departamento de Ciencias de la Construcción de la F.A.U. de la Universidad de Chile.

jroldan@uchilefau.cl

Resumen

Este artículo expone algunas de las múltiples posibilidades de aplicación en arquitectura y urbanismo de los sistemas fotovoltaicos, en la perspectiva de contribuir a difundir esta tecnología, dada la creciente demanda energética en el mundo.

Palabras clave

Sistemas fotovoltaicos, demanda energética, innovaciones tecnológicas.

Abstract

This paper displays some of the several possible applications of photovoltaic systems in architecture and city planning. Insofar as the energy demands are on the rise around the world, it is necessary to divulge this kind of technology.

Key words

Photovoltaic systems, energetic demands, technological innovations.

Sumario

Introducción

1.-Tecnología solar fotovoltaica

2.-Innovaciones tecnológicas

3.-Clasificaciones de las instalaciones fotovoltaicas

4.-Integración de los sistemas fotovoltaicos en la arquitectura y la ciudad

Conclusiones

Bibliografía

Algunos sitios de interés

Introducción

Satisfacer la creciente demanda energética en el mundo es, cada vez más, un desafío mayor. La complejidad de las actividades del hombre ha hecho de la energía un bien indispensable de insoslayable dependencia; recientes estudios indican que hoy el hombre consume trece veces más energía que la requerida para subsistir. Es en este elevado consumo donde radica el problema tanto del abastecimiento humano como del delicado estado actual del ambiente¹.

¹ Este artículo está basado fundamentalmente en el Seminario de Investigación desarrollado por los alumnos de 5° año de la carrera de Arquitectura en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile: "Energía Solar Fotovoltaica. Hacia su integración en la Arquitectura"; alumnos Ximena Espinoza Muñoz y Rodolfo Muñoz Bastías, Prof. Guía Arqta. Jeannette Roldán Rojas, año 2004, 215 páginas.

Los organismos internacionales en diversas reuniones y cumbres de encuentros gubernamentales han evidenciado ciertas preocupaciones del hombre hoy, destacando especialmente la expansiva sobrepoblación mundial. Junto a ella está la iniquidad en el modo de vida actual en que la demanda del sector más privilegiado es cada vez mayor tanto de energía primaria como secundaria lo que nos ha llevado al límite de lo insostenible en la generación de la energía. Se constata baja eficiencia en la producción y derroche en los consumos, con el consecuente desequilibrio ambiental con repercusiones a escala local y global.

En los últimos años se ha hecho evidente esta situación en el sector energético local, en especial respecto de la generación eléctrica, dando cuenta de un grado de vulnerabilidad al cual estamos sometidos, a pesar de los constantes esfuerzos para evitar el fantasma del racionamiento eléctrico. Esta situación se hizo sentir en 1998 en todo el país, principalmente en las grandes ciudades.

En nuestro país, sin lugar a dudas, es necesario mirar hacia otras fuentes energéticas, especialmente hacia las llamadas energías limpias; de las múltiples alternativas tecnológicas en esta materia la energía del sol es una de las más importantes, ya que el recurso disponible es enorme: la tierra recibe en un año el equivalente a más de diez mil veces el consumo energético global actual.

Dentro de las diferentes aplicaciones de la energía del sol, se encuentra la producción de energía eléctrica por medio de sistemas fotovoltaicos (FV), la que es altamente utilizada para llevar electricidad a lugares aislados donde el tendido eléctrico público no es viable comparativamente en costo. Esta tecnología permitiría llevar electricidad a los 2.000 millones de personas, que a nivel global carecen de suministro energético. Sin embargo, una de las aplicaciones más importantes hacia el futuro es el uso de la energía fotovoltaica en los centros urbanos.

1.- Tecnología solar fotovoltaica

"Fotovoltaico" viene del griego *foto* (luz) y *volt* (eléctrico), y significa la transformación directa de la energía del sol en energía eléctrica. Los materiales conductores, como el cobre o el aluminio, permiten el fácil paso de una corriente eléctrica, ya que poseen un gran número de cargas libres dentro de sí. Los materiales no-conductores o "aislantes" (como el vidrio o el plástico tradicionales), no poseen cargas libres dentro sí.

La transformación de la energía del sol se produce en células solares; el material más usado en su elaboración es el Silicio en forma cristalina pura, este es un semiconductor con muy pocas cargas internas. Su resistividad es muy elevada. Inicialmente a través de un proceso de difusión, se pueden introducir en él pequeñas cantidades de otros elementos químicos, los que permiten disminuir el valor inicial de su resistividad creando, al mismo tiempo, zonas con diferentes tipos de carga.

Una célula fotovoltaica utiliza dos tipos de materiales semiconductores formando dos zonas adyacentes:

- Tipo N (negativo): material en el cual la sustancia difusa cede fácilmente electrones, creando una zona dentro del semiconductor que tiene un exceso de cargas negativas (electrones).

- Tipo P (positivo): material en el cual la sustancia difusa atrapa electrones libres, quedando los átomos que los han liberados con un exceso de cargas positivas.

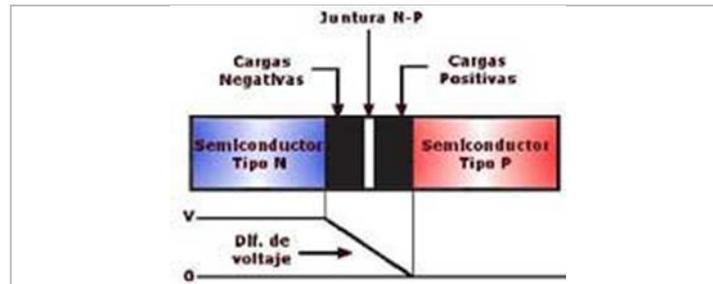


Fig. 1. Esquema junta N-P. Autor: X. Espinoza - R. Muñoz.

Ambas zonas quedan separadas por una junta N-P totalmente libre de cargas ya que las cargas mayores de una zona se desplazan hacia la de baja densidad en la zona opuesta. Las zonas adyacentes a la misma tienen concentraciones de carga minoritarias (cargas negativas en el lado P y cargas positivas en el lado N). La acumulación de estas cargas crea una diferencia de voltaje impidiendo el desplazamiento inicial. Finalmente, la corriente de desplazamiento se anula alcanzando el equilibrio en la zona de junta N-P.

Al incidir la luz solar sobre la celda fotovoltaica, los fotones la estimulan liberando electrones de los átomos de silicio creando dos cargas libres (positiva y negativa), alterando el equilibrio de la junta N-P. Al conectar cables al semiconductor, se verifica la existencia de un voltaje de 0,5 V en corriente continua (CC). Por lo tanto, hay un lado positivo y otro negativo.



Fig.2. Celda Fotovoltaica Isofoto directamente Scaneada. Foto: J.R.R.

Una célula solar genera corrientes y voltajes pequeños para utilizarlos en aplicaciones prácticas; se acoplan en serie o en paralelo obteniendo mayores voltajes y corrientes, formando lo que se denomina panel fotovoltaico. Este artefacto está ampliamente comercializado hoy; también se conecta en serie o en paralelo para obtener el voltaje y

la corriente de acuerdo a la potencia deseada. Los módulos en serie aumentan el voltaje y conservan la misma corriente, mientras que los módulos en paralelo aumentan la corriente, conservando el mismo voltaje.

El frente del panel expuesto a la luz solar está protegido por un vidrio templado de alta transmisividad por lo cual tiene un bajo contenido de plomo, favoreciendo la mayor cantidad de luz a través del mismo, incidiendo sobre a las células fotovoltaicas, quedando éstas protegidas de los agentes meteorológicos (lluvia, granizo, nieve, polvo) e impactos. La parte posterior tiene una capa dieléctrica (aisladora) y una cubierta de protección. Un marco de aluminio es el que otorga la rigidez mecánica al conjunto, facilitando, a su vez, el montaje del panel al soporte. El marco exterior es de aluminio para evitar su deterioro por oxidación.



Las células fotovoltaicas que se ofrecen hoy en el mercado utilizan dos tipos de materiales semiconductores de acuerdo a su estructura cristalina: uniforme, llamado monocristalina, elaborado en un proceso de manufactura que insume enormes cantidades de energía eléctrica incrementando substancialmente el costo del material, y la estructura policristalina, obtenida fundiendo el material semiconductor, el que es vertido en moldes rectangulares.

Ambos se pueden identificar a simple vista ya que la estructura monocristalina provee una superficie de brillo uniforme, mientras que la policristalina muestra zonas de brillo irregular.

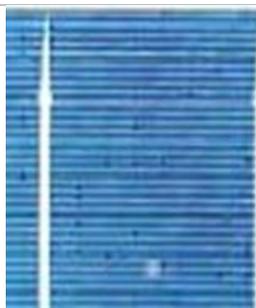


Fig. 4. Celdas fotovoltaica monocristalina. Isofoton Foto: J.R.R.



Fig. 5. Celdas fotovoltaica policristalina. Imagen: Catálogo Solar Century.

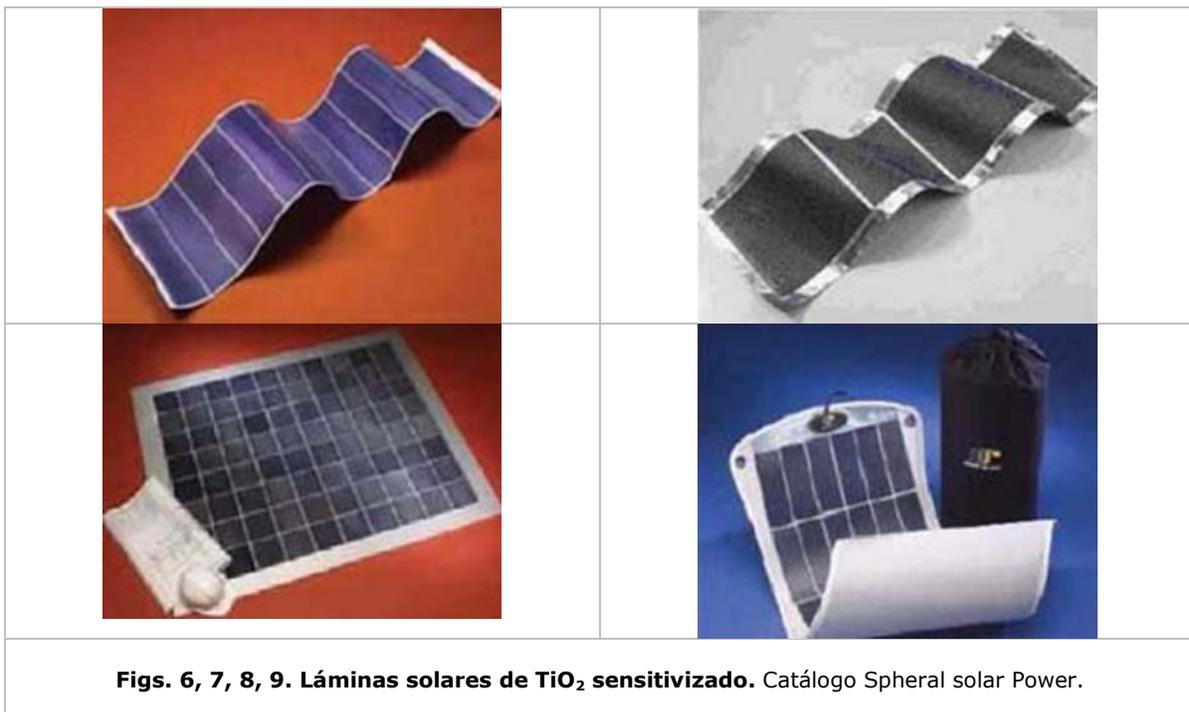
Respecto de la eficiencia de conversión energética que se traduce en una relación entre energía luminosa utilizada y la energía eléctrica generada, ella es del orden de 9% a 12%, siendo el valor teórico máximo alrededor de un 25%, dependiendo del material semiconductor que, en el caso de las celdas fotovoltaicas monocristalinas, resulta más eficiente.

2.- Innovaciones tecnológicas

Sin embargo, la ciencia ha permitido aventurar nuevas tecnologías revolucionando los dispositivos fotoelectroquímicos como son los polímeros conductores y las nanoestructuras sensibilizadas que han permitido a la industria fotovoltaica iniciar recientemente la diversificación de la oferta. Además de las tradicionales células de silicio dopado monocristalino o amorfo que conforman los paneles, se han desarrollado nuevos productos y técnicas. Hoy se han patentado las revolucionarias celdas solares en dióxido de titanio (TiO_2) nanoestructurado sensibilizado con colorante² presentándose como una nueva alternativa para generación fotovoltaica. Los resultados son: células solares flexibles, transparentes, y en diferentes colores.

² "Células solares de titanio nanoestructurado sensibilizado. Alternativa para la generación fotovoltaica", Juan Bisquert, Departamento de Ciencias Experimentales de la Universidad Jaume I, junio 2002.

Sin lugar a dudas, estamos frente a nuevos dispositivos que podrían generar aplicaciones innovadoras y promover nuevos mercados. Se pueden fabricar en cualquier color deseado para una aplicación concreta. En particular, se podría utilizar un colorante con absorción en el infrarrojo que sería transparente para el ojo humano y, aun así, absorbería una fracción substancial de la luz solar; por esto se contempla la incorporación de células de color en ventanas inteligentes que regulan el paso de luz y calor al interior de los edificios. La célula de TiO_2 con colorante encuentra un mercado potencial de reciente evolución y competencia si se desea aprovechar las ventajas para producir electricidad.



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

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

3.- Clasificaciones de las instalaciones fotovoltaicas

Las instalaciones fotovoltaicas se dividen en dos grandes grupos en función del objetivo de la mismas: instalaciones aisladas de la red, cuya finalidad es satisfacer total, o parcialmente, la demanda de energía eléctrica convencional residencial o de una comunidad, y las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, que tienen como objetivo fundamental entregar la energía a la red eléctrica pública; esta última, de gran superficie, se está utilizando como superficie de terminación e imagen en el edificio.

3.1. Instalaciones aisladas de la red

Se emplean en localidades lejanas, que no tienen acceso a la red pública: instalaciones rurales, iluminación de áreas aisladas, telecomunicaciones, balizas o boyas de señalización y bombeo de agua. Estas instalaciones posibilitan dos tipos de suministros según sea el tipo de distribución:

· *El sistema centralizado*

Consiste en un único gran sistema que cubre las necesidades de un conjunto de usuarios. La ventaja es disminuir los costos del sistema manteniendo la calidad del suministro.

· *El sistema descentralizado*

Consiste en la instalación de un sistema individual completo en cada vivienda para cubrir sus necesidades; al contrario del anterior, este tiene un mayor costo.

3.2. Instalaciones conectadas a la red

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

3.3. Instalaciones Híbridas

Son aquellas que combinan los módulos fotovoltaicos con una o más fuentes energéticas auxiliares, como pueden ser los aerogeneradores, o los motores Diesel. Este sistema es más fiable que los anteriores, ya que al disminuir la captación y generación de electricidad del sistema fotovoltaico, el suministro no se ve comprometido al ser complementado por otro tipo de generación ya sea renovable o no renovable.

4. Integración de los sistemas fotovoltaicos en la arquitectura y la ciudad

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

Integración en fachada

- En fachada vertical continua.
- En fachada vertical discontinua.
- En fachada inclinada.
- Instalación de módulo inclinado en fachada vertical.

Integración en cubierta

- En cubierta inclinada.
- En cubierta plana.
- Estructura inclinada en cubierta plana.
- "Dientes de Sierra" sobre cubierta plana.
- En cubierta curva.

Integración en los dispositivos de control solar

Integración en mobiliario urbano

Integración colindante en espacio de vías públicas de alta velocidad

Integración en pérgolas urbanas

4.1. Integración en fachada y/o cubierta

Esta integración comprende toda aquella incorporación de elemento fotovoltaico en la superficie de envolvente del edificio de un único plano.

En este caso el sistema estructural de la fachada fotovoltaica es único y cumple con diversas funciones: es al mismo tiempo estructura de cerramiento, apertura de los vanos, y generador fotovoltaico, el cual, asociado a la técnica de cámara de aire entre vidrios aprovecha las características térmicas y de ventilación que se puedan generar. Esta aplicación ofrece una elevada flexibilidad proyectual de evidentes valores estéticos y compositivos de la fachada y la cubierta o en su conjunto. Funciona como control parcial de la radiación solar, disminuyendo la luminosidad hacia el interior del edificio y aprovechando el efecto térmico que, en general, en los paneles independientes disminuye la eficiencia.

Esta tipología de integración aprovecha la disponibilidad de amplias superficies en la fachada para incorporar elementos fotovoltaicos, aun cuando el rendimiento en esta posición es menor dada la incidencia solar en la fachada de acuerdo a su posición paralela al zenit; además, la orientación de los módulos no es óptima en cuestión de rendimiento energético, a diferencia de la integración sobre cubierta del edificio, una

de las formas más comunes y económicas teniendo las condiciones favorables de máxima exposición solar. Permite diversas posibilidades: módulos opacos sobrepuestos al material de cubierta, o bien puede ser cristal semitransparente por efecto de la tecnología fotovoltaica incorporada reemplazando la cubierta, con la función de dejar pasar la luz tamizada por entre las células solares, permitiendo la iluminación natural en forma de lucernario o cubiertas translúcidas con un alto grado de integración y relevante valor arquitectónico y estético, además de un costo relativamente menor por sustituir parte de los materiales de cubierta y por concepto de construcción.

En la biblioteca Pompeu Fabra de Mataró, Cataluña, España, 1998, el arquitecto Miquel Brullet ha incorporado tecnología fotovoltaica utilizando módulos tanto sobrepuestos como integrados a su arquitectura, privilegiando la iluminación natural en cantidad y calidad.

Todo la superficie colectora se integra a un volumen unitario de 31 m x 37 m en planta, con tres alturas y comunicado internamente por una rampa central.

- *En la cubierta:* módulos fotovoltaicos opacos revisten el faldón de un conjunto de lucernarios "diente de sierra" separados a la distancia necesaria para evitar sombras y permitir la entrada de luz indirecta norte³.

- *En la fachada:* las células fotovoltaicas incorporadas al muro cortina de cámara ventilada contienen células solares de silicio policristalino azul (semitransparentes termo-FV multifuncionales). La fachada obtiene la semitransparencia por la disposición de las células policristalinas cuadradas, las cuales dejan un espacio de 1,4 cm entre líneas horizontales. Esta banda horizontal transparente se extiende a lo largo de toda la fachada produciendo un efecto de variado tamiz de la iluminación natural en el interior.

El uso de distintos módulos de cristal fotovoltaicos se define en función de la necesidad de aportar transparencia, opacidad o carácter a la fachada; a su vez, el edificio se modula en función de la medida de estos. Y esta es una de las distinciones más llamativas de esta obra, es decir, no se trata de un edificio mediador de la tecnología "revestido" de módulos fotovoltaicos, sino que su particularidad radica en la utilización de la tecnología fotovoltaica como elemento constructivo integrado, resultando la característica que identifica al edificio.

La piel de la fachada actúa como amortiguador térmico generado en la cámara de aire entre el paramento exterior e interior. En ella se crea una cavidad donde el aire se calienta por insolación. En verano el aire que asciende desde la base ventilando los módulos solares y evitando que lleguen a un tope de calentamiento. En invierno el aire caliente se conduce a una planta convencional de calefacción a través de ventiladores o por corrientes libres de convección. El módulo fotovoltaico-térmico multifuncional está formado por células fotovoltaicas con las conexiones eléctricas dispuestas entre dos láminas de vidrio. Ello permite realizar revestimientos opacos o semitransparentes que producen electricidad y aire caliente utilizando la tecnología del muro cortina, termopanel.

³ www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/bases/texto128_e.asp

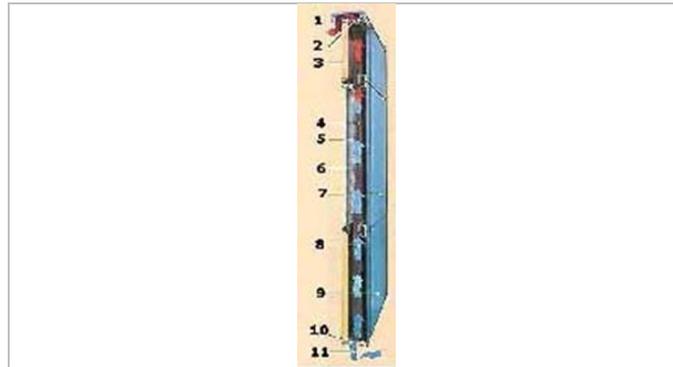


Fig. 10. Esquema Corte Muro Biblioteca. 1) Salida de Aire Caliente. 2) Filtro de Aire 3) Panel Aislante. 4) Cámara Ventilada. 5) Persiana Veneciana. 6) Doble Cristal Aislante. 7) Cristal Interior Normal o Fotovoltaico Semitransparente. 8) Ventilación por Efecto Chimenea o Forzada. 9) Cristal exterior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

Los módulos semitransparentes incorporan células solares de silicio amorfo de PHOTOTRONIKS SOLAR TECHNIK GmbH (PST) encapsuladas en doble cristal. Esta innovadora tecnología ha sido desarrollada por TFM (Teulades i Façanes Multifuncionals S.A.) dentro del marco del programa para la difusión del ahorro de energía JOULE II de la Unión Europea. Actualmente todo el aire caliente producido en la fachada y en los lucernarios se recalienta en un campo de colectores solares y se introduce en un moderno climatizador, el que aprovecha el aire caliente tanto para el sistema de calefacción como para el de aire acondicionado de verano, en donde se utiliza como desecante, de forma que pulverizando agua y fomentando su evaporación en el secado del aire exterior se produce una absorción de energía creando aire frío.

La eficiencia energética del edificio de la Universidad de Barcelona, en colaboración con el ZSW de Stuttgart, desarrolló un sistema de control informatizado (monitoreado), que permitía acceder a datos precisos sobre la instalación termo-fotovoltaica combinada con la climatización del edificio. El análisis de datos corresponde a un período de prueba⁴; indica que el sistema FV de la Biblioteca trabaja con un coeficiente de eficiencia del 62 %, valor satisfactorio teniendo en cuenta el estado tecnológico de la FV en nuestros días. El seguimiento ha comprobado que en invierno, con el sol bajo, la fachada obtiene un rendimiento similar a las lucarnas, pero en verano, con el sol alto, la eficiencia de los paneles de la cubierta casi triplica el rendimiento de sus homólogos en la fachada. El edificio cubre una parte importante de su demanda energética a lo largo del año. En el cuadro siguiente se puede ver la producción total anual (fachada y lucarnas) desde la puesta en marcha de la instalación el 1º de mayo de 1996, según datos de la propia compañía eléctrica ENHER.

⁴ Antecedentes de energía eléctrica enviada a la red semanalmente ENHER.

Todo esto significa que es un edificio respetuoso con el ambiente. Hay que agregar, también, la contribución del sistema térmico para el ahorro de calefacción y aire acondicionado, estimado en un 30%.

4.2. Integración al mobiliario urbano

El diseño del mobiliario urbano permite integrar en la ciudad, y principalmente en el espacio público, sistemas generadores fotovoltaicos para abastecer la demanda de energía eléctrica de los diversos elementos utilitarios del espacio público, como es en la iluminación pública, los paraderos y los quioscos de forma renovable en el centro urbano. El mobiliario urbano aparte de ser un elemento funcional, puede tener otros valores agregados como la autogeneración eléctrica, el de diseño y estética de la parte física, y de habitabilidad del espacio, integrando la tecnología fotovoltaica. Los módulos fotovoltaicos semitransparentes en el diseño, causan una sensación de ligereza integrados a la estructura y de efectiva protección para el sol y la lluvia en los paraderos de buses, sustituyendo las láminas translúcidas actuales.





Figs. 13 y 14. Paradas de buses calefaccionada e iluminada. Fte.: Enerlis.com; Catálogo Solar Century.

4.3. Integración colindante en espacio de vías públicas de alta velocidad

La exploración de las aplicaciones fotovoltaicas ha tenido que ver con las grandes superficies que este necesita para una mejor captación solar y producción energética, es por ello que el espacio público, y en especial los espacios viales y de bordes de las carreteras, son una alternativa para la instalación FV, rescatando estos espacios residuales y otorgándoles un carácter multifuncional. Sin embargo, lo más desarrollado ha sido satisfacer sistemas puntuales, iluminación de cruces, teléfonos de emergencia y otros.



Fig. 15. Teléfono de emergencia en "Autopista del Sol"; Santiago - San Antonio. Foto: J.R.R.

4.4. Placas fotovoltaicas en megapérgola-mirador

Un caso interesante al Urbanismo es el de las placas fotovoltaicas en el marco del conjunto de proyectos del área Frente Litoral Bèsos de Barcelona. Se trata de una superficie de 10.500 m² de placas que aportan 1,3 MW, la energía suficiente para alimentar las necesidades de un pueblo de 1.000 habitantes. Bajo esta instalación se encuentra una plaza-mirador hacia el Mediterráneo, junto a otras instalaciones recreacionales en su entorno⁵.

Junto con los proyectos de recuperación del río Bèsos, de una planta depuradora, de la recuperación del biotopo, de una planta generadora de frío y calor, de una central de ciclo combinado, de una planta de valorización energética, de una central de recogida neumática de escombros, y de un depósito de aguas pluviales, las placas fotovoltaicas, apuestan a la sustentabilidad de la intervención del frente litoral Bèsos. Los arquitectos autores del proyecto de la pérgola son Elías Torres y J.A. Martínez Lapeña.



Fig. 16. Pérgola con placas fotovoltaicas en área Forum, Frente Litoral Bèsos, Barcelona, julio 2004. Foto M.I.P.©



Fig. 17. Vista de plaza-mirador, bajo placas fotovoltaicas en área Forum, Frente Litoral Bèsos, Barcelona, julio 2004. Foto M.I.P.©

⁵ INFRASTRUCTURES DEL LEVANT DE BARCELONA SA, *Front Litoral-Besos, un nou impuls per Barcelona*. Barcelona, 2004, 81 págs. ilustradas color. [Nota: Las fotografías y fotomontaje seleccionados de esta publicación de difusión, se reproducen en Revista Urbanismo digital con fines estrictamente culturales].



Fig.18. Vista de pérgolas con placas fotovoltaicas, desde el puerto deportivo Sant Adrià, en área Forum, Frente Litoral Bèsos, Barcelona, julio 2004. Foto M.I.P.©

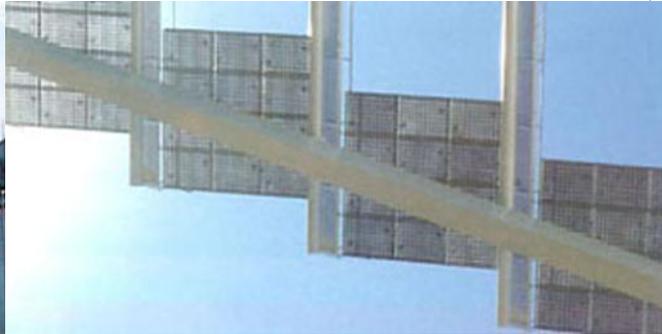


Fig. 19. Detalle de placas fotovoltaicas en proceso de instalación, en área Forum, Frente Litoral Bèsos, Barcelona, diciembre de 2003. Foto: Infraestructures del Levant de Barcelona SA., op. cit.



Fig. 20. Vista de pérgola con placas fotovoltaicas en proceso de instalación, en área Forum, Frente Litoral Bèsos, Barcelona, diciembre de 2003. Foto: I. del Levant de Barcelona SA., op. cit.



Fig. 21. Vista de pérgola con placas fotovoltaicas en proceso de instalación, desde zona de piscinas de recreación con agua de mar, en área Forum, Frente Litoral Bèsos, Barcelona, diciembre de 2003. Foto: I. del Levant de Barcelona SA., op. cit.



Fig. 22. Vista oblicua de explanada Frente Litoral Bèsos, Barcelona, enero de 2004. Foto: Infraestructures del Levant de Barcelona SA., op. cit.

Conclusiones

Revisar el estado actual de la tecnología utilizada, tanto en la elaboración de las células fotovoltaicas como en el desarrollo de los nuevos sistemas disponibles en el mercado, permite reconocer una importante evolución de ésta tanto en la integración a la arquitectura como en las diversas posibilidades exploradas de aplicación en la ciudad. En los próximos años la utilización de sistemas fotovoltaicos como elementos arquitectónicos será cada vez más difundida, esto permitirá la apertura de nuevos mercados más allá de los países industrializados, lo que es fundamental y necesario para ir disminuyendo los costos tanto de fabricación, como de adquisición y mantenimiento.

Es relevante verificar que los sistemas fotovoltaicos han evolucionado desde ser una instalación artefáctica hasta constituirse en un elemento aplicable al diseño arquitectónico y constructivo. Por lo mismo, dada su actual diversidad de aplicaciones: láminas fotovoltaicas flexibles, celdas en variedad de colores, tejas fotovoltaicas, laminados semitransparentes y transparentes, revestimientos fotovoltaicos, etc., no está demás pensar que su empleo será cada vez más frecuente.

Se tendrá en consideración que, si bien, la incorporación de un sistema fotovoltaico (como instalación o integrado) en cualquier proyecto arquitectónico implica aún una alta inversión económica, la duración de este es garantizada hoy por los fabricantes por 25 años; la experiencia permite constatar una vida útil superior a 30 años, logrando una amortización de la inversión inicial de 10 a 11 años. Entonces podemos contar con un ciclo de vida donde, aproximadamente, 14 años o más, serán de generación de energía eléctrica prácticamente "gratis", toda vez que se dé un correcto mantenimiento de los sistemas.

Si bien la incorporación de un sistema fotovoltaico (instalación o integrado) en cualquier proyecto arquitectónico implica aún una alta inversión económica, a este sistema en particular, se le ha asociado un carácter multifuncional, ya que no sólo tiene como única finalidad la generación de energía eléctrica, sino que además aprovecha las características de los materiales y del diseño de los sistemas para calefacción, ventilación, control lumínico, etc. Además responde a los requerimientos estéticos y estructurales, tornándose una tecnología de múltiples aplicaciones y con las diferentes propiedades antes mencionadas, que lo hace ser cada vez más funcional y competitivo con los materiales de construcción y de cerramiento, justificando su costo inicial en relación al beneficio integral, arquitectónico, bioclimático y constructivo.

Dado que hasta ahora no hay estudios ni investigaciones que demuestren un impacto ambiental negativo producto del ciclo de vida de la generación y utilización de la energía fotovoltaica, pasa a constituirse en la generación de energía eléctrica más limpia y con menos efectos nocivos conocidos.

Con el fuerte avance tecnológico de estos sistemas, y disminuyendo los costos posiblemente en los próximos años, la demanda del mercado fotovoltaico local debería manifestarse positivamente. Sin lugar a dudas en nuestro país, por su disponibilidad de radiación solar especialmente en la zona norte, adicionada la situación de alta dependencia y vulnerabilidad energética, tendríamos que elaborar políticas tendientes a hacernos partícipes en esta nueva forma de abastecimiento de energía, disminuyendo, así, gradualmente nuestra dependencia de combustibles fósiles y diversificar las fuentes energéticas disponibles.

Bibliografía

-JONES, David Lloyd. *Arquitectura y entorno. El diseño de la construcción Bioclimática*. 1ª edición en español. Editorial Blume, 2002. 256 págs. ISBN 8495939010.

-THOMAS, Randall; FORDHAM, Max, *Photovoltaics and Architecture*. 1ª edición, Nueva York, Editorial Spon Press, imprint Taylor & Francis. March, 2001, 155 págs. ISBN 0415231825.

-SARMIENTO, Pedro, *Energía Solar. En arquitectura y construcción*. 1ª edición, Viña del Mar. Ediciones Ingesol Ltda. 1999. 315 págs. N° Inscripción 110682.

-SARMIENTO, Pedro, *Energía Solar. Aplicaciones e ingeniería*. 3ª edición, Valparaíso. 1995. Ediciones Universitarias de Valparaíso de la Universidad Católica de Valparaíso. 261 págs. ISBN 956-17-0280-0

Algunos sitios de interés

- www.epsea.org
- www.electrica.ufpr.br
- www.asades.org.ar
- www.solar3.cl
- www.vitruvius.com.br

- www.infomataro.net
- www.akademie-mont-cenis.de
- www1.dicoruna.es/ipe/ayudas/TecnologiaTIC/energia_investigacion/joule_termie/JouleThermie.htm
- www.bpsolar.es/leg_rd_1663_2000.pdf
- www.censolar.org
- www.shell-solar.com
- www.architekturwerkstatt-freiburg.de/Frameseite.htm
- www.heliplast.cl
- www.isofoton.es
- www.total-energie.fr
- www.solarcentury.co.uk