

**Título: Análisis del diseño e instalación del sistema fotovoltaico del C-Ddl Arfrisol de la Plataforma Solar de Armería.**

**Autores:** Dr. José Antonio Díaz Hernández, Dra. María José Jiménez Taboada y MSc. Olga Rosa Pérez Valdés

**Instituciones:** ISPJAE, PSA-CIEMAT, MICONS

**País:** Cuba-España

**Email:** [joseantonio@ceter.cujae.edu.cu](mailto:joseantonio@ceter.cujae.edu.cu), [mjose.jimenez@psa.es](mailto:mjose.jimenez@psa.es), [olgarosapv@gmail.com](mailto:olgarosapv@gmail.com)

---

## **1. Introducción**

La crisis energética y el calentamiento global que agobian a la humanidad desde hace varias décadas han reorientado el diseño y explotación de las edificaciones, las maquinas y los sistemas de ingeniería en la dirección del ahorro de energía y el incremento de la eficiencia energética, así como también en la búsqueda de nuevas fuentes renovables de energía. España se ha convertido en los últimos años en una referencia a nivel mundial para estos temas. Entre las muchas direcciones en las cuales se trabaja actualmente se encuentra el proyecto singular estratégico Arfrisol sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar, cofinanciado por con fondos FEDER y subvencionado por el Plan de Investigación y Desarrollo (I+D) del Ministerio de Educación y Ciencia de España (MEC). Este proyecto ha sido concebido para desarrollar soluciones en los edificios administrativos que permitan obtener un mayor aprovechamiento de los recursos e incrementar la eficiencia de los

sistemas de acondicionamiento térmico de los mismos. El proyecto, actualmente en proceso de evaluación incluye 5 edificios de oficinas ubicados en diferentes zonas climáticas de España (1). Esta ponencia corresponde específicamente al trabajo de análisis y reevaluación que se hizo del sistema fotovoltaico instalado en el edificio Arfrisol ubicado en el desierto de Taberna de la Plataforma Solar de Armería.

## **2. Descripción de la instalación**

El sistema fotovoltaico objeto de análisis fue proyectado, suministrado e instalado por la empresa ATERSA, filial del Grupo ELEC NOR, productora de todos los componentes necesarios para estos sistemas en España desde hace varios años.

Entre los aspectos más significativos de esta instalación fotovoltaica se encuentra la ubicación de los paneles (módulos) sobre el pretil situado en la fachada sur del edificio (C-Ddl) Arfrisol, es decir, los paneles quedan orientados al sur franco (ver fig. 1 y 2), siendo éste el aspecto

mas sobresaliente de la instalación, ya que cuando los paneles fotovoltaicos convencionales se montan en fachadas verticales una parte importante de la radiación solar incidente se pierde durante los períodos de tiempo en que la radiación llega con ángulos muy grandes con respecto a la perpendicular del cristal (Ver fig. 3).

Precisamente para minimizar estas pérdidas ATERSA ha empleado en esta solución un cristal especial para estas situaciones. Este cristal tiene como característica principal, estar conformado por pequeñas pirámides que concentran los rayos solares reduciendo la reflexión, lo que contribuye a un mayor aprovechamiento de la radiación solar incidente (Ver fig. 4). Este diseño según el suministrador, incrementa en más de un 10 % la captación solar. El marco del panel es de aluminio pintado o anodizado en color negro y el mismo ha sido especialmente diseñado para esta aplicación con vista a darle por una parte, la rigidez necesaria al conjunto y por otra, posibilita su montaje en los anclajes insertados en el pretil de la fachada (2). El panel incluye también una lámina o capa de protección trasera de color negro. La integración de estos paneles fotovoltaicos en la fachada del edificio proporcionan al conjunto una solución atractiva y elegante.

Los paneles fotovoltaicos suministrados por ATERSA para estas condiciones de trabajo e instalados en el edificio son del modelo ATM-75 de 75 W de potencia pico (75 Wp  $\pm$ 5%).

Esta instalación fotovoltaica está conformada por 108 paneles de celdas cristalinas de silicio semiconductor distribuidas en tres grupos de 36 paneles en serie. Cada grupo se conecta a su vez a un inversor modelo Ciclo 3000 de 2500 W de potencia máxima de salida fabricado también por la empresa ATERSA, lográndose de esta forma la tensión óptima de trabajo de los inversores en correspondencia con la red final de distribución.

La generación de energía eléctrica (kWh) entregada por la instalación fotovoltaica se suministra directamente a la empresa eléctrica de la localidad, por lo que el propietario de la instalación ha incorporado para su control un medidor de la energía entregada. Este instrumento se monta en la pizarra (cuadro) eléctrica local (CPM) en la cual se encuentran también instalados los interruptores magneto-térmicos de 20 Amperes de cada uno de los grupos para la protección de sus respectivos circuitos eléctricos. Finalmente la energía total producida se entrega a la pizarra (cuadro) general de protección (CGP) del edificio desde la pizarra de protección

general de la instalación (APG) que incorpora el desconectivo principal del sistema fotovoltaico. Ver en el Anexo No. 1 el esquema monolineal de la instalación.

El sistema fotovoltaico instalado en esta obra cuenta para la supervisión y control con un sistema de vigilancia de red que incluye la vigilancia de la tensión, la frecuencia, el aislamiento en el circuito de CC y la detección de fugas en el circuito de CA.

Los inversores Ciclo-3000 empleados en este sistema han sido diseñados también por el fabricante para su aplicación en instalaciones con uno o más inversores como en este caso.

El sistema de comunicación empleado es el RS485, que permite la comunicación a grandes distancias y solo necesita un par de conductores para entrelazar todos los equipos conectados.

Para la gestión de los datos dinámicos la instalación cuenta con un sistema central de control SAC y sensores MET para la medición de la radiación solar, la temperatura ambiente y la temperatura de la celda. Este sistema de gestión permite grabar, visualizar y enviar a una Web los datos principales de la instalación.

También mediante el sistema central de control SAC se dispone del servicio de avisos de mantenimiento y alarmas de

seguridad a través de Internet o directamente con mensajes SMS a un móvil.

## **2. Estimado de la producción de energía media anual**

De las especificaciones técnicas suministradas por ATERSA (Ver Anexo No. 2 hoja de especificaciones) para el panel ATM-75 obtenemos:

Dimensiones de panel (largo x ancho x alto) = 1196 x 596 x 35 mm

(N) número de paneles: 108

(p) Potencia pico del panel <sup>[1]</sup>: 75Wp±5%

Calculando:

2.1 Área bruta expuesta de los paneles instalados

$$A=LxAxN = 1,196 \times 0,596 \times 108 = 77 \text{ m}^2$$

2.2 Cálculo de las horas de pico solar (hps)

Para el cálculo de este parámetro vamos a utilizar inicialmente <sup>[2]</sup> el resultado del modelo de radiación solar on line (3) <http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php> aplicado para esta localidad (PSA) cuyas coordenadas geográficas son:

Latitud Norte: 37° 5' 28"

Longitud Oeste: 2° 21' 19"

Elevación: 495 m

Del modelo para superficies a 90° con cielo despejado en esta localidad obtenemos que la radiación media diaria

es de 3410 Wh/m<sup>2</sup> /día, valor que usaremos como dato para este trabajo.

Por lo tanto, las horas de pico solar media anual definida en base a una radiación de 1000 W/ m<sup>2</sup> es igual a h<sub>ps</sub> = 3,41 horas.

2.3 Energía media diaria suministrada por la instalación fotovoltaica

Para calcular este valor se requiere estimar el rendimiento global (R) de la instalación fotovoltaica. Para ello tomaremos los siguientes valores:

k<sub>PC</sub> Coeficiente de pérdidas en el convertidor: 0.04 (dato del fabricante)

k<sub>PV</sub> Coeficiente de pérdidas varias en el circuito eléctrico, efecto Joule, etc. (asumimos 0.06 como valor aceptable para esta instalación)

Por lo tanto, calculando el valor de R se obtiene:

$$R = 1 - (0.04 + 0.06) = 0.9$$

---

<sup>1</sup>Valor dado para una radiación de 1000 W/m<sup>2</sup>, 25° C de temperatura en la celda y espectro AM 1.5

<sup>2</sup> En la siguiente etapa cuando se procesen los datos registrados por el sistema de monitorización en el CDdl Arfrisol de la PSA dirigido por la Dra. María José Jiménez, se realizarán las correcciones correspondientes.

El valor de la energía media diaria (E<sub>md</sub>) suministrada por la instalación durante el año será:

$$E_{md} = R \times p \times h_{ps} \times N$$

$$E_{md} = 0.9 \times 75 \times 3.41 \times 108 = 24\ 859$$

$$\text{Wh/día} = 24.9 \text{ kWh/día}$$

Digamos 25 kWh/día

### 3. Potencia pico entregada por la instalación fotovoltaica, (Pp)

La potencia pico será:

$$Pp = R \times p \times N = 0.9 \times 75 \times 108 = 7290$$

$$Wp = 7,3 \text{ kWp}$$

Por lo tanto, los 3 convertidores empleados en el sistema de 2.5 kW de potencia máxima de salida y tensión nominal de 230 Vca monofásica a 50 Hz se corresponden satisfactoriamente con los requerimientos del cálculo de esta instalación.

### 4. Aspectos a destacar en este sistema

4.1 Importancia de la energía eléctrica media anual (E<sub>ma</sub>) entregada a la red

La producción de energía media anual será:

$$E_{ma} = 365 \text{ d/año} \times 25 \text{ kWh/d} = 9\ 125 \text{ kWh/año}$$

Esta producción de energía eléctrica es suficiente para satisfacer el consumo anual de más de 5.1 viviendas correspondientes a un consumo medio anual en Cuba por vivienda de 1776 kWh/año (4), que no obstante, su valor

no ser significativo, la aplicación masiva de este concepto en el país en los edificios públicos de nueva construcción o remozados, permitiría, dentro de algunos años, incidir en la reducción del consumo de combustibles fósiles y en la arquitectura de las ciudades cubanas.

#### 4.2 Importancia del panel desarrollado para esta aplicación combinado con fachadas ventiladas

El diseño especial de este panel concebido para ubicarse en un plano paralelo a la fachada, y obtener también un buen aprovechamiento de la radiación solar incidente, ofrece la ventaja adicional, en el caso de su integración en fachadas ventiladas, de reducir significativamente la ganancia de calor solar sobre la misma y en consecuencia el flujo de calor hacia el interior del edificio. Por lo tanto, la integración racional de la ingeniería y la arquitectura en esta concepción permite transformar las fachadas convencionales en “fotovoltaicas-ventiladas” con lo cual se obtiene, como se ha señalado, una reducción de la ganancia de calor que penetra en la edificación a través de estos elementos, reduciéndose la demanda de frío sobre el sistema de aire acondicionado y con ello también se reducen simultáneamente los gastos de adquisición (inversión inicial) del sistema

y el consumo de energía durante la operación por el resto de la vida de la instalación

#### 4.3 Producción de energía limpia

Se debe tener en cuenta, como aspecto muy sobresaliente, que la energía entregada por esta instalación de paneles fotovoltaicos en el C-Ddl Arfrisol es totalmente limpia y por lo tanto, se ha dejado de emitir a la atmósfera anualmente el equivalente a 12 toneladas de CO<sub>2</sub> y se han dejado de consumir 33 toneladas métricas de petróleo combustible.

#### 4.4 Comportamiento real de la instalación fotovoltaica en el C-Ddl Arfrisol

La información sobre el comportamiento preciso de los paneles ATM-75 instalados en este edificio se encuentra aún en fase de investigación por lo que ATERSA se encuentra compilando directamente todos los parámetros medidos de potencia, temperatura, resistencia, etc., en el proceso de monitorización que se lleva a cabo para su evaluación. Por lo tanto, es conveniente en una etapa posterior retroalimentar los resultados de este trabajo con la información

correspondiente y proceder a realizar las correcciones necesarias.

#### 4.5 Interés para Cuba de la fachada fotovoltaica-ventilada.

El empleo de la solución integral de paneles fotovoltaicos con la variante de fachada ventilada, que por cierto no se aplica en el CDdl Arfrisol, ha surgido como una alternativa más en España para cumplimentar el nuevo Código de la Edificación (CTE) recientemente aprobado. El Código establece la obligatoriedad de incluir instalaciones fotovoltaicas en los edificios de uso público como oficinas, hoteles, hospitales, centros comerciales, etc. Esta solución integral de fachada fotovoltaica-ventilada permite producir energía eléctrica y además, reducir la carga térmica que provocaría la solución arquitectónica tradicional de fachada sobre el sistema de climatización en alrededor del 30 % (5). Por lo tanto, es de interés evaluar esta variante en las condiciones específicas de Cuba, al menos, para su investigación en esta primera etapa, pues su costo de inversión, en lo que se refiere al aspecto fotovoltaico, es aún muy elevado y por lo tanto, prácticamente prohibitivo para la Isla.

### 5. Conclusiones

1. Se comprobó analíticamente que, a pesar de ser pequeña el área disponible en el diseño de este edificio para la ubicación de los paneles fotovoltaicos, los resultados obtenidos en la producción de energía eléctrica son satisfactorios.
2. El empleo del cristal piramidal en los paneles fotovoltaicos para este tipo de aplicación es imprescindible.
3. La aplicación de la variante arquitectónica de fachada fotovoltaica-ventilada es una solución interesante en las condiciones específicas de Cuba en la medida en que la primera permitiría la aportación de energía eléctrica limpia y de forma estable al sistema electroenergético nacional (100 a 140 kWh/m<sup>2</sup>año) y además, la

segunda contribuiría a reducir en alrededor del 30 % la carga de climatización del edificio.

## 6. Recomendaciones

Evaluar en las condiciones cubanas la fachada fotovoltaica-ventilada mediante instalaciones prototipos en edificios administrativos, comerciales e industriales.

## Referencias

1. Heras Celemín María R. Coordinadora General del PSE-ARFRISOL y Jefa de la Unidad de Investigación sobre Eficiencia Energética en Edificaciones del CIEMAT. Entrevista concedida para la REI en Energía, Madrid 2007.
2. Calatrava López Bernabé. Memoria Técnica Justificativa del Subproyecto 4 del "PSE-ARFRISOL". Madrid. Junio de 2008.
3. "Solar irradiation data utility\_files" <http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php>.
4. Datos de la UNE (Unión Nacional Eléctrica.) de Cuba del 2006.
5. Fachada CeramicaTau. <http://www.pvdatabase.org>



Fig. 1. Vista parcial de la fachada sur del edificio ARFRISOL en la cual se puede observar la ubicación de los paneles fotovoltaicos en el pretil.



Fig. 2 Vista de general de la fachada sur del mismo edificio donde se muestran la ubicación de los paneles fotovoltaicos sobre el pretil.

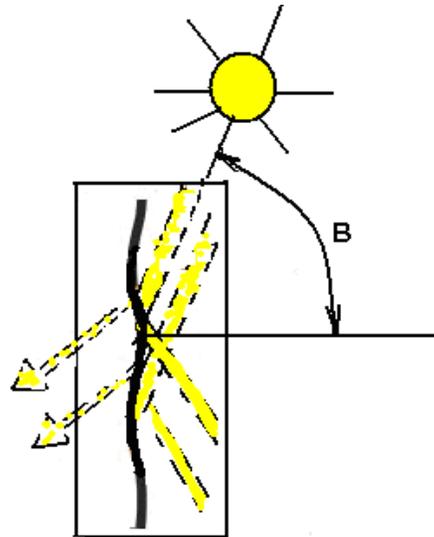


Fig. 3. Panel, fabricado con cristales convencionales, colocado en un plano paralelo a la fachada en el cual se observa que se desaprovecha gran parte de la energía solar incidente cuando "B" toma valores grandes.

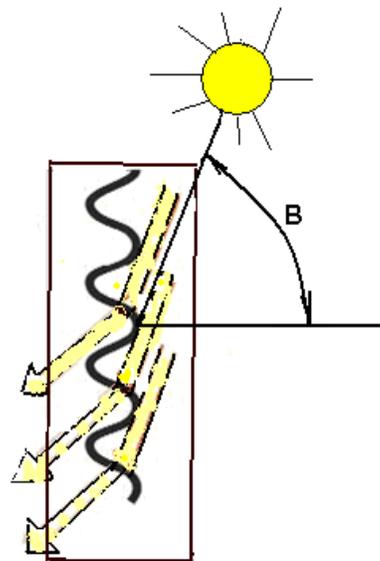


Fig. 4. Panel especialmente fabricado con cristales conformados por pequeñas pirámides que permite ser colocado en un plano paralelo a la fachadaza y aprovechar con mayor eficacia la radiación solar incidente para valores grande de "B".



ANEXO No. 2



**5.1.2.- CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS**

- Potencia máxima ( ±5 %)..... 75 Wp
- Corriente en el punto de máx. potencia..... 7,4 A
- Tensión en el punto de máx. potencia..... 10,15 V
- Corriente de cortocircuito..... 8,2 A
- Tensión de circuito abierto..... 12,7 V
- N° de células..... 7 x 3 de 6"
- Medidas en las siguientes condiciones:
  - Temperatura de célula ..... 25°C
  - Radiación ..... 1000 W/m<sup>2</sup>
  - Espectro..... AM 1.5

**5.1.3.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

- Longitud:..... 1196 mm.
- Anchura: ..... 596 mm.
- Espesor: ..... 35 mm.
- Peso: ..... 8 Kg