



## INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR EN NUEVA FÁBRICA DE PANELES SOLARES ISOFOTON. MÁLAGA, ESPAÑA

Arq. Ismael Eyra<sup>1</sup>.

Fernando Arribas, Jerónimo Vega Arqs. Oscar Perpiñán, Ramón Eyra Ings<sup>2</sup>.(\*)

C/ Hidalgo 1540, 3ªA 1414 Buenos Aires, Argentina

Tel: +54-11-48546030, Fax: +54-11-4785-9772 e-mail: [i.eyras@yahoo.com.ar](mailto:i.eyras@yahoo.com.ar)

(\*)Dpto. Técnico Isofotón: C. Montalbán 9, 28014 Madrid, España. [f.arribas@isofoton.com](mailto:f.arribas@isofoton.com)

**RESUMEN:** El nuevo edificio de oficinas administrativas y técnicas de la fábrica Isofotón España, operativo desde mediados de 2005, cuenta con diversas instalaciones de energía solar fotovoltaica y térmica, incorporadas mediante 5 diferentes formas de integración arquitectónica de alta tecnología. La construcción se ha realizado además bajo criterios de bioclimatismo. Debido a la gran potencia eléctrica instalada (84000Wp) y a la aplicación de estos sistemas de ahorro y producción de energía combinados en un edificio de gran envergadura, se ha convertido en el mayor edificio en España realizado hasta la fecha bajo estas premisas. Teniendo en cuenta que el proyecto se realiza para una empresa dedicada exclusivamente a la energía solar, este hecho cobra especial significado.

**Palabras clave:** energía solar, paneles fotovoltaicos, arquitectura, tecnología, integración, bioclimatismo.

### INTRODUCCION

Las nuevas instalaciones de Isofotón en el Parque Tecnológico de Andalucía (P.T.A.) España, han comenzado a ser operativas a mediados de 2005. Dentro del complejo fabril que actualmente se está finalizando de construir -una nueva planta fabril, almacenes, zonas de I+D, etc.- se encuentra el edificio destinado a albergar las oficinas de la fábrica, el cual cuenta con una instalación de energía solar fotovoltaica y térmica, incorporando 5 diferentes soluciones de integración arquitectónica, algunas de ellas totalmente novedosas hasta ese momento. La generación total de la energía solar evita una emanación de CO<sub>2</sub> de 75,73 toneladas (Tm) y 212 SOX (kg).

El edificio cuenta además con distintos dispositivos o recursos propios de la arquitectura bioclimática, que reducen el consumo energético de climatización del edificio: Parasoles sobre las fachadas asoleadas, fachadas exteriores ventiladas, muros cortina de doble acristalamiento, un patio - claustro central, que actúa como regulador o buffer climático y humidificador y finalmente una cubierta acristalada que atenúa los efectos del sol en las horas cercanas al cenit y durante el verano.

El Departamento Técnico de Isofotón ha sido el encargado del diseño y construcción de la instalación e integración arquitectónica del edificio, colaborando a su vez con el estudio de arquitectura con los aspectos de ahorro energético y bioclimatismo del edificio.

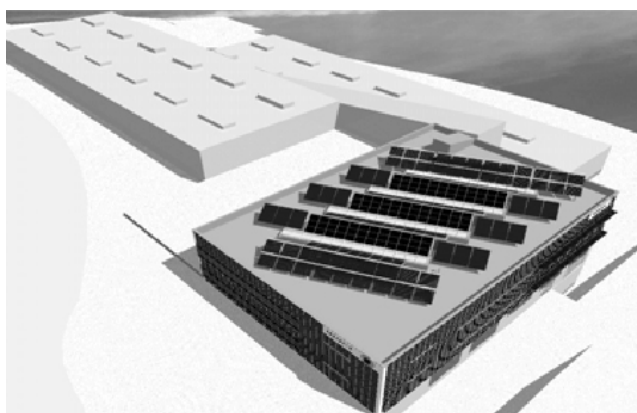


Figura 1: Imagen del edificio de oficinas de la planta fabril ISOFOTON. Etapa de anteproyecto. (Imagen Arq. J. Vega)

<sup>1</sup> Investigador Fadu Uba, Diploma de Estudios Avanzados UJAEN (España)

<sup>2</sup> Departamento Técnico Isofotón

## DESCRIPCIÓN DE LOS ASPECTOS ENERGÉTICOS DEL PROYECTO

El proyecto de instalación de la energía solar e integración podría dividirse en dos grandes áreas:

**1.- Fachadas del edificio**, donde se emplean tres tipos distintos de integración arquitectónica:

### Fachadas ventiladas cerámicas fotovoltaicas

Las cuatro caras exteriores del edificio se recubren de baldosas cerámicas de gran formato, mediante un sistema de rastreles o rieles, conformando una fachada ventilada. La principal mejora del cerramiento de fachadas consiste en una cámara de aire separada por dos hojas, una interior y otra exterior, en la que se instala un aislante térmico. Una fachada ventilada acentúa esta condición mediante una estructura de separación, que garantiza una ventilación continuada por convección natural a lo largo de toda la superficie de la fachada, lo que ofrece importantes mejoras en protección térmica, estanqueidad y estabilidad. Las caras sur (sureste y suroeste), se han completado con módulos de soporte cerámico denominados I-50 CER, consistentes en las mismas cerámicas a las que se adhieren especialmente el circuito de células fotovoltaicas y una capa protectora superficial. La fachada ventilada en este caso permite la fácil instalación y eventuales reparaciones del cableado y de los paneles por su sistema de rieles y anclaje en seco. *Figura 2*

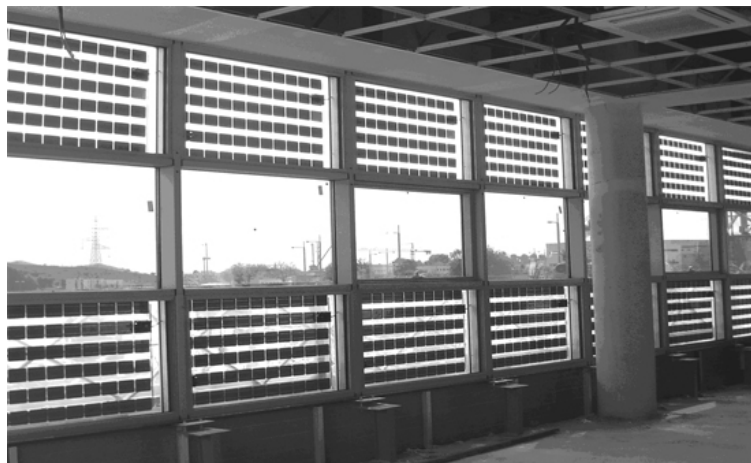


*Figura 2: fachada suroeste durante la construcción. -Montaje de paneles cerámicos*

### Muros cortina acristalados fotovoltaicos

Bajo el mismo concepto, las zonas acristaladas de las fachadas de orientación sur se cierran con muros cortina dobles cuya cara interior esta compuesta por un cristal del tipo DVH (Doble Vidriado Hermético) y su cara exterior está conformada por módulos fotovoltaicos con tedlar transparente.

En estos muros cortina se han dispuesto tres franjas horizontales. La franja central corresponde al área de visibilidad, donde parte de las carpinterías son practicables y cuentan con cristales transparentes, y las franjas inferior y superior, correspondientes a antepechos y dinteles o capialzados donde se han dispuesto los paneles fotovoltaicos. De esta manera se evitan los problemas habituales de este tipo de fachadas acristaladas, como son el deslumbramiento por excesiva luminosidad y el consiguiente uso de cristales espejados o tintados, los cuales rechazan el excedente de radiación, que en este caso no se rechaza sino que se convierte en energía. *Figura 3*



*Figura3: muros cortina.- Paneles fotovoltaicos de tedlar transparente y menor cantidad de ristras, ubicados en sectores de antepechos y dinteles o capialzados*

## Parasoles fotovoltaicos

En las fachadas sureste y suroeste se incorporó un parasol constituido por laminados fotovoltaicos de tedlar opalino montados sin marco. Estos cristales se disponen en voladizo -sujetados mediante grapas- sobre la franja central de visibilidad del muro cortina. Proporcionan el adecuado sombreado sobre los ventanales, limitando la entrada de radiación solar excesiva cercana al mediodía y del verano y permitiendo la entrada de los beneficiosos rayos solares de la mañana y del invierno. Su ubicación en voladizo ha sido calculada también para evitar que las sombras de los mismos originen grandes sombras sobre los fotovoltaicos en el antepecho de los muros cortina. Estos laminados fueron especialmente diseñados para la oportunidad, con igual distancia entre células y ristas.-



Figura 4: Parasoles fotovoltaicos, llamados "Damero". Desarrollo de diseño especial para esta construcción: Tedlar opalino, y equidistancia entre células y ristas.

## 2.- Cubierta del edificio y cubierta sobre patio interior, donde se ha acometido una doble instalación:

### Fotovoltaica.

Para cubrir el patio en su totalidad, se ha empleado una solución de lucernario con paneles laminados de tedlar transparente de orientación Sur franco. El lucernario está constituido como un techado tipo diente de sierra. Actúa como un difusor y atenuador de la radiación solar, filtrando la incidencia directa de los rayos del sur y permitiendo la entrada de la luz reflejada y la luminosidad proveniente del norte. El patio interior del edificio, dotado de este dispositivo de captación de energía, y regulación lumínica se convierte en un verdadero espacio atenuador o "buffer" de regulación climática. Ventilaciones regulables en el lucernario y entradas de aire fresco orientadas hacia los lados sombreados del edificio, al mismo tiempo que humidificadores, generan efectos de chimenea solar y enfriamiento evaporativo directo lo cual reduce sensiblemente el consumo eléctrico por refrigeración, aún en los inviernos de Málaga.

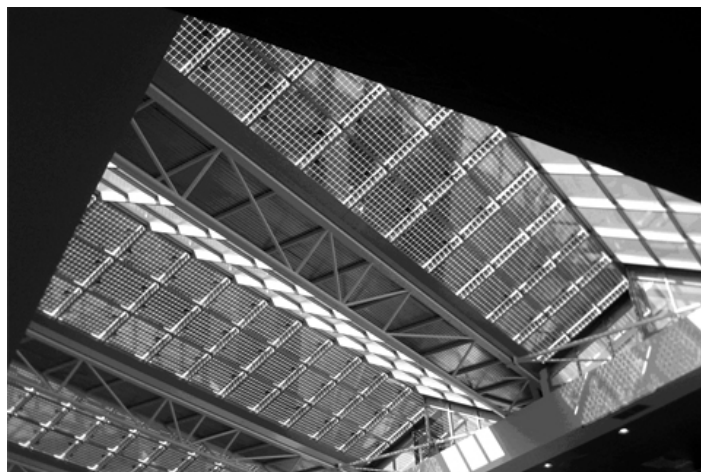


Figura 5: Vista del lucernario sobre el patio interior del edificio- Laminados PV al sur, pasarelas de servicio y cristales templados DVH transparentes al norte.

### Térmica.

Sobre los forjados (losas) de cubierta, se han instalado dos tipologías distintas de colectores térmicos.

El sistema está destinado a la preparación de agua caliente utilizada en procesos industriales, y en refrigeración de sectores del edificio de oficinas, mediante máquina de absorción, utilizando captadores solares planos y de tubo de vacío. Todo el campo de captadores está situado en la cubierta del edificio de oficinas y el resto de componentes (depósitos, bombas, intercambiadores de calor, etc.) se ubica en una sala de máquinas situada en el edificio central de instalaciones de todo el complejo fabril.

La máquina de absorción seleccionada es de la marca Yazaki de 35 Kw. Frigoríficos. Será empleada básicamente para investigación del uso de la Energía Solar Térmica en refrigeración: con agua caliente se alimenta el circuito generador de una máquina enfriadora por absorción. El frío que produzca es inyectado a la red centralizada, produciendo un cierto ahorro en el consumo de la instalación convencional.

Se prevé un funcionamiento durante todo el año de la máquina de absorción ya que existen necesidades de frío incluso en los meses de invierno. Ello implica que este uso intensivo de la máquina favorezca la rentabilidad de la inversión a realizar.

El consumo de agua caliente sanitaria en el edificio se encuentra muy distribuido en las diferentes dependencias que forman la fábrica y no se cuenta con una instalación centralizada para su calentamiento, por lo cual se descartó esta aplicación. Sin embargo, el proceso industrial denominado "Líneas Húmedas" consume aproximadamente 27.000 litros de agua desionizada al día, a una temperatura de 80°C durante prácticamente todos los días del año.

La instalación utilizará captadores solares planos y de tubo de vacío. De esta forma, se pretende estudiar y comparar sus rendimientos, ventajas e inconvenientes en diferentes condiciones de uso.

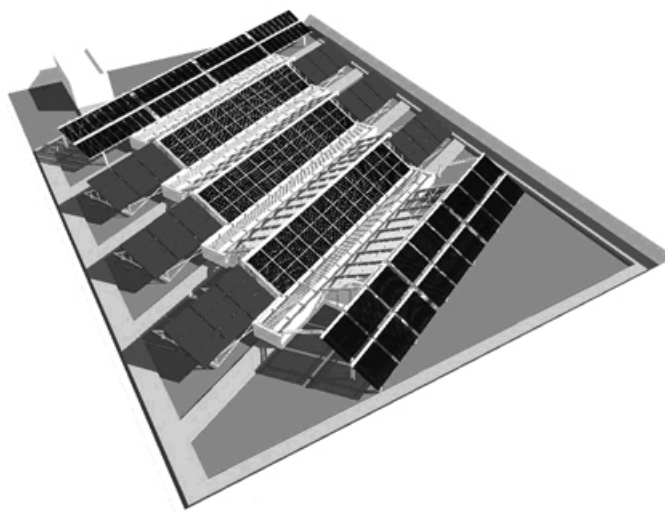


Figura 6: Distribución de los captadores planos (gris claro) y los tubos de vacío (negro) en la azotea del edificio, - laterales del lucernario central.- ( Imagen arq. J. Vega)

Los parámetros funcionales básicos de los captadores son los siguientes:

<p>Tipo: Placa plana con tratamiento selectivo            Fabricante: ISOFOTON            Modelo: ISONOX II            Superficie útil: 1,9 m<sup>2</sup>            Factor de ganancia: 0,76            Factor de pérdidas: 4,5 W/m<sup>2</sup>°C            Cantidad instalada: 54</p>	<p>Tipo: Tubo de vacío de flujo directo            Fabricante: THERMOMAX            Modelo: SOLAMAX            Superficie útil: 3 m<sup>2</sup>            Factor de ganancia: 0,76            Factor de pérdidas: 1,8 W/m<sup>2</sup>°C            Cantidad instalada: 42</p>
--	--

Tabla 1: Parámetros de los captadores solares térmicos

La superficie de captación total es 230 m<sup>2</sup>. Este valor se ha calculado a partir de los datos climatológicos, de los parámetros de los captadores y de las necesidades energéticas tanto en frío como en calor, teniendo en cuenta una máxima integración posible en la cubierta del edificio.

Los captadores quedan fijamente orientados al Sur e inclinados 30° con respecto a la horizontal. La ubicación de los captadores está libre de sombras en las horas centrales del día, incluso en los meses de invierno, empleando el criterio de mantener el campo de captadores 4 horas libres de sombras en el día más desfavorable de año, es decir el 21 de diciembre. (solsticio de invierno).

El sistema de acumulación solar de agua caliente industrial estará constituido por 2 acumuladores de 5.000 litros de capacidad, conectados en serie para favorecer la estratificación y mejorar el rendimiento de la instalación. El sistema de climatización mediante máquina de absorción empleará un depósito de 5.000 litros para favorecer su inercia térmica.

Se prevé el uso de sistemas convencionales de energía auxiliar para asegurar el abastecimiento de la demanda en cualquier periodo de tiempo (típicamente periodos de baja radiación solar o de alto consumo).

## ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

### 1-CAMPO GENERADOR

Aun dentro de las diferentes soluciones de integración arquitectónica establecidas, desde el punto de vista eléctrico, se pueden describir, a su vez, las diferentes instalaciones fotovoltaicas.

Todos los módulos fotovoltaicos forman un campo generador que estará compuesto por 1.364 módulos, lo que supondrá una potencia aproximada de **84.08 kWp**, y serán montados de 4 formas diferentes:

- |                       |                       |                              |
|-----------------------|-----------------------|------------------------------|
| 1. Fachada ventilada: | 1.088 módulos I-50/12 | cerámicos                    |
| 2. Muro cortina:      | 120 módulos I-50/12   | laminados semi transparentes |
| 3. Parasol:           | 60 módulos I-94/12    | laminados semi transparentes |
| 4. Lucernario:        | 108 módulos I-165/12  | laminados transparentes      |

PANELES FOTOVOLTAICOS							
Zona	MODULOS	Fachada		Azotea	Total	Nº paneles conectados a red (*)	Wp/grupo de paneles
		Sureste	Suroeste				
					<b>1364</b>	<b>1346</b>	<b>84080</b>
Cerámicos	I-50	718	388		<b>1106</b>	1096	54800
Muro Cortina	I-94	60	60		<b>120</b>	120	11280
Parasol	I-50	30			<b>30</b>	30	1500
Lucernario	I-165			108	<b>108</b>	100	16500

(\*) Por motivos técnicos no todos los paneles estarán conectados a red. Algunos de ellos sólo serán ornamentales.

Tabla 2: Tipologías de integración, potencia instalada y cantidades de paneles

Los módulos del lucernario (azotea) tendrán la posibilidad de interconectarse de formas diferentes para permitir la posibilidad de conseguir un campo fotovoltaico con varias posibilidades de tensión e intensidad, y así servir como campo de pruebas para inversores de conexión a red de distintas potencias, autónomos, variadores para sistemas de bombeo, etc. estos módulos están instalados formando un lucernario con orientación Sur integrados junto al resto de paneles térmicos. (la orientación del edificio es de -63° respecto del Sureste, y 27° Suroeste.)

Modelo	I-165	I-94	I-50	I-50 Cer
Potencia (Wp)	165	94	50	50
Vnom (V)	12	12	12	12
Icc (A)	10,14	6,54	3,27	3,27
Voc (V)	21,6	19,8	21,6	21,4
Imax (A)	9,48	5,88	2,87	2,91
Vmax (V)	17,4	16	17,4	17,2
Dimensiones (mm)	1310x969	1208x654	1304x340	1000x500
Peso (kg)	16,5	11	5,5	14
Ns	36	33	36	36
Np	3	2	1	1
TONC (°C)	47	47	47	47
Área (m2)	1,27	0,790032	0,44336	0,5
Tolerancia (%)	10	10	10	10

Tabla 3: características específicas de los módulos utilizados

## 2- INVERSORES

La orientación de las oficinas, los diferentes tipos de módulos, diferentes tipologías de integración, y requerimientos constructivos hacen que no sea posible el uso de un solo inversor para todo el conjunto de la instalación. Por ello se ha optado por repartir los módulos en diferentes inversores.

Zona	Tipo de Módulo	No Paneles/Inversor	Tipo Inversor	No de Inversores
Azotea	I-165 Transparente	20	SOLETE 2500	5
Fachada Este	I-94 Muro Cortina	30	SOLETE 2500	2
	I-50 Parasol	15	SUNNYBOY1100	2
Fachada Oeste	I-94 Muro Cortina	30	SOLETE 2500	2
Fachada Este	I-50 Cerámico	30	SOLETE 2500	5
	I-50 Cerámico	30		
	I-50 Cerámico	32	SOLETE 2500	1
	I-50 Cerámico	32		
	I-50 Cerámico	20	SUNNYBOY 850	1
	I-50 Cerámico	28	SOLETE 2500	5
	I-50 Cerámico	28		
	I-50 Cerámico	24	SOLETE 2500	1
I-50 Cerámico	24			
Fachada Oeste	I-50 Cerámico	32	SOLETE 2500	6
	I-50 Cerámico	32		

Tabla 4.:reparto de los inversores en las diferentes ubicaciones, número de paneles por inversor.

## 3- ENERGIA GENERADA

La instalación tiene un carácter eminentemente demostrativo de las posibilidades de integración arquitectónica, pero a pesar de ello no deja de considerarse de importancia la aportación energética del sistema, además, de la relación entre kWh y kWp, las cantidades de emisiones que se dejan de emitir a la atmósfera y la prima económica que se percibe con la venta de la energía.

Zona	Energía total generada (kWh)	Ratio de generación: kWh anuales / kWp	Prima económica (€)	CO2 (Tm)*	SOX (kg)*
Lucernario	21.250,57	1.287,91	8.946,49	22,36	62,65
Fachada Sureste	26.303,49	738,86	11.073,77	27,68	77,55
Fachada Suroeste	14.384,19	749,18	6.055,74	15,13	42,40
Muro Cortina Sureste	4.167,18	738,86	1.754,38	4,38	12,28
Muro Cortina Suroeste	4.225,36	749,18	1.778,88	4,45	12,46
Parasol Sureste	1.644,46	1.096,31	692,32	1,73	4,85
Total	71.975,25		30.301,58	75,73	212,19

(\*) Cantidades que se dejan de emitir a la atmósfera.

Tabla 5: Energía generada, prima económica y emisiones evitadas

## CONCLUSIONES.

Con este proyecto se demostró la utilidad de diferentes soluciones arquitectónicas relacionadas con la generación solar, fotovoltaica y térmica. Las soluciones adoptadas son monitorizadas, se estudian sus resultados para su futuro desarrollo y contribuyen a las investigaciones en I+D de Isofoton. Se cuantifica el comportamiento de los diferentes captadores solares, se comprueba sus rendimientos, su energía generada, y los beneficios climáticos aportados al edificio. Las diversas posibilidades de conexión, diversas orientaciones, diferentes tipos de paneles fotovoltaicos, inversores y captadores convierten el edificio en un verdadero laboratorio de investigaciones de campo *"in situ"*.

Dentro del ámbito arquitectónico ya se han determinado interesantes conclusiones tales como:

- El aprovechamiento de superficies destinadas a otros materiales para la incorporación de paneles fotovoltaicos para la producción de electricidad (ventanas, paneles de fachada o fachadas completas)
- El doble ahorro: en materiales exteriores y de revestimiento del edificio y a su vez en la estructuras de soporte habituales en las instalaciones solares.
- La reducción de las pérdidas por transporte de la energía eléctrica, ya que la misma se produce en el sitio del consumo (generación distribuida), principal ventaja de la energía solar dentro del espectro de las energías renovables.
- La reducción de la luminosidad o el soleamiento interior del edificio a los niveles óptimos. El excedente de energía lumínica no se rechaza, mediante parasoles o materiales reflejantes, sino que es captada para la producción eléctrica.
- La cámara ventilada de la fachada, al mismo tiempo de mejorar las condiciones de aislamiento térmico, constituye una barrera eficaz para proteger a los usuarios y a la instalación eléctrica del campo de paneles: cajas de conexión, cableados, superficie posterior de la células.
- Las diferentes posibilidades de distribución y densidad de células en los colectores permiten satisfacer necesidades de iluminación natural y captación fotovoltaica, ubicando las zonas de mayor densidad en sectores de antepechos y dinteles, para constituir verdaderos parasoles verticales sin reducir la visibilidad. De esta manera se regula la luminosidad del interior sin recurrir al uso de cristales espejados o tintados.
- La posibilidad concreta de complementar los sistemas de generación de energía con aquellos otros de ahorro, propios del bioclimatismo.

## REFERENCIAS :

**Artículo:** Perpiñán O, Bofill M.A., Eyra I.: "Piel Doble Fotovoltaica -PV Skin-: Prototipos Investigación y Desarrollo." XXICongreso Iberoamericano de Energía Solar CIES 2004, Vigo. España.

**Artículo congreso:** Hagemann, Ingo B. "Examples of successful architectural integration of PV: Germany". Progress in Photovoltaics, Research & Applications 2004. PIP 561.

**Páginas web:** IEA Photovoltaic power systems programme. [www.pvdatabase.com](http://www.pvdatabase.com)

Catálogo de productos Isofoton. [www.isofoon.com/html/productos7.htm](http://www.isofoon.com/html/productos7.htm)

Máquinas de absorción térmica: [www.yazakienergy.com](http://www.yazakienergy.com)

## ABSTRACT

The new building for the administrative offices and technical department of the Isofoton factory in Spain, completed in mid 2005, incorporates various photovoltaic and thermal solar installations, using 5 different forms of architectural integration using the latest technology developed by the company. Due to the high installed energy potential (84000Wp) this building is at present the largest PV installation integrated in building in Spain. The construction also responds to bioclimatic design principles and incorporates strategies for reduction of the energy demand. Considering that this project was undertaken for a company that is dedicated exclusively to applications to solar energy applications, this example is especially significant.

**Keywords:** solar energy, photovoltaic panels, architecture, technology, integration, bioclimatic design.