



# Investigation of the use of solar cells of thin film in the cover of an office building

## Investigación del uso de celdas solares de película delgada en la cubierta de un edificio de oficinas

**DORIS GUERRERO**

Arquitecta.  
[cristina.pavon@alumnos.upm.es](mailto:cristina.pavon@alumnos.upm.es)

**CRISTINA PAVÓN**

Ingeniera civil.  
[doris.gmadrid@alumnos.upm.es](mailto:doris.gmadrid@alumnos.upm.es)

**RICARDO TENDERO CABALLERO**

E.T.S. Edificación. Universidad Politécnica de Madrid.  
[ricardo.tintero@upm.es](mailto:ricardo.tintero@upm.es)

This document presents an analysis of the incorporation of a thin-film solar cell system, applied to a building to provide greater energy production under diffuse radiation, homogeneous integration that minimizes the costs of raw material for installation. The intervention area is located on the roof slab and terraces within the Rehabilitation of the office building located in Apolonio Morales Street n°29 in Madrid, with a total area of 78.17 m<sup>2</sup> distributed in three sectors. The objective of this work is to generate, through research and technological development, systematic knowledge that contributes to the analysis of a light, solar technology that provides versatility in design and simplifies installation costs compared to traditional photovoltaic systems. In such a way that there is an energy saving without it modifies the aesthetics of the building in walkable areas of terrace and deck slab. The costs of this system surround the traditional ones, assuming a feasible renewable energy alternative with the capacity to return the investment in less than 3 years.

On the other hand, it is intended that the results of this work serve to analyze the possible applications of this technology in Ecuador, where less than 1% of the population has access to renewable or non-polluting energy.

*Solar, energy, thin film.*

El presente documento analiza la incorporación de un sistema de célula solar de película delgada en una edificación, para aportar una mayor producción de energía bajo radiación difusa de integración homogénea, que minimiza los costos de materia prima para su instalación. El área de intervención está situada en la losa de cubierta y terrazas dentro de la Rehabilitación del edificio de oficinas ubicado en la calle de Apolonio Morales n°29 de Madrid, con un área total de 78.17 m<sup>2</sup> distribuidas en tres sectores. El objetivo de este estudio es generar a través de la investigación y el desarrollo tecnológico, conocimiento sistemático que contribuya con el análisis de una tecnología solar ligera que proporcione versatilidad en el diseño y simplifique los costos de instalación frente a los sistemas tradicionales fotovoltaicos. De tal manera que se produzca un ahorro de energía sin que esta modifique la estética del edificio en áreas transitables de terraza y de losa de cubierta. Los costes de este sistema son similares a los tradicionales, suponiendo una alternativa de energía renovable factible con capacidad de retorno de la inversión en menos de 3 años.

Por otro lado, se pretende que los resultados de este trabajo sirvan para analizar las posibles aplicaciones de esta tecnología en el Ecuador, donde menos del 1% de la población tiene acceso a energías renovables o no contaminantes.

*Solar, energía, película delgada.*

### 1. INTRODUCCIÓN

El uso del sistema fotovoltaico se ha estado desarrollando como fuente de energía después de ser descubierto por Becquerel en 1839 (1).

La energía solar ha demostrado ser una solución prometedora para la producción energética mundial. Bajo esta premisa, el dispositivo capaz de convertir la energía solar en electricidad, debe ser confiable y rentable para que pueda ser igual a una fuente convencional de energía. Actualmente existen mu-

chos materiales que han sido investigados para lograr celdas solares, como son el silicio cristalino, la tecnología de obleas y las películas delgadas. El  $\alpha$ -Si (Amorphous silicon), CdTe (El telururo de cadmio) y CIGS (Copper indium gallium selenide) son las tres células solares de película delgada más comercializadas y se caracterizan por el uso de un material muy fino. El Silicon es el que ha estado más tiempo en el mercado, mientras que el cadmio y el CIGS son tecnologías relativamente nuevas y a pesar de ser más prometedoras en término de eficiencia, aún se encuentra por detrás del  $\alpha$ -Si en cuanto

a eficiencia y confiabilidad [2]. Los principales materiales para la disminución de los costos de los sistemas fotovoltaicos de células solares de película delgada son: silicio amorfo y policristalino, que actualmente se encuentran en constante desarrollo [3].

El porcentaje de personas residentes en zonas urbanas, con acceso a energía para el hogar no contaminante en el Ecuador en 2010, es del 0,1% de 10.748.411 personas. Es decir, tenían acceso a energía a través de panel solar 15.012 personas [10] en zonas amenazadas.

## 2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

### 2.1. METODOLOGÍA

La metodología usada se basa en la recopilación de datos actuales de la demanda total de energía eléctrica que tiene el **Edificio de oficinas en la calle Apolonio Morales n° 29** y la obtención de datos que el sistema de celda solar de película delgada puede aportar, con el fin de alcanzar un consumo menor al actual, separando el servicio energético distribuido.

Este estudio presenta una alternativa de aplicación, combinada y por separado, de radiación solar directa y radiación solar difusa en ambos casos, pudiendo así seleccionar la opción que nos permita obtener un mayor ahorro energético a nivel global dentro del edificio. El uso de este sistema de celda solar de película delgada nos permite alcanzar una eficiencia energética por radiación solar difusa de hasta 8% y en el caso de radiación solar directa hasta el 14%.

La eficiencia del panel es generalmente de 1 a 3% inferior a la eficiencia de células solares, debido a la reflexión del vidrio, el marco de sombra, las temperaturas más altas, etc. Por eso algunos fabricantes pueden hablar de la eficiencia de su célula en lugar de la eficiencia del panel.

### 2.2. EDIFICIO DE OFICINAS EN LA CALLE APOLONIO MORALES N° 29

#### 2.2.1. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ACTUAL

Esta edificación cuenta actualmente con varios sistemas de producción de energía, como se detallan a continuación en la tabla 1:

**Producción primaria:** Bombas de calor geotérmica, el objetivo de estas bombas es realizar un intercambio térmico con el terreno. En el Edificio de oficinas en la calle Apolonio Morales n° 29, se realizaron 6 perforaciones de 80 metros de profundidad, con una separación de al menos 5 metros.

**Producción auxiliar:** Bomba de calor aire-agua, estas bombas aprovechan la energía del aire ambiente para convertirla en frío, calor. En el edificio estudiado, tienen la función de tomar

aire a través de una rejilla, ubicada junto al acceso al aparcamiento, y expulsarlo (3,33 m<sup>3</sup>/s) por un conducto que llega hasta la cubierta del edificio. En la siguiente tabla, se detallan los valores de potencia (KW) generados.

Producción Térmica	Trabajo	Potencia (KW)
Bombas Geotérmicas	Refrigeración	25
	Calefacción	25
Bomba de calor aire -agua	Refrigeración	27.6
	Calefacción	35.1

Tabla 1. Producción térmica del Edificio. Tabla elaboración propia, fuente [9]

#### 2.2.2. DEMANDA DE POTENCIA DEL EDIFICIO

Según el objetivo previsto, este trabajo está enfocado a solventar, mediante una fuente de energía renovable, el consumo del sistema de luminarias y fuerza del **Edificio de oficinas en la calle Apolonio Morales n° 29**. La potencia total estimada en el área a intervenir, está asociada a cada cuadro eléctrico. En la tabla 2, se especifican las potencias de los cuadros eléctricos que componen las instalaciones de luminarias y fuerza actualmente en dicha edificación. Todas las cantidades están expresadas en vatios (W):

DESCRIPCIÓN	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )	RATIO (W/m <sup>2</sup> )	TOTAL (W)
P. SÓTANO Iluminación y fuerza	41,00	75,00	3.075,00
P. SEMISÓTANO Iluminación y fuerza	355,00	75,00	26.625,00
P. BAJA Iluminación y fuerza	247,00	75,00	18.525,00
P. PRIMERA Iluminación y fuerza	195,00	75,00	14.625,00
PARKING Iluminación y fuerza	76,55	10,00	1765,50
<b>TOTAL</b>			<b>63.615,50</b>

Tabla 2. Potencia demandada en el Edificio. Tabla elaboración propia, fuente [9]

#### 2.2.3. DESCRIPCIÓN DEL ESPACIO A INTERVENIR.

El área de intervención que se ha planteado en este trabajo es la cubierta.

La cubierta está resuelta con un sistema invertido, transitable, en el que se integran zonas de plantaciones en jardineras, equipos de captación solar y tratamiento de aire y conductos de bajo perfil de los sistemas de tratamiento y renovación del aire [9].

El material aplicado se definirá entre dos tipos: las celdas solares de película delgada transitable o el vidrio fotovoltaico

co transitable, cuyos beneficios se detallan más adelante. La superficie de aplicación es de 78.12 m<sup>2</sup> (figura 1), estas áreas actualmente son pasos peatonales, los cuales no forman parte de ningún otro sistema. Es un espacio que fue escogido

con la finalidad de la optimización de espacios libres sin afectar el diseño de la edificación, implementado una nueva fuente de energía dentro del edificio.

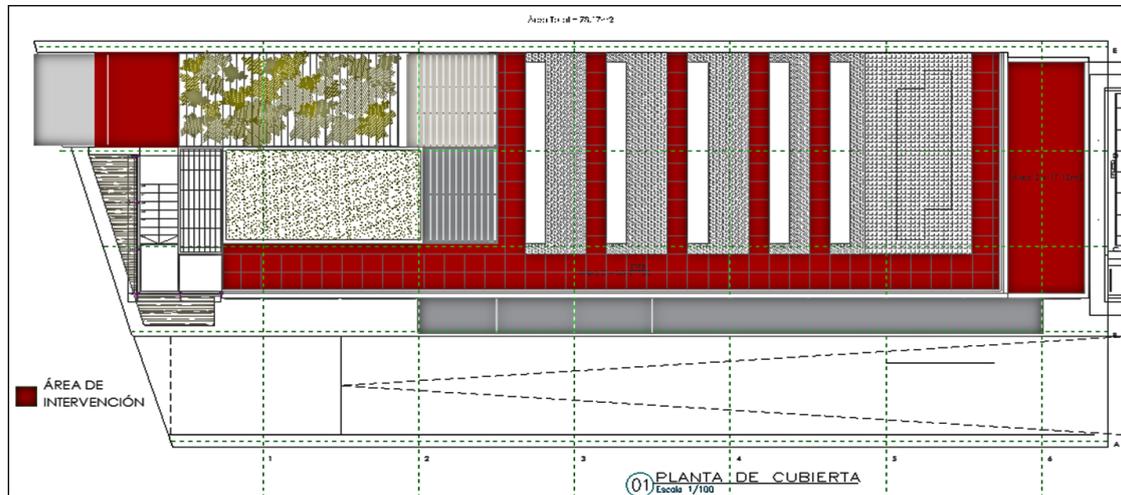


Fig. 1. Zona de aplicación

### 2.3. FUENTES DE ENERGÍA SOLAR - MATERIALES

Con la finalidad de una economía baja en carbono, se plantea el uso de energías renovables como la solar. La energía solar como fuente de energía alternativa ha evolucionado, hasta el punto que esta se convierta en un sistema energético sustentable.

A continuación en la tabla 3, se detallan las características de las tres células solares de película delgada más comercializadas, que tienen en común el uso de material muy fino. El Silicón es el que ha estado más tiempo en el mercado, mientras que el cadmio y el CIGS son tecnologías relativamente nuevas.

Características	a-Si	CdTe	CIGS
La mejor eficiencia	13,4%	19,0%	20,4%
La mejor eficiencia del módulo solar	8,1%	14,4%	14,5%
Cuota de mercado de película delgada	32%	43%	25%
Ventajas	Tecnología madura Excelente para dispositivos pequeños (por ejemplo, calculadoras de bolsillo)	Bajo costo de fabricación	Alta eficiencia Sustratos de vidrio o flexibles
Desventajas	Baja eficiencia Equipo de alto costo	Eficiencia media Sustratos de vidrio rígido El cadmio es altamente tóxico	Costoso proceso tradicional Se espera que crezca la cuota de mercado Requiere menos cadmio que las células solares CdTe.
Los principales fabricantes	Agudo	Primera Solar	Frontera solar

Tabla 3. Características comparativas materiales para celdas solares. Tabla elaboración propia, fuente[4]

### 2.4. MATERIALES PROPUESTOS COMO FUENTES DE ENERGÍA SOLAR EN EL EDIFICIO DE OFICINAS EN LA CALLE APOLONIO MORALES N° 29

Se han planteado dos alternativas de aplicación en **Edificio de oficinas en la calle Apolonio Morales n° 29**, que no afecten

en el diseño original y mantengan un concepto sostenible. Este objetivo se logra con celdas de capa delgada; el uso de material disminuye, y optimiza el espacio. De acuerdo con estas premisas se han escogido las siguientes opciones:

#### 2.4.1. ALTERNATIVA 1: CELDAS DE PELÍCULA DELGADA -THIN FILM

Un material que promete una reducción del coste de producción por disminuir la cantidad de material, al ser una película de menor espesor para la absorción de luz. Logrando así, una mayor flexibilidad del mismo, adaptándose de mejor manera a la configuración arquitectónica [5].

Es un sistema que no necesita un marco para su estructura, haciendo de este un material más liviano. Cuenta con un módulo de eficiencia de 4% - 12% y debe ser considerado su factor de transmitancia térmica. En la tabla 4, se detallan las siguientes características:

Tecnología de las Celdas	Película Delgada / Thin Film
Tipos de tecnología	Silicio amorfo (a-Si) Telururo de cadmio (CdTe) Seleniuro de galio de indio y cobre (CIG / CIGS) Fotovoltaica orgánica (OPV/DCS/DYSC)
Clasificación de voltaje (Vmp / Voc) (Más alto es mejor y a que hay menos espacio en Voc y Vmp)	72 % - 78 %
Coefficientes de temperatura	Inferior ( Más bajo es beneficioso a altas temperaturas ambiente)
Factor de relleno de curva I-V (La célula PV idealizada es 100%)	60 % - 68 %
Construcción del módulo	Sin marco, intercalado entre el vidrio; menor costo, menor peso
Módulo de eficiencia	4 % - 12 %
Compatibilidad y tamaño del inversor	El diseñador del sistema debe considerar: Factor como coeficientes de temperatura, diferencia Voc-Vmp, resistencia al aislamiento debido a factores externos
Sistemas de montaje	Es posible que se necesiten clips y estructuras especiales. En algunos casos, el costo laboral se ahorra significativamente.
Cableado de CC	Es posible requerir más número de combinadores de circuito y fusibles
Tipo de aplicación	Comercial / Utilitario
Ejemplo de marcas en el mercado	First Solar, Solyndra, UniSolar, Konarka, Dye Solar, Bosch Solar, Sharp, Abound Solar

Tabla 4. Características de Celdas de la película delgada "Thin Film". Tabla elaboración propia, fuente [6]

El montaje de este material es sencillo, práctico, fácil de manipular y de transportar (Ver figura 2).



Fig. 2. Cubierta con celdas de película delgada [6]

#### 2.4.2. ALTERNATIVA 2: SUELOS FOTOVOLTAICOS DE VIDRIO TRANSITABLES

Existen además suelos fotovoltaicos de vidrio transitables y antideslizantes, con capacidad de soportar hasta 400 Kg de carga puntual (figura 3) [7].

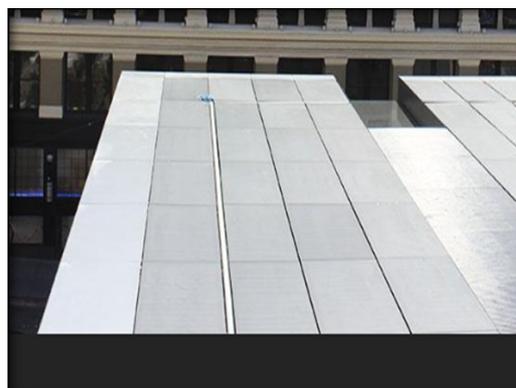


Fig.3. Cubierta con panel de vidrio fotovoltaico antideslizante [7]

El escogido para este proyecto es el suelo de vidrio fotovoltaico de silicio amorfo Onyx Solar®. (Ver anexo adjunto del sistema de suelo fotovoltaico).

El suelo fotovoltaico permite generar energía eléctrica gratuita gracias al sol. Paralelamente no supone una renuncia al espacio útil que ocupa. Una de sus principales propiedades es que genera energía limpia y evita emisiones de CO2. Este vidrio fue escogido debido a su mayor captación de energía solar y su baja transmitancia térmica. A continuación se describe en la tabla 5:

VIDRIO FOTOVOLTAICO - 600 x 600 mm (0.36m <sup>2</sup> )		636BN-06000600 - ref. 20
CONDICIONES DE PRUEBA DE DATOS ELÉCTRICOS (STC)	UNIDAD	L VISION (20%)
Potencia de pico nominal	P <sub>mpp</sub> (Wp)	12
Circuito abierto de voltaje	V <sub>oc</sub> (V)	47
Corriente de cortocircuito	I <sub>sc</sub> (A)	0.47
Voltaje a la potencia nominal	V <sub>mpp</sub> (V)	32
Corriente a potencia nominal	I <sub>mp</sub> (A)	0.38
Tolerancia de potencia para no exceder	%	+/- 5
STC: 1000 w / m <sup>2</sup> , AM 1.5 y una temperatura de la celda de 25 ° C, estado del módulo estabilizado.		

Tabla 5. Características del vidrio. Tabla elaboración propia, fuente [9].

Las características mecánicas del material se muestran a continuación en la tabla 6. El uso de un material como el Silicio amorfo (α-Si), permite que el sistema sea más delgado y liviano, además vela por la seguridad por ser un pavimento antideslizante. Tiene varias capas de vidrios y cada una cumple una función específica, alcanzado un espesor de 16,7 mm.

Vidrio Fotovoltaico Transitable		
Características	(U)	Dimensión
Largo	mm	600
Ancho	mm	600
Espesor	mm	16,72
Área de superficie	m <sup>2</sup>	0,36
Peso	kg	14,4
Tipo de celda		Silicio amorfo (α-Si)
Cristal frontal		6 mm Vidrio antideslizante
PV Vidrio		3,2 mm vidrio flotante
Cristal trasero		6 mm vidrio templado
Espesor de encapsulación		1,52 mm PVB Foils
Caja de conexiones - Protección		IP65
Sección de cableado		2,5 mm <sup>2</sup> /4mm <sup>2</sup>
Voltaje Máximo del sistema		1000 (V)

Tabla 6. Descripción del material. Tabla elaboración propia, fuente [9]

Los paneles fotovoltaicos tradicionales impiden el aprovechamiento de la superficie útil que los soporta mientras que el pavimento fotovoltaico es totalmente transitable y permite optimizar el espacio en aquellos edificios que más lo necesitan, a continuación, se detalla en la figura 4. Las dimensiones de este material en el mercado, vienen dadas por secciones de 600mm x 600 mm, de peso ligero.

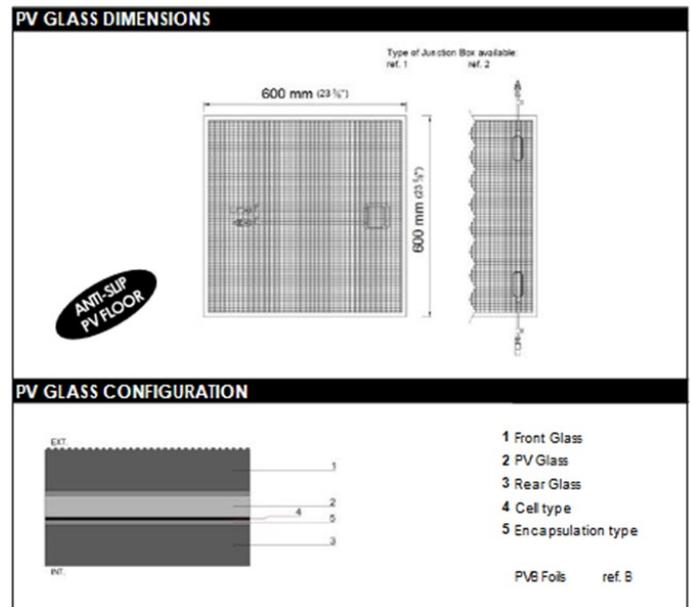


Fig. 4. Dimensiones y configuración del material [9]

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 HORA SOLAR PICO EN MADRID

Hora solar pico (HSP) sobre horizontal KW/h en Madrid (figura 5): Para un lugar concreto, es el valor de la energía solar (H) total incidente sobre una superficie horizontal de 1 m<sup>2</sup>, expresado en KW/h. (horas de sol a un intensidad de 1KW/m<sup>2</sup>). Estos datos, ayudan en el cálculo de estas celdas y vidrios solares.

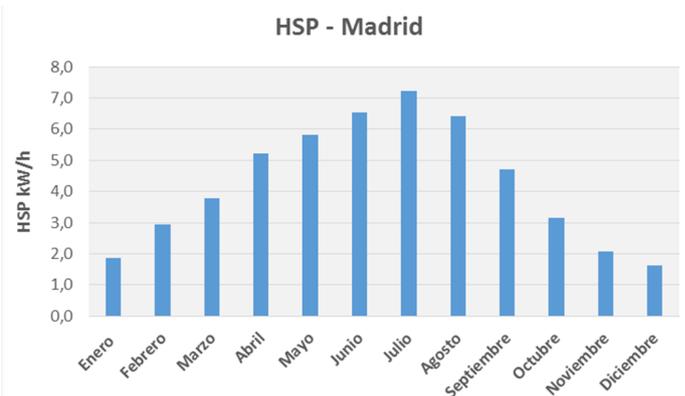


Figura 5 – Photovoltaic Geographical Information System [8]

De acuerdo con el análisis de la hora solar pico considerada, cuyo lugar de aplicación es la ciudad de Madrid en España, la curva de producción eléctrica que se genera en el **Edificio de oficinas en la calle Apolonio Morales N.º 29** se indica en la Figura 6, curva que fue obtenida de acuerdo a la simulación realizada en el programa computacional del proveedor (Onyx).

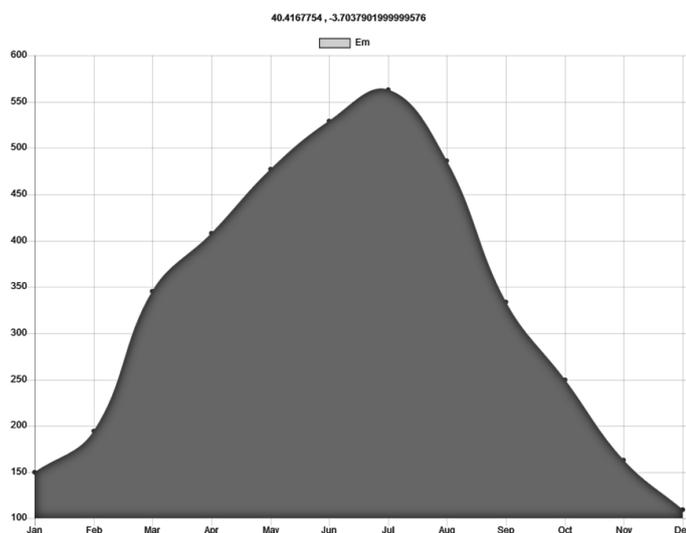


Fig. 6. Curva de producción eléctrica [7]

### 3.2 CÁLCULO DE ELECTRICIDAD GENERADA POR AÑO EN EL EDIFICIO DE OFICINAS EN LA CALLE APOLONIO MORALES N.º 29 CON UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR

Para un área de 78,12 m<sup>2</sup>, se ha realizado el análisis de la aplicación del vidrio fotovoltaico, con un 20% de transparencia, utilizando el programa computacional de Onyx - TOOL-GLOBAL EUR y se han obtenido los siguientes resultados detallados en la tabla 9:

ENERGÍA GENERADA		
Electricidad Generada	4.007,0	KWh/ año*
Puntos de luz	228,0	4h/diarias**
Emisiones de CO2 evitadas al año	2.685,0	Kg CO2/año
Combustible fósil ahorrado	2,0	Barriles de petróleo
Energía generada	29.683,0	Km (distancia recorrida por un coche)

Tabla 9. Tabla de resumen de resultados. Tabla elaboración propia, fuente [7]

\* La producción de energía es una estimación en la que las sombras de otros edificios, las sombras del propio edificio y otros factores externos no se han tenido en cuenta. Estos factores puede que reduzcan la producción de energía. Tampoco se han tenido en cuenta otras pérdidas potenciales debido al BOS. Los cálculos se han hecho usando PVGIS y PVWATTS

\*\* Calculo realizado con bombillas de bajo consumo LED de 12W (intensidad de luz equivalente a una bombilla incandescente tradicional de 100(W)VWATTS

El consumo (Potencia W) de las luminarias actualmente en el Edificio de oficinas en la calle Apolonio Morales N.º 29, se definen en la tabla 9a.

Ocupación	Iluminación	Potencia (W)
sótano	Fluorescente	245,65
s1 pasillo1	Fluorescente	211,9
s1 pasillo2	Fluorescente	165,04
s1 cocina	Fluorescente	267,17
s1 oficina 2	Fluorescente	1444,88
s1 despacho 1	Fluorescente	93,53
s1 despacho 2	Fluorescente	100,72
s1 despacho 3	Fluorescente	98,32
s1 despacho 4	Fluorescente	89,88
s1 despacho 5	Fluorescente	105,88
pb oficina 1 b	Fluorescente	1063,11
pb vestíbulo	Fluorescente	128,61
pb oficina 2	Fluorescente	243,12
pb vestíbulo recep	Fluorescente	395,7
pb oficina 1a	Fluorescente	298,74
pb sala de reuniones	Fluorescente	218,68
pb oficina 1 c	Fluorescente	178,99
pb pasillo	Fluorescente	122,64
P1 oficina 1	Fluorescente	237,64
p1 pasillo 1	Fluorescente	120,72
p1 pasillo 2	Fluorescente	127,32
p1 sala de reuniones	Fluorescente	397,52
p1 oficina 3	Fluorescente	242,12
p1 oficina 2a	Fluorescente	587,01
p1 oficina 2b	Fluorescente	170,11
		<b>7355</b>

Tabla 9a. Luminaria Edificio Apolonio. Tabla elaboración propia, fuente [7]

De acuerdo con la tabla 9 el sistema de fuentes solares instaladas dentro del Edificio de oficinas en la calle Apolonio Morales N.º 29, sería capaz de producir más de la mitad de la demanda que actualmente consumen las luminarias en dicha edificación mostradas en la tabla 9a.

### 3.2.1. SUELOS FOTOVOLTAICOS DE VIDRIO TRANSITABLES

En la tabla 10 se muestran las medias diarias, mensuales y suma mensual de irradiación global por metro cuadrado, reci-

bidas a través del sistema de suelo fotovoltaico transitable sugerido para esta investigación:

Mes	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Enero	4,83	149,58	1,97	60,99
Febrero	6,95	194,47	2,78	77,95
Marzo	11,13	345,09	4,44	137,74
Abril	13,59	407,58	5,37	161,08
Mayo	15,39	477,07	6,18	191,61
Junio	17,65	529,42	7,14	214,12
Julio	18,16	562,95	7,42	229,92
Agosto	15,67	485,92	6,37	197,51
Septiembre	11,11	333,36	4,47	134,20
Octubre	8,06	249,83	3,27	101,30
Noviembre	5,43	162,80	2,22	66,59
Diciembre	3,52	109,20	1,44	44,59
Media anual	10,96	333,94	4,42	134,80
<b>Total anual</b>		<b>4.007,27</b>		<b>1.617,60</b>

Tabla 10 – Tabla de electricidad producida con el suelo fotovoltaico [7]

Donde:

- ◊  $E_d$ : Media diaria de electricidad producida por el sistema (kWh).
- ◊  $E_m$ : Media mensual de electricidad producida por el sistema (kWh).
- ◊  $H_d$ : Suma media diaria de irradiación global por metro cuadrado recibida (kWh/m<sup>2</sup>).
- ◊  $H_m$ : Suma media mensual de irradiación global por metro cuadrado recibida (kWh/m<sup>2</sup>).

Inclinación = Horizontal

Capas = 5

Espesor = 6+3.2+6 mm;

Espesor total= 16.72mm

Peso = 38Kg/m<sup>2</sup>

Se obtuvo una transmitancia térmica de 5.2 W/m<sup>2</sup> K, que, a pesar de no influir en el confort térmico de la edificación, es necesario tomar en cuenta en el análisis general de eficiencia energética de la edificación.

### 3.3. INFLUENCIA TÉRMICA

La U térmica (transmitancia térmica) del sistema de vidrio fotovoltaico, indica la cantidad de calor que se puede transmitir a través de un sistema de vidrio.

Se realizó una simulación con las siguientes características (figura 7):

### 3.4. RESULTADOS ECONÓMICOS

#### 3.4.1. INVERSIÓN

El importe a invertir tanto en las celdas solares de capa delgada como en el pavimento de vidrio fotovoltaico, está entre 90 € y 110 €, valor que al ser amortizado a largo de los años puede ser devuelto hasta 20 veces en un período de 30 años. Además de ser un sistema sostenible, se optimiza la materia prima disminuyendo la producción de CO<sub>2</sub> en el momento de su fabricación; debido a que este sistema no cuenta con marcos ni estructuras tradicionales, los hacen más eficaces al recibir la radiación solar.

#### 3.4.2. COSTES DE AHORRO ENERGÉTICO

Los valores han sido considerados en base al vidrio seleccionado para el área intervenida y calculados con el programa computacional del proveedor (Onyx). A continuación, en la tabla 7, obtenemos:

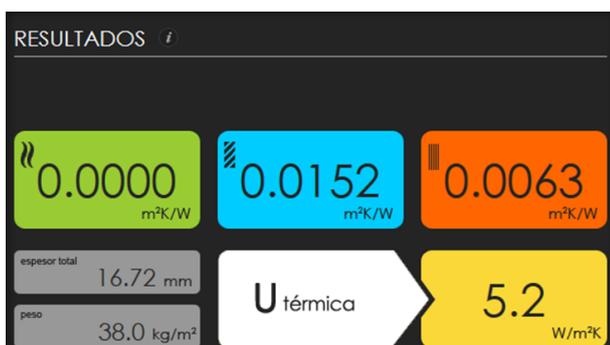


Fig.7. Transmitancia del vidrio

AHORRO ENERGÉTICO	
COSTE DE ENERGÍA CON VIDRIO ONYX SOLAR (€/kWh)	0,01 €
REDUCCIÓN EN LA DEMANDA DE ENERGÍA HVAC (%)	51%
IMPORTE A INVERTIR (€/m <sup>2</sup> de vidrio)	91 €
CANTIDAD A INVERTIR DESPUES DE INCENTIVOS	91 €
REDUCCIÓN MEDIA DE LA DEMANDA DE ENERGÍA (€/m <sup>2</sup> de vidrio)	1.844 €

Tabla 7. Ahorro energético. [7]

### 3.4.3. RETORNO DE LA INVERSIÓN

A continuación, se detalla en la tabla 8 lo siguiente:

RETORNO EN LA INVERSIÓN	
TIR anual (durante los primeros 30 años de la inversión)	39%
TIR anual (durante los primeros 20 años de la inversión)	39%
TIR anual (durante los primeros 10 años de la inversión)	38%
PAYBACK PERIOD (años)	<3
VECES QUE SE RECIBE LA INVERSIÓN (durante el periodo de inversión de 30 años)	20

Tabla 8. Retorno de la Inversión [7]

### 3.5. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS

- ◊ El conocimiento de esta base teórica será de utilidad para nuevos estudios en el Ecuador, lugar en donde menos del 1 % de la población, tiene acceso a energía renovable o no contaminante. Para lograrlo es necesario implantar campañas, donde intervengan los gobiernos e instituciones capaces de difundir esta información de nuevas tecnologías.
- ◊ Este sistema brinda un aporte energético indiscutible; sin embargo, los costos de aplicación aun no son accesibles para todo el mercado. De ser considerado en Ecuador, es necesario socializar el plan estratégico de energías renovables del gobierno, como incentivo para el uso de este tipo de alternativas que fomenta estímulos económicos por la incorporación de estos sistemas en la generación de energía residencial.
- ◊ El suelo fotovoltaico transitable reduce la cantidad de material necesario para su construcción y producción, haciendo de este un material más económico. En algunos casos, estos dispositivos podrían tener costos elevados al compararlos con otras fuentes de energía.

- ◊ Aun cuando este sistema es una fuente de energía sostenible y su inversión en obra puede ser amortizada en el transcurso de los años, no toda la población hace uso de estas tecnologías. Es inquietante que las grandes industrias no comercialicen este tipo de alternativas con mayor impulso pudiendo devengar su coste y obtener ganancias a lo largo de su implementación. España tiene un impuesto al sol, que no permite que tecnologías como esta, puedan tener mayor fluidez en el mercado de las energías renovables y es preciso impulsar nuevas políticas que apoyen a la normativa para el uso de este tipo de opciones.

### 4. CONCLUSIONES

- ◊ La aplicación de un suelo fotovoltaico transitable que no afecte el diseño ni el uso del espacio útil del edificio de oficinas de la calle Apolonio Morales No. 29 es viable.
- ◊ El conocimiento de nuevas fuentes de energía, y el compromiso de un planeta sostenible, conllevan a la aplicación de un sistema capaz de ser aplicado en cualquier lugar.

- ◊ La simulación realizada por el programa computacional del proveedor demuestra que se logra generar más del 50% del consumo total del edificio.
- ◊ Según la simulación del uso del suelo fotovoltaico transitable en el edificio de oficinas en la calle Apolonio Morales N.º 29, es capaz de producir alrededor de 4000 KW/h para un área de aplicación relativamente reducida. Traducido en luminarias, sería capaz de encender 228 luminarias led de 12W 4 horas al día, definiendo a esta aplicación como un sistema beneficioso dentro de la edificación.
- ◊ El sistema demuestra su economía en su producción e instalación y su coste rodea los valores de sistemas tradicionales.
- ◊ La U térmica actual (transmitancia térmica) del suelo transitable fotovoltaico, podría disminuir y considerarse un material aislante si se aplicara una cámara de aire al sistema, pero cabe recalcar que su coste tendría un ligero incremento.
- ◊ La difusión de este tipo de tecnologías lograría ser más aprovechada en espacios de estricto uso transitable.
- ◊ La aplicación de este sistema es amortizada a lo largo de su uso y podría ser devengada en menos de 3 años.

<https://www.onyxsolar.com/es/vidrio-fotovoltaico/soluciones-constructivas/suelo-fotovoltaico-transitable>.

[8] Photovoltaic Geographical Information System

[9] Instituto Europeo de Innovación IEI. Proyecto de ejecución de rehabilitación de edificio de oficinas situado en la c/Apolonio morales nº29, Madrid — Memoria.

[10] Guamán Vallejo LG. 2017. Viviendas De Interés Social Mediante La Utilización De Contenedores Marítimos En Zonas Vulnerables De La Sierra Centro Del Ecuador.

## 5. REFERENCIAS

[1] CÉSPEDES, J.E.S., 2013. Celdas Fotovoltaicas De Alta Eficiencia y Sistema De Paneles Solares Del Cubesat Colombia 1. *Redes De Ingeniería*, vol. 3, no. 2, pp. 41-50.

[2] LEE, T.D. and EBONG, A.U., 2017. A Review of Thin Film Solar Cell Technologies and Challenges., April 2017, Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211631070X> ISBN 1364-0321. DOI <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.028>.

[3] DEB, S.K., 1996. Thin-Film Solar Cells: An Overview. , May—August 1996, Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0960148196888811> ISBN 0960-1481. DOI [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(96\)88881-1](https://doi.org/10.1016/0960-1481(96)88881-1).

[4] Best Thin Film Solar Panels — Amorphous, Cadmium Telluride or CIGS? Energy Informative [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 25 abril 2018]. Disponible en: <http://energyinformative.org/best-thin-film-solar-panels-amorphous-cadmium-telluride-cigs/>.

[5] LOPEZ, F. dispositivos fotovoltaicos de capa delgada a baja temperatura, Barcelona, Marzo de 2010.

[6] Thin Film vs. Crystalline Silicon PV Modules. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 04 mayo 2018]. Disponible en: <https://www.civicsolar.com/support/installer/articles/thin-film-vs-crystalline-silicon-pv-modules>.

[7] suelo fotovoltaico transitable [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 07 mayo 2018].

## WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at [bm.edificacion@upm.es](mailto:bm.edificacion@upm.es). Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.