

INTEGRACIÓN DE FOTOVOLTAICAS EN FACHADAS

POSIBILIDADES FORMALES



Laura Sanz Fernández-Cano

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA



TRABAJO FIN DE GRADO

Laura Sanz Fernández-Cano

*Integración de fotovoltaicas en fachadas
Posibilidades formales*

INTEGRACIÓN DE FOTOVOLTAICAS EN FACHADAS
POSIBILIDADES FORMALES

Estudiante

Laura Sanz Fernández-Cano

Tutor

Benito Lauret Aguirregabiria
Departamento de Construcción y Tecnologías Arquitectónicas

Aula TFG 7

Eduardo Javier Gómez Pioz, *coordinador*
Pilar Horna Almazán, *adjunta*

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid
Universidad Politécnica de Madrid

ÍNDICE

RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	7
1. OBJETIVO	9
2. METODOLOGÍA	11
3. ESTADO DE LA TÉCNICA	13
3.1. Energía solar	13
3.2. Antecedentes	16
3.3. Integración en fachada	18
3.4. Posibilidades formales de integración	23
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	27
4.1. Integración de fotovoltaicas en fachada	27
4.2. Arquitectura de autor	35
4.3. Ensayo de producción fotovoltaica	40
5. CONCLUSIONES	43
FUENTES	
Bibliografía	45
Recursos digitales	46
Procedencia de las ilustraciones	47
ANEXOS	53
Anexo I. Ficha técnica Kromatix	54
Anexo II. Fichas técnicas Issol & Solaxess	55
Anexo III. Ficha técnica placa solar ensayo	60

RESUMEN

El uso de las energías renovables parece cada vez más importante, de hecho, en los últimos años ha aumentado en gran medida su utilización. Con la integración de estas energías en la arquitectura, se pueden conseguir edificios más sostenibles y con una menor huella de carbono.

Este trabajo se centra en el estudio de la integración de generación de energía solar fotovoltaica, en concreto, en las zonas opacas de las fachadas de los edificios. El inconveniente que presentan las instalaciones fotovoltaicas, es su apariencia poco estética. No obstante, existen diferentes posibilidades formales para conseguir dar solución a este problema. La clave para conseguir la integración de los sistemas fotovoltaicos es encontrar un equilibrio entre la eficiencia de los módulos fotovoltaicos y la estética de la fachada ya que el priorizar una de las dos repercute íntegramente en otra.

Dentro de las posibilidades formales, la serigrafía es una de las que más libertad de diseño ofrece. Esta técnica permite reproducir cualquier patrón o imagen en la envolvente de un edificio por medio de la impresión sobre vidrio. De esta manera, se puede llegar a simular la apariencia de un material natural en el cerramiento de un edificio que cuente con módulos fotovoltaicos sin que estos se aprecien a simple vista.

PALABRAS CLAVE

BIPV · Vidrio fotovoltaico · Fachada fotovoltaica · Vidrio serigrafiado · Vidrio activo · Energía renovable

INTRODUCCIÓN

Con la importancia que están tomando las energías renovables actualmente parece fundamental pensar en nuevas formas de integrar dichas energías en la arquitectura para conseguir llegar a lo que se conoce como edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB).

La energía solar fotovoltaica es una de las energías renovables con un mayor índice de demanda en los últimos años. No obstante, no existe todavía concienciación sobre la integración de los sistemas fotovoltaicos en la arquitectura debido a su aspecto poco estético. A pesar de ello, existen ejemplos de arquitectura que incluyen estos sistemas fotovoltaicos en sus envolventes sin ningún tipo de ocultación.

Las fachadas de los edificios ofrecen una gran superficie en la que integrar módulos fotovoltaicos tanto en ventanas, con vidrios fotovoltaicos que permitan el paso de luz al interior de los edificios, como en las zonas opacas de la misma, con la ocultación de un módulo fotovoltaico convencional.

Por ese motivo, este trabajo estudia las posibilidades formales de integración de generación fotovoltaica en las zonas opacas de las fachadas. Para ello, se caracterizan productos comerciales que faciliten la ocultación o integración de módulos fotovoltaicos proporcionando una imagen diferente.

Conocidos los productos que facilitan dicha ocultación, se procede a realizar una comparación entre ellos teniendo en cuenta aspectos clave en lo que a integración de fotovoltaicas se refiere, como son la eficiencia de cada solución, así como la durabilidad y el coste, sin olvidar las posibilidades estéticas de cada uno.

1 OBJETIVO

Con la incorporación de paneles fotovoltaicos en la arquitectura se pueden conseguir edificios más sostenibles reduciendo, además, su huella de carbono. El verdadero reto de los arquitectos reside en integrar estos sistemas en sus diseños.

Por ese motivo, el objetivo de este trabajo es caracterizar los vidrios fotovoltaicos que faciliten la integración de generación de energía solar fotovoltaica en fachada proporcionando una imagen diferente al edificio. Con la integración de estos sistemas se busca que las fotovoltaicas cumplan su función energética, pero también que resuelvan una función arquitectónica.

2 METODOLOGÍA

1. Buscar bibliografía sobre la integración de paneles fotovoltaicos en la arquitectura, en concreto, en fachadas de vidrio. Esta investigación se basa en libros y búsquedas en Google académico con palabras clave como: integración de fotovoltaicas (*integration of PV*), vidrio fotovoltaico serigrafiado (*fritted glass photovoltaics*), fotovoltaicas ocultas (*concealed photovoltaics*) o BIPV (*Building Integration of Photovoltaics*)

2. Buscar arquitectura que incorpore sistemas fotovoltaicos en fachada, así como proyectos que, por características concretas, tengan posibilidades formales de integrar dichos sistemas, aunque el proyecto inicial no los integre.

3. Buscar productos comerciales de placas fotovoltaicas ocultas con diferentes imágenes, así como información técnica sobre sus características, montaje y producción de energía.

4. Elaborar tablas comparativas de precio y producción de las tecnologías de fotovoltaicas investigadas para su posterior comparación.

5. Realizar un ensayo para comprobar la producción de una placa fotovoltaica con una capa superpuesta para su ocultación. De esta manera, se pueden comparar los datos obtenidos con la producción de la placa sin ningún obstáculo.

6. Conclusiones

3 ESTADO DE LA TÉCNICA

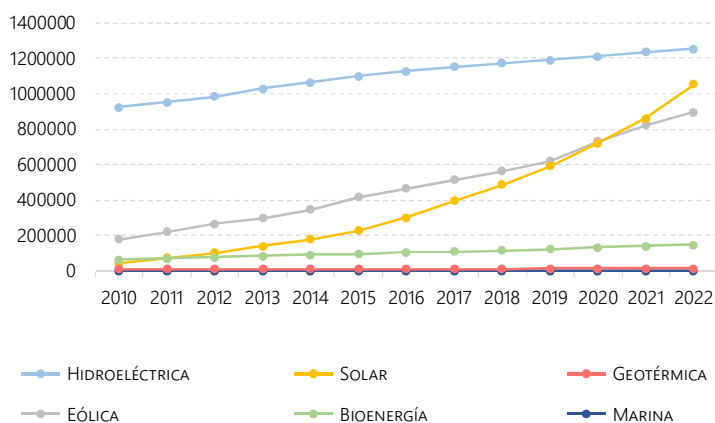
3.1. Energía solar

Energías renovables

Las energías renovables son fuentes de energía ilimitada que contribuyen a reducir la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, es decir, gases que se acumulan en la atmósfera y no permiten que se disipe el calor. Existen distintos tipos de según el recurso natural que utilice para la generación de energía: fotovoltaica, eólica, hidráulica, geotérmica, bioenergía y marina.

En la última década ha aumentado la utilización de energías renovables a nivel mundial. Como se puede observar en la siguiente gráfica, el aumento más considerable se ha producido tanto en la energía eólica como en la energía fotovoltaica, siendo sus valores de producción de 898.824 megavatios (MW) y 1.053.115 megavatios (MW) respectivamente en el año 2022.¹

Figura 3.1. Gráfica de la evolución de las energías renovables a nivel mundial.



Este trabajo se va a centrar en la energía fotovoltaica, una de las energías que está tomando cada vez una mayor importancia.

Energía solar

En los últimos años ha aumentado la demanda de instalación de módulos fotovoltaicos ya que, gracias a la radiación solar, es una manera de producir energía eléctrica. En un principio, con el elevado coste de estos sistemas su uso era limitado y no se reparaba en su integración en la arquitectura.

1. IRENA, consultado el 20.02.2023, enlace <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series>

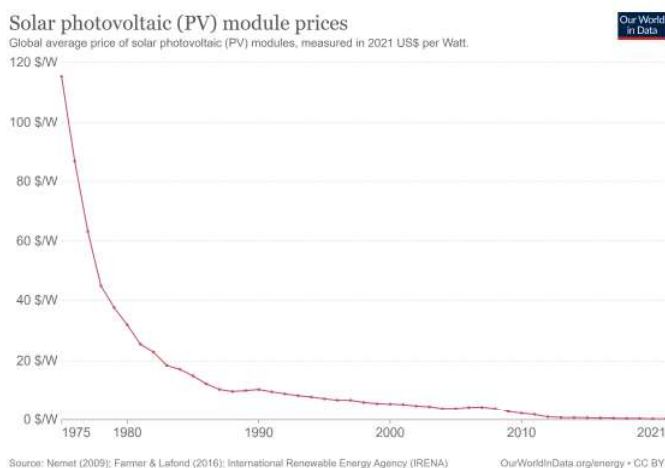


Figura 3.2. Gráfica de la evolución del precio de los módulos fotovoltaicos.

En la gráfica se puede observar la bajada del precio de los paneles fotovoltaicos en las últimas décadas en todo el mundo. Por ejemplo, en el año 1975 el precio de las células fotovoltaicas era de 115,28 dólares por vatio (\$/W), mientras que en el año 2021 el precio era de 0,27 dólares por vatio (\$/W).²

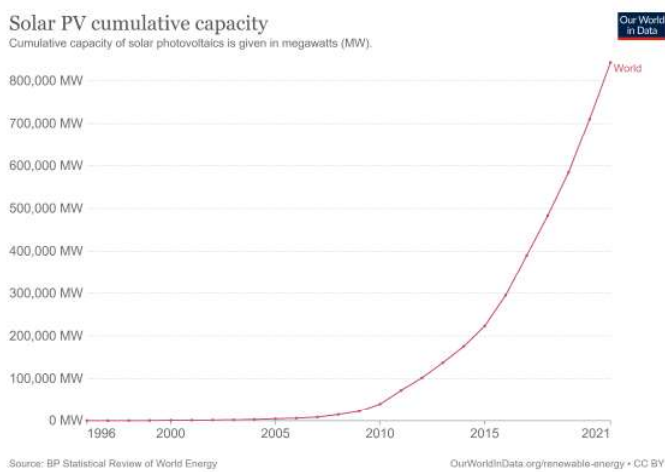


Figura 3.3. Gráfica de la capacidad acumulada de energía solar fotovoltaica.

En esta otra gráfica se refleja el aumento de la capacidad de energía solar acumulada a lo largo de los años. El aumento más notable se produjo a partir del año 2010 donde la capacidad acumulada era de 40.337,81 megavatios (MW) y desde ese valor ha ido aumentando hasta los 843.086,06 megavatios (MW) en el año 2021.²

Por lo tanto, con la bajada del precio de los módulos fotovoltaicos y el aumento de la capacidad acumulada, el problema inicial del elevado coste ya no existe. En la actualidad, el verdadero reto es la integración de estos paneles en la arquitectura para que cada edificio sea capaz de producir su propia energía.

2. OUR WORLD IN DATA, consultado el 19.02.2023, <https://ourworldindata.org/>

Tipos de células solares ³

Las instalaciones fotovoltaicas están formadas por módulos fotovoltaicos. Estos módulos, a su vez, están formados por células solares.

Dependiendo del material utilizado para la elaboración de las células, existen diferentes grupos en los que clasificarlas, tal y como se puede observar en el siguiente esquema.

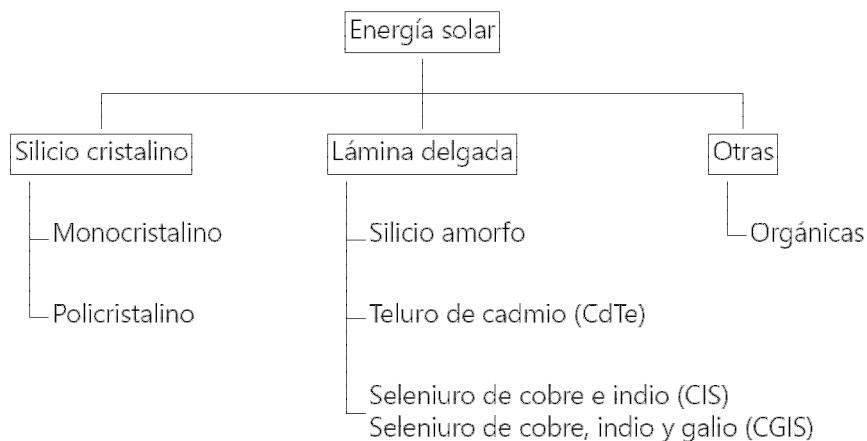
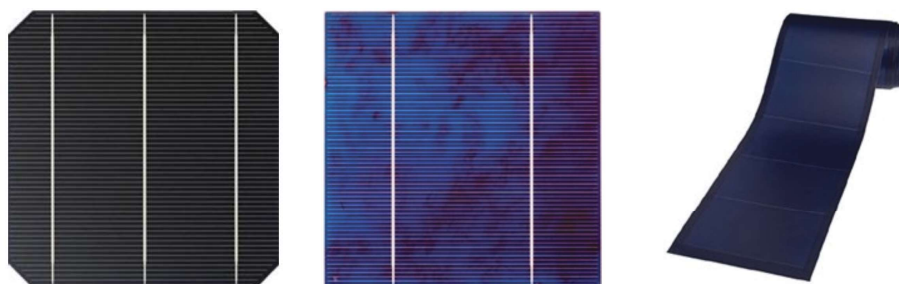


Figura 3.4. Esquema de los tipos de fotovoltaicas.

Figura 3.5. (izq.) Célula de silicio monocristalino.

Figura 3.6. (centro) Célula de silicio policristalino.

Figura 3.7. (dcha.) Célula de silicio amorfo.



Cada tipo de células tiene unas características concretas que se explican a continuación.

Silicio monocristalino

Estas células son las que mejor producción eléctrica presentan de los tipos existentes. Este valor, actualmente, se encuentra entre en 180 watio pico por metro cuadrado (Wp/m^2). Al ser el tipo con una mayor producción eléctrica, su coste es más elevado. El color de estas células es, generalmente, negro.

Silicio policristalino

El coste de este tipo es menor que el de las células de silicio monocristalino, ya que se utiliza un silicio de menor pureza, por lo tanto, la producción eléctrica es algo menor que el del primer tipo ya mencionado. En este caso, dicha producción es de $150 Wp/m^2$. El color característico de estas células es azul, aunque hoy en día se producen también en otros colores.

3. Ignacio Fernández y Nuria Martín, *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura* (Barcelona: Reverté, 2007), 194.

Silicio amorfo

El inconveniente de este tipo es que su producción eléctrica es mucho menor que el de los otros dos tipos, se encuentra en 40 Wp/m^2 . No obstante, cuenta con la ventaja de ser un tipo de célula que se puede adaptar fácilmente a superficies irregulares.

Para conocer las características de cada uno de los tipos mencionados se utilizan, principalmente, dos parámetros: el rendimiento y la potencia pico. Estos parámetros se dan en unas condiciones óptimas, es decir, una irradiancia de 1.000 W/m^2 y una temperatura de célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.2. Antecedentes

“Aunque la tecnología fotovoltaica ha venido desarrollándose desde hace mucho tiempo, tanto en España como en el resto del mundo, todavía son pocos los ejemplos de edificios españoles con integración de sistemas fotovoltaicos, es decir, sistemas en los que los paneles solares cumplan una doble función: energética y arquitectónica.”⁴

En los primeros edificios en los que se incluían paneles solares, el procedimiento era, en primer lugar, realizar el cerramiento y, una vez terminado, se instalaban los sistemas fotovoltaicos. Esto suponía un doble coste ya que, el resultado, era una doble fachada. A mediados de los años 1990 fue cuando se empezó a pensar realmente en la integración de estos sistemas en las fachadas de los edificios, en concreto, en las partes opacas de la misma.⁵

Desde hace varios años existen proyectos que incluyen fotovoltaicas en sus diseños, pero sin ocultarlas. En muchos de estos casos, precisamente, lo característico es que se aprecien los paneles fotovoltaicos en la envolvente. A continuación, se explican algunos ejemplos de proyectos con estas características.

*Academia Mont Cenis, Jourda & Perraudin (Alemania, 1999)*⁶

La envolvente de este edificio es principalmente de vidrio y cuenta con paneles solares tanto en cubierta como en la fachada sur. En concreto, tiene $10\,000 \text{ m}^2$ de placas fotovoltaicas de silicio cristalino.



Figura 3.8. (izq.) Detalle de fotovoltaicas de la Academia Mont Cenis.

Figura 3.9. (dcha.) Vista exterior de la Academia Mont Cenis.

4. César Bedoya, *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura* (Barcelona: Reverté, 2007), Prólogo.

5. Ignacio Fernández y Nuria Martín, *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura* (Barcelona: Reverté, 2007), 69.

6. Ignacio Fernández y Nuria Martín, *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura* (Barcelona: Reverté, 2007), 107-109.

*Fundación Metròpoli, Edificio EcoBox, Ángel de Diego, Alfonso Vergara y Vicente Olmedilla (Madrid, 2002)*⁷

Este proyecto, ganador del premio de arquitectura COAM 2004, tiene un carácter experimental en el que se buscaba tanto la innovación como la sostenibilidad. Cuenta con medidas de sistemas pasivos, como el uso de lamas metálicas orientables en fachada, y sistemas activos, como el uso de energía geotérmica o energía solar. Respecto a la energía solar, tiene instalados 24 módulos solares de silicio policristalino en la fachada sur y son perceptibles desde el exterior del edificio.

Figura 3.10. (izq.) Detalle de fotovoltaicas de la Fundación Metròpoli.



Figura 3.11. (dcha.) Vista exterior de la Fundación Metròpoli.



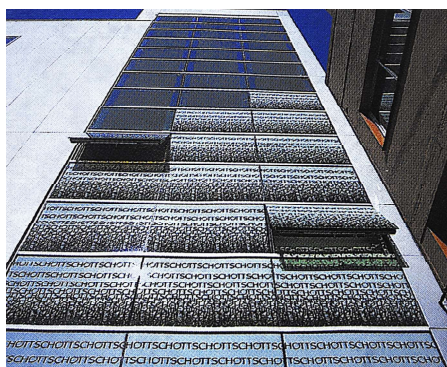
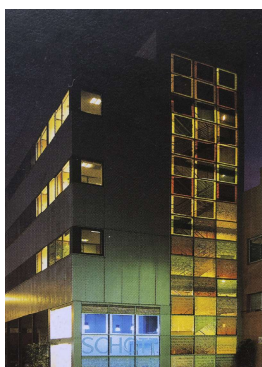
Figura 3.12. (debajo) Vista exterior Sede Schott Ibérica.

*Sede de Schott Ibérica, Torsten Maseck (Barcelona, 2004)*⁶

Figura 3.13. (centro) Detalle vidrios serigrafiados Sede Schott Ibérica.

El cerramiento de las escaleras del proyecto original se sustituyó por un muro cortina. Se aprovechó esta renovación para integrar en la parte superior del muro cortina paneles fotovoltaicos de silicio amorfo traslúcido y de diferentes colores. En los vidrios de la parte inferior del muro cortina se utilizaron vidrios serigrafiados.

Figura 3.14. (dcha.) Vista interior Sede Schott Ibérica.



6. Fernández y Martín, *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura*, 107-109.

7. NATURPIEDRA, consultado el 20.03.2023, <https://naturpiedra.com/es/proyectos-singulares/edificio-eco-box-fundacion-metropoli/>

*Parque de Innovación Tecnológica La Salle, de Robert Terrades (Barcelona, 2005)*⁶

La envolvente de este edificio consiste en una doble piel que incorpora paneles fotovoltaicos en la piel exterior. A pesar de la imagen homogénea de la fachada, tan sólo el 30% son realmente paneles fotovoltaicos de silicio monocristalino. El resto de los vidrios que forman el cerramiento están serigrafiados para simular el acabado de una fotovoltaica y conseguir esa imagen homogénea ya nombrada.

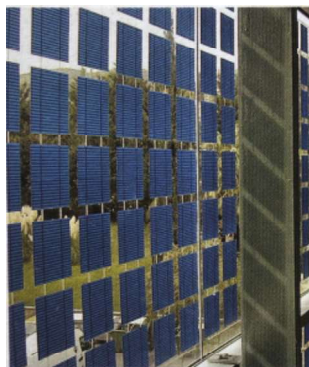


Figura 3.15. (izq.) Detalle de fotovoltaicas Parque de Innovación Tecnológica La Salle.

Figura 3.16. (dcha.) Vista exterior Parque de Innovación Tecnológica La Salle.

*Solar Decathlon, Universidad de Stuttgart (2010)*⁸

En la competición Solar Decathlon se da gran importancia a la creación de edificios sostenibles que cuenten con integración de energías renovables.

En este ejemplo, la propuesta de la Universidad de Stuttgart en 2010, se utilizaron módulos de silicio policristalino verde. Como ya se ha mencionado anteriormente, los módulos de silicio policristalino son de color azul, pero hoy en día existen distintos acabados para este tipo de células como se puede observar en la figura 3.19.



Figura 3.17. (izq.) Detalle células fotovoltaicas policristalinas verdes Solar Decathlon.

Figura 3.18. (centro) Vista exterior Solar Decathlon.

Figura 3.19. (dcha.) Posibles acabados de células de silicio policristalino.



3.3. Integración en fachada

La integración de placas fotovoltaicas en edificios es lo que se conoce como BIPV (*Building Integration of Photovoltaics*). Con dicha integración lo que se pretende es que los módulos fotovoltaicos sustituyan partes del cerramiento de los edificios (en fachada o cubierta) y que funcionen como material envolvente y generador de energía a la vez.⁹

6. Fernández y Martín, *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura*, 107-109.

8. Benito Lauret Aguirregabiria, *Envolventes sostenibles: módulos 5 y 6* (Madrid: 2021), 211.

9. B. Petter, C. Breivik y H. Drolsum, «Building integrated photovoltaic products», *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 100 (2012): 69-96.

Actualmente existen distintas tecnologías que facilitan a los arquitectos integrar estos sistemas en sus diseños sin alterar la imagen final de sus proyectos. Para ello, existen dos grandes campos para la integración: edificios con tecnologías transparentes y edificios con tecnologías opacas.

Edificios con tecnologías transparentes ⁹

Estos sistemas son los que se conocen como módulos fotovoltaicos de lámina delgada o *thin film*. La ventaja de estas láminas es que su resultado es transparente y ofrecen una amplia variedad de colores y su precio es más reducido que el de otras soluciones. A pesar de ello, el inconveniente es que su producción de energía es más reducida que la de otras soluciones con placas fotovoltaicas convencionales.

Dentro de las láminas delgadas se pueden diferenciar los siguientes tipos:

Silicio amorfo

Estas células se pueden considerar como las fotovoltaicas de lámina delgada de referencia y su origen se remonta a los años 1970-1980. ¹⁰ Están compuestas por una fina capa de silicio no cristalizado, por este motivo, su producción es más reducida. La eficiencia de estas células se encuentra entre el 4 y 10%.

Teluro de Cadmio (CdTe)

Este tipo es el que presenta un coste más bajo dentro de las células de lámina delgada. Su eficiencia está en torno al 9 y 13%. El color de estas células está entre el verde oscuro y el negro.

Seleniuro de cobre e indio (CIS) y seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS)

En el campo de las láminas delgadas, este tipo de células es de los más efectivos, con una eficiencia del 13%. El color de este tipo está entre el gris oscuro y el negro.

Figura 3.20. (izq.) Vista interior SwissTech Convention Center con fotovoltaicas de lámina delgada.



Figura 3.21. (dcha.) Vista exterior SwissTech Convention Center, Richter Dahl Rocha & Associés.



Además de las láminas delgadas, se puede conseguir cierto grado de transparencia en un vidrio fotovoltaico con silicio cristalino mediante la separación de las células. Este procedimiento es el que sigue, por ejemplo, la empresa Onyx Solar.

9. Petter, Breivik y Drolsum, «Building integrated photovoltaic products», 69-96.

10. Armin G. Aberle, «Thin-film solar cells», *Thin Solid Films*, 517, nº 17 (2009): 4706

Esta empresa ha desarrollado un vidrio fotovoltaico semitransparente de colores en el que, dependiendo de la cara del vidrio que se vea, el color se aprecia de manera distinta.¹¹ En las siguientes imágenes se puede observar una misma muestra de este vidrio fotovoltaico por ambas caras. En una de ellas, se observan las líneas del material fotovoltaico de color negro mientras que, en la otra, el color es blanco.



Figura 3.22. (izq.) Muestra de vidrio fotovoltaico, cara delantera de Onyx Solar.

Figura 3.23. (dcha.) Muestra de vidrio fotovoltaico, cara interior de Onyx Solar.

Onyx Solar ha llevado a cabo diferentes proyectos con el sistema explicado, pero cabe destacar la rehabilitación del edificio Beit Havered en Tel Aviv, Israel. El objetivo de dicha rehabilitación era conseguir que se convirtiera en un edificio net zero energy. Por esa razón, este proyecto cuenta con 242 unidades de vidrio fotovoltaico en fachada. Para conseguir la apariencia blanca que caracteriza el edificio, se ha utilizado una impresión digital en blanco que facilita la ocultación de las células fotovoltaicas.¹¹



Figura 3.24. Edificio Beit Havered (Israel) con integración de fotovoltaicas en fachada con impresión cerámica blanca.

Edificios con tecnologías opacas

Dentro de este campo existen distintos sistemas que se muestran a continuación.

11. ONYX SOLAR, consultado el 22.05.2023, <https://onyxsolar.es/>

*Sistema Solarskin (Sistine Solar)*¹²

Este sistema consiste en una lámina adhesiva que se coloca encima de un módulo fotovoltaico convencional, ya sea de silicio monocristalino o policristalino. De esta manera, se puede transformar su imagen con cualquier patrón deseado.

Figura 3.25. (izq.) Esquema sistema Solarskin.

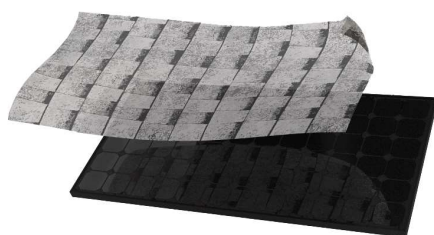


Figura 3.26. (dcha.) Ejemplo de aplicación sistema Solarskin.

*Sistema Kromatix (Lledó)*¹³

Esta tecnología utiliza placas fotovoltaicas tradicionales sobre las que se coloca un vidrio opaco coloreado. Ofrece distintos colores de acabado, la diferencia entre cada color reside en que cada uno tiene un valor de transmitancia solar. Para conocer más datos sobre la transmitancia y otras características de esta solución, consultar la ficha técnica del producto en el Anexo I.

Figura 3.27. (izq.) Esquema sistema Kromatix.

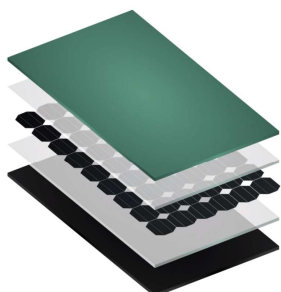


Figura 3.28. (dcha.) Ejemplo de aplicación sistema Kromatix, Red River College, Diamond Schmitt Architects.

*Sistema Aesthetic Energy Panels, AEP (HeliArtec)*¹⁴

Para este sistema se utiliza una placa fotovoltaica monocristalina sobre la que se coloca un vidrio templado serigrafado. Gracias a la serigrafía se puede realizar cualquier diseño, por ejemplo, se puede imitar la textura de un material tradicional. Con esta técnica, se facilita la integración u ocultación de las fotovoltaicas en la envolvente del edificio.

12. SISTINE SOLAR, consultado el 05.04.2023, <https://www.sistinesolar.com/technology>

13. KROMATIX, consultado el 05.04.2023, <https://kromatix.com/technology>

14. HELIARTEC, consultado el 05.04.2023, <https://www.hs-pixasolar.com/>

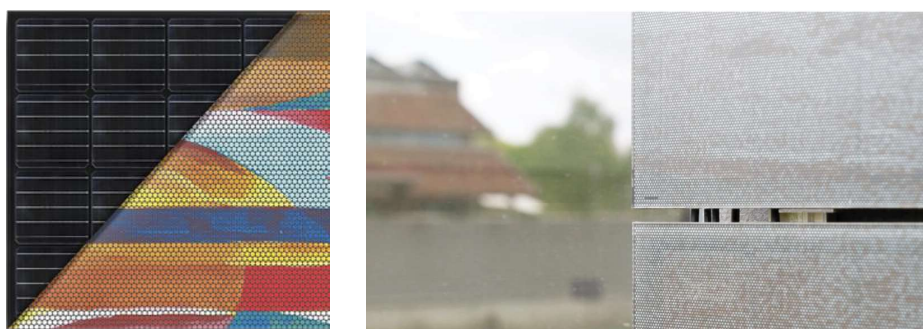


Figura 3.29. (izq. sup.) Esquema sistema AEP.

Figura 3.31. (dcha. sup.) Ejemplo de aplicación sistema AEP.

Figura 3.30. (debajo) Detalle serigrafía ejemplo de aplicación AEP.

Fotovoltaicas blancas (Solaxess & Issol) ^{15, 16}

Para este sistema se utilizan células fotovoltaicas monocristalinas con un vidrio templado laminado sobre el que se coloca una lámina blanca. De esta manera se puede llegar a soluciones que imiten una fachada convencional, pero con fotovoltaicas integradas con un acabado blanco. Para conocer más datos técnicos de esta solución, consultar el Anexo II.

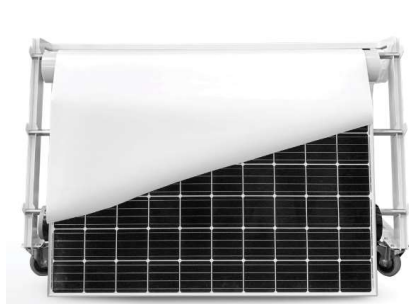


Figura 3.32. (izq.) Esquema sistema fotovoltaicas blancas.

Figura 3.33. (dcha.) Ejemplo de aplicación sistema fotovoltaicas blancas. Para conocer los datos técnicos de este proyecto, consultar el Anexo II.

15. ISSOL, consultado el 05.04.2023, http://www.issol.eu/wp-content/cache/page_enhanced/www.issol.eu/white-solar-panel/_index.html_gzip

16. SOLAXESS, consultado el 05.04.2023, <https://www.solaxess.ch/pan-neaux-photovoltaiques-pv/>

3.4. Posibilidades formales de integración

Existen proyectos de arquitectura que, a pesar de no integrar sistemas fotovoltaicos en sus cerramientos, han utilizado la técnica de la serigrafía. Hay proyectos que utilizan esta técnica en la totalidad de su envolvente mientras que otros, sólo en una parte de esta. A pesar de ello, en los todos proyectos que se muestran a continuación se podría plantear una posible integración de sistemas fotovoltaicos en fachada con las tecnologías explicadas anteriormente.

Oficinas AIC, Frank Gehry (Nueva York, 2007)

La envolvente de esta obra consiste en un muro cortina formado por 1450 paneles curvos, de los cuales, 1150 son únicos por la geometría del edificio.¹⁷ Lo característico de este edificio, además de su geometría, es la utilización de serigrafía en el vidrio. En este caso, la serigrafía de color blanco se va degradando hasta que el vidrio es totalmente transparente. Aunque este edificio no cuenta con paneles fotovoltaicos, en las partes en las que se ha hecho uso de la serigrafía se podrían incorporar módulos fotovoltaicos ya que esta técnica ayudaría a camuflarlos.



Figura 3.34. Vista exterior Oficinas AIC, Frank Gehry.

17. SINY, consultado el 19.02.2023, <https://siny.org/wp-content/uploads/2008/11/iacnhy.pdf>

Glass Farm, MVRDV (Países Bajos, 2013)

El cerramiento de este proyecto consiste en vidrio serigrafiado. Con esta técnica se consigue reproducir el cerramiento del proyecto original gracias a las fotografías realizadas por el artista Frank van der Salm.¹⁸ A pesar de utilizar la serigrafía en toda la envolvente, se dejan zonas transparentes que hacen la función de ventanas. Las zonas serigrafiadas permiten el paso de la luz, aunque no permiten la visión del interior al exterior. Es precisamente en estas zonas en las que sería posible integrar placas fotovoltaicas sin alterar la imagen exterior del edificio.



Figura 3.35. Vista exterior
Glass Farm, MVRDV.

Biblioteca Oodi, ALA Architects (Helsinki, 2018)

El cerramiento de esta biblioteca es de triple vidrio. La parte superior del proyecto corresponde a una sala de lectura en la que el vidrio está serigrafiado.¹⁹ En este caso, la imagen de los paneles se va degradando de blanco hasta la transparencia gracias a un patrón de puntos blancos. Esta imagen ayudaría a ocultar los paneles fotovoltaicos que se podrían integrar en el proyecto.



Figura 3.36. Vista exterior
Biblioteca Oodi, ALA Architects.

18. ARQUITECTURA VIVA, consultado el 15.05.2023, <https://arquitecturaviva.com/obras/granja-de-vidrio>

19. GLASTORY, consultado el 21.02.2023, <https://www.glastory.net/leading-edge-design-for-a-new-living-library-in-helsinki/>.

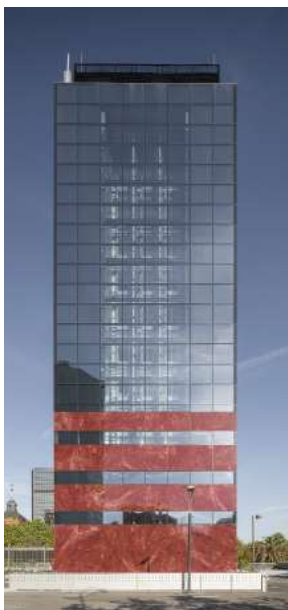


Figura 3.37. Vista exterior
Complejo Triada, Ruiz
Barbarín Arquitectos.

Complejo Triada, Ruiz Barbarín Arquitectos (Madrid, 2022)

El proyecto original pertenece a Sáenz de Oiza. La nueva envolvente tras la rehabilitación, llevada a cabo por Ruiz Barbarín Arquitectos, consiste en un muro cortina. Lo característico de esta nueva envolvente es la aparición de vidrios serigrafados en la parte inferior de la misma. En concreto, para este revestimiento se ha utilizado el sistema Rocalux, de la empresa Tvitec. Este sistema se dedica a la serigrafía del vidrio obteniendo acabados que simulan, fundamentalmente, la apariencia de una piedra natural²⁰, como es el caso de este proyecto. A pesar de no contar con integración de paneles fotovoltaicos, gracias al uso de la serigrafía sería posible su integración sin modificar la imagen del edificio.

Otros motivos formales posibles

Biblioteca Central de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Juan O'Gorman (México, 1956)

Esta biblioteca, al igual que el resto del Campus central de la Ciudad Universitaria de esta universidad, es un edificio protegido por la UNESCO desde el año 2007.²¹ El acabado de este proyecto es pétreo y no cuenta con ninguna de las técnicas ya mencionadas. A pesar de ello, es un claro ejemplo de la imagen final que se podría llegar a obtener gracias a la serigrafía. Con la serigrafía se puede replicar el acabado de este proyecto o similares incorporando fotovoltaicas sin alterar la imagen exterior del proyecto.



Figura 3.38. Vista exterior
Biblioteca UNAM.

20. TVITEC, consultado el 20.02.2023, <https://tvitecglass.com/producto/rocalux/>

21. UNESCO, consultado el 08.03.2023, <https://whc.unesco.org/es/list/>

4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Integración de fotovoltaicas en fachada

Como ya se ha mencionado, los módulos fotovoltaicos que están perfectamente integrados en el edificio funcionando como una parte más del cerramiento y, además, generando energía, es lo que se conoce como *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV).

Figura 4.1. (izq.) Detalle de fachada BIPV. Wohnhaus Solaris, Huggenbergerfries Architekten.



Figura 4.2. (dcha.) Vista exterior fachada BIPV. Wohnhaus Solaris, Huggenbergerfries Architekten.



Es cierto que una fachada no es la ubicación idónea para la instalación de un panel solar, ya que este es entre un 20 y 30% menos eficiente que uno situado en cubierta.¹ No obstante, la fachada ofrece una superficie mucho mayor que una cubierta, lo que se traduce en una mayor superficie generadora de energía.

Además, combinando la integración de fotovoltaicas en fachada y cubierta se podría llegar a aumentar el tiempo de producción de energía solar, ya que, a lo largo del día, la mayor altitud del sol favorece a las instalaciones de cubierta y las más bajas, a las de fachadas.²

A continuación, se muestra una tabla que compara los costes de una fachada tradicional y una fachada BIPV a lo largo de 25 años.

Figura 4.3. Tabla comparativa de los costes de una fachada tradicional frente a una fachada BIPV.

DATOS Y COSTES	FACHADA TRADICIONAL	FACHADA BIPV
Superficie de fachada (m ²)	150	150
Precio fachada (€/m ²)	612,85	1062,96
Suministro y colocación	91927,5	159444
Planificación	10300	15450
Mantenimiento	61800	20600
Producción de electricidad	0	-77044
Subvención federal (Suiza)	0	-13081
Coste total en 25 años	164027,5	105369

1. SONNENALLEE, consultado el 25.05.2023, <https://sonnenallee.sma.de/en/climate-change/solar-facades/#top>

2. Sara Teixeira, «Photovoltaic Potential in Building Façades» (Tesis doctoral, Universidad de Lisboa, 2018), 7.

Como se puede observar en la tabla, el utilizar una fachada con módulos fotovoltaicos integrados supone un ahorro de 56.950 euros frente al uso de una fachada convencional.³ Además, la inversión inicial que hay que hacer en una fachada BIPV se amortiza a lo largo de los años, al contrario de lo que ocurre con una tradicional.

Comparación de datos

Tras una búsqueda de productos comerciales que oculten o disimulen las placas fotovoltaicas integradas en las fachadas, se puede afirmar que existen productos que faciliten dicha ocultación. Por una parte, se han encontrado productos de lo que se ha clasificado como tecnologías transparentes, con una producción considerablemente menor, y tecnologías opacas, en las que se va a centrar este trabajo ya que se quiere estudiar la posibilidad de integración en las partes opacas de los edificios.

Estas tecnologías opacas se basan en la utilización de un módulo fotovoltaico de silicio cristalino sobre el que se aplican distintas técnicas para conseguir su ocultación. Dependiendo del módulo utilizado, las características de cada solución variarán.

A continuación, se muestra una tabla comparativa de los diferentes tipos de células fotovoltaicas donde se han diferenciado especificaciones técnicas y parámetros de integración. A pesar de haber descartado para el trabajo las de lámina delgada, se incluyen en la tabla para tener una visión global de todos los tipos de células.

		Silicio cristalino		Lámina delgada		
		Monocristalinas	Policristalinas	Silicio amorfo	CdTe	CIS & CIGS
Especificaciones técnicas fotovoltaicas	Eficiencia (%)	16 - 24	14 - 18	4 - 10	9,4 - 13,8	11 - 13
	Producción (Wp/m ²)	180	150	40	-	-
	Durabilidad ⁴	80% en 25 años	80% en 25 años	80% en 25 años	80% en 25 años	80% en 25 años
	Precio	Alto	Alto-Medio	Medio	Bajo	Medio-Bajo
Integración	Color	Negro y azul	Negro, gris, rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta	Rojo-marrón y translúcido	Negro y verde oscuro	Negro, gris, rojo-marrón, amarillo, verde y azul
	Nivel de integración	Posibilidad BIPV	Posibilidad BIPV	Alto	Alto	Alto

Figura 4.4. Tabla comparativa de los tipos de células fotovoltaicas.

Una vez sabido esto, es importante conocer las características técnicas que ofrece cada sistema de las tecnologías opacas. Para ello se ha realizado otra tabla comparativa con campos similares a los mencionados anteriormente:

Especificaciones técnicas

En este campo se indica si los sistemas son patentes o productos comerciales y el tipo de células fotovoltaicas con los que son compatibles.

Especificaciones técnicas fotovoltaicas

En este apartado se tienen en cuenta los parámetros básicos, es decir, la eficiencia y la producción eléctrica, así como la durabilidad y el precio de cada sistema.

3. Oficina Federal de la Energía de Suiza, *Photovoltaïque intégré: guide pratique pour les maîtres d'ouvrage* (Bern, 2021), 13.

4. D. A. HARDY; et al. «The search for Building-Integrated PV Materials with Good Aesthetic Potential», *Photovoltaic Science Applications and Technology Conference*, Edimburgo, 2011.

Integración

En esta sección se muestran tanto la variedad de colores que ofrece cada fabricante, como el nivel de integración de cada tecnología.

		Tecnologías opacas			
		Solarskin (Sistine Solar)	Kromatix (Lledó)	AEP (HeliArtec)	Blancas (Solaxess & Issol)
Especificaciones técnicas	Estado de desarrollo	Producto comercial	Producto comercial	Producto comercial	Producto comercial
	Tipo de célula fotovoltaica	Cualquiera	Silicio monocristalino	Silicio monocristalino	Silicio monocristalino
Especificaciones técnicas fotovoltaicas	Eficiencia (%)	-	14,9 - 16,4	-	-
	Producción (Wp/m ²)	-	175 - 193	75 - 170	106 - 142
	Durabilidad	Baja	Alta	Media	Media
	Precio	Gama baja	Gama alta	Gama media	Gama media
Integración	Color	Cualquier diseño	Monocromo	Cualquier diseño	Blanco
	Nivel de integración	Alto	Alto	Alto	Alto

Figura 4.5. Tabla comparativa de tecnologías opacas que facilitan la integración de fotovoltaicas.

El principal objetivo a la hora de instalar sistemas fotovoltaicos es conocer sus niveles de producción eléctrica. Por ese motivo, la primera diferencia a destacar entre los cuatro sistemas es la diferencia de producción entre ellos. Como se puede observar en la tabla anterior, se pueden agrupar en tres tipos.

En primer lugar, desde el punto de vista técnico, el que mayor producción presenta es el sistema Kromatix, seguido de los sistemas Aesthetic Energy Panels (AEP) y fotovoltaicas blancas. Este valor va a repercutir en la durabilidad y el precio de estos productos, siendo el de mayor producción el de mayor coste.

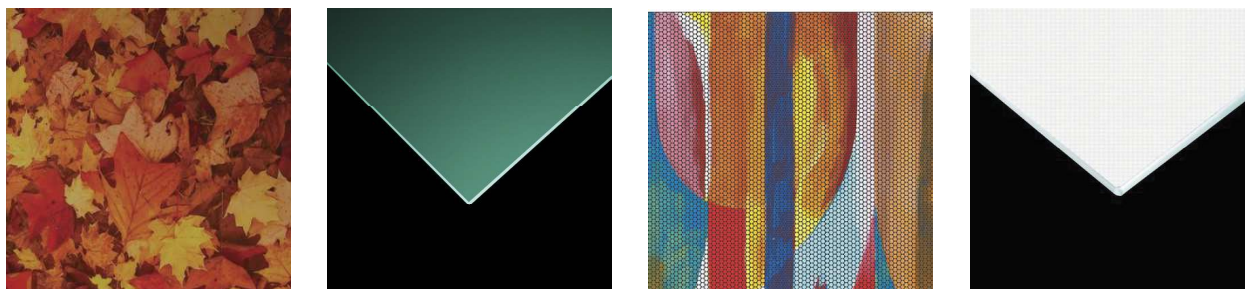
Además de las características técnicas, también hay que tener en cuenta la parte estética de cada solución. Para poder llegar a una integración favorable, es fundamental encontrar el equilibrio entre la producción y la estética final. Por este motivo, hay que analizar los acabados que ofrece cada una de las tecnologías comparadas. A pesar de haber visto que Kromatix es la de mayor producción, ofrece una serie de acabados monocromo, frente a la libertad de que ofrecen las opciones de Solarskin y Aesthetic Energy Panels (AEP), que son capaces de reproducir cualquier diseño o patrón. A continuación, se pueden observar ejemplos de los acabados que ofrecen cada uno de los productos.

Figura 4.6. (izq.) Ejemplo de diseño de Solarskin (Sistine Solar).

Figura 4.7. (izq.-centro) Ejemplo de color de Kromatix (Lledó).

Figura 4.8. (centro-dcha.) Ejemplo de diseño de AEP (HeliArtec).

Figura 4.9. (dcha.) Ejemplo de acabado de fotovoltaicas blancas de (Issol & Solaxess).



Tras haber hecho la comparación de los distintos sistemas y teniendo en cuenta aspectos como la producción, durabilidad y precio, se propone la clasificación de estos sistemas en tres tipos: vidrios especiales (como Kromatix), serigrafía (como Aesthetic Energy Panels) y láminas adhesivas (como Solarskin).

Como ya se ha visto, los vidrios especiales son los de mayor durabilidad y, por lo tanto, los de mayor coste. En el otro extremo, se encuentran las láminas adhesivas, de menor durabilidad, pero más económicas. En el punto medio se podría decir que se encuentra la serigrafía, con una durabilidad y un coste medio. Por este motivo, de aquí en adelante este trabajo se va a centrar en el estudio de la serigrafía, siendo esta la que mayores posibilidades de diseño ofrece.

Serigrafía

La integración de fotovoltaicas en los edificios se puede dar, en parte, gracias a las características que se pueden variar en un módulo fotovoltaico. Se pueden variar su dimensión y forma, además de elegir el tipo de células fotovoltaicas que va a tener, así como su disposición y el color de las mismas.⁵

Además de esas posibilidades, lo que interesa para este trabajo es la personalización de la capa exterior del vidrio fotovoltaico. Para lograr la estética deseada que se adapte a las necesidades de cada proyecto, se puede modificar tanto la textura del vidrio, como la imagen mediante la técnica de la serigrafía.



Figura 4.10. (izq.) Vidrio transparente (Sunovation).

Figura 4.11. (centro) Vidrio mate (Sunovation).

Figura 4.12. (dcha.) Vidrio texturizado (Sunovation).

La técnica de la serigrafía consiste en la impresión de cualquier diseño por medio de una tinta cerámica sobre la superficie de un vidrio laminado templado, de tal forma que la pintura se adhiere al vidrio y funcionan como una única pieza.

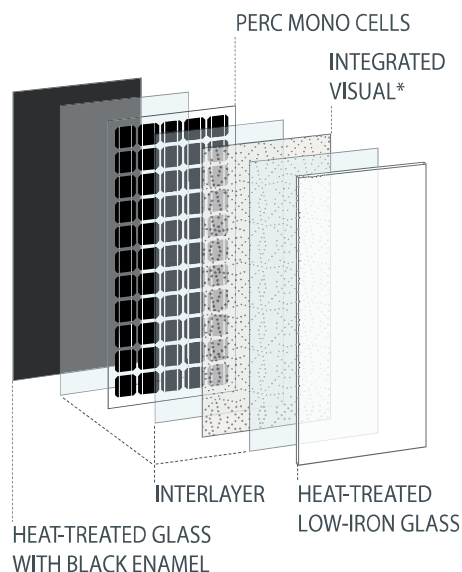


Figura 4.13. Axonometría de un vidrio fotovoltaico con serigrafía.

5. Ignacio Fernández y Nuria Martín, *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura* (Barcelona: Reverté, 2007), 40.

Como ya se ha comentado, una de las grandes ventajas que tiene la serigrafía es la amplia variedad de soluciones que ofrece. Al tratarse en una técnica basada en la impresión, es capaz de llegar a reproducir cualquier acabado que se imagine, desde un color hasta patrones abstractos o patrones que simulen el acabado de un material natural. Con esta gama de acabados, esta técnica se puede llegar a adaptar a cualquier tipo de arquitectura, desde un proyecto de carácter singular hasta la rehabilitación de un edificio ya existente.

Figura 4.14. (izq.) Ejemplo de diseño de serigrafía de color (HeliArtec).

Figura 4.15. (centro) Ejemplo de diseño de serigrafía de madera (HeliArtec).

Figura 4.16. (dcha.) Ejemplo de diseño de serigrafía de patrón abstracto (HeliArtec).



Hay que tener en cuenta que al interponer una capa de serigrafía entre el vidrio y las células fotovoltaicas habrá cierta pérdida de eficiencia del mismo. Por este motivo, es fundamental encontrar el equilibrio entre la parte técnica (la producción y eficiencia de los módulos) y la parte estética (la imagen final que vaya a tener el edificio). Para que llegue la radiación solar a los paneles fotovoltaicos y conseguir una eficiencia aceptable, se pueden modificar tanto los niveles de densidad como los de transparencia de la serigrafía.

Con diferentes niveles de densidad de serigrafía, una misma imagen se puede percibir de una forma distinta, tal y como se puede observar en la siguiente figura.

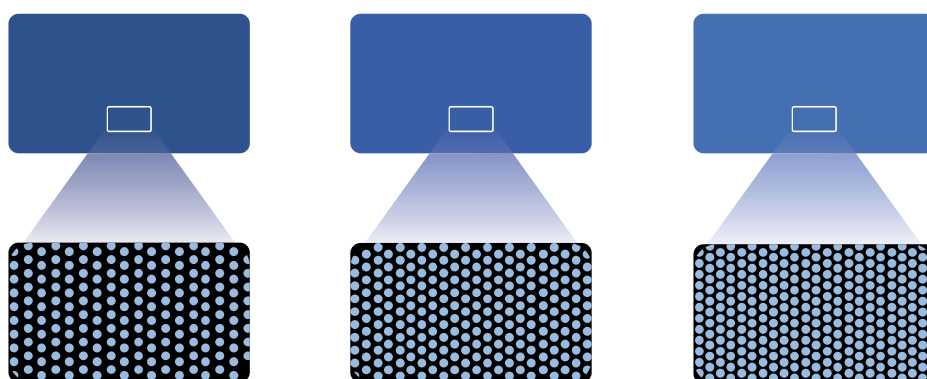


Figura 4.17. Diferentes densidades de puntos con una imagen final distinta.

Hay fabricantes, como es el caso de Solar Visuals, que tienen sistemas de rasterización patentados para, una vez decidido el diseño, convertirlo en una retícula de puntos y poder crear patrones para su posterior impresión. Este fabricante en concreto, ha desarrollado tres tipos de patrones diferentes: patrón ortogonal

(*rectangular pattern*), patrón estrella (*star pattern*) y patrón radial (*radial pattern*).⁶

Estos patrones se pueden observar en la siguiente imagen.

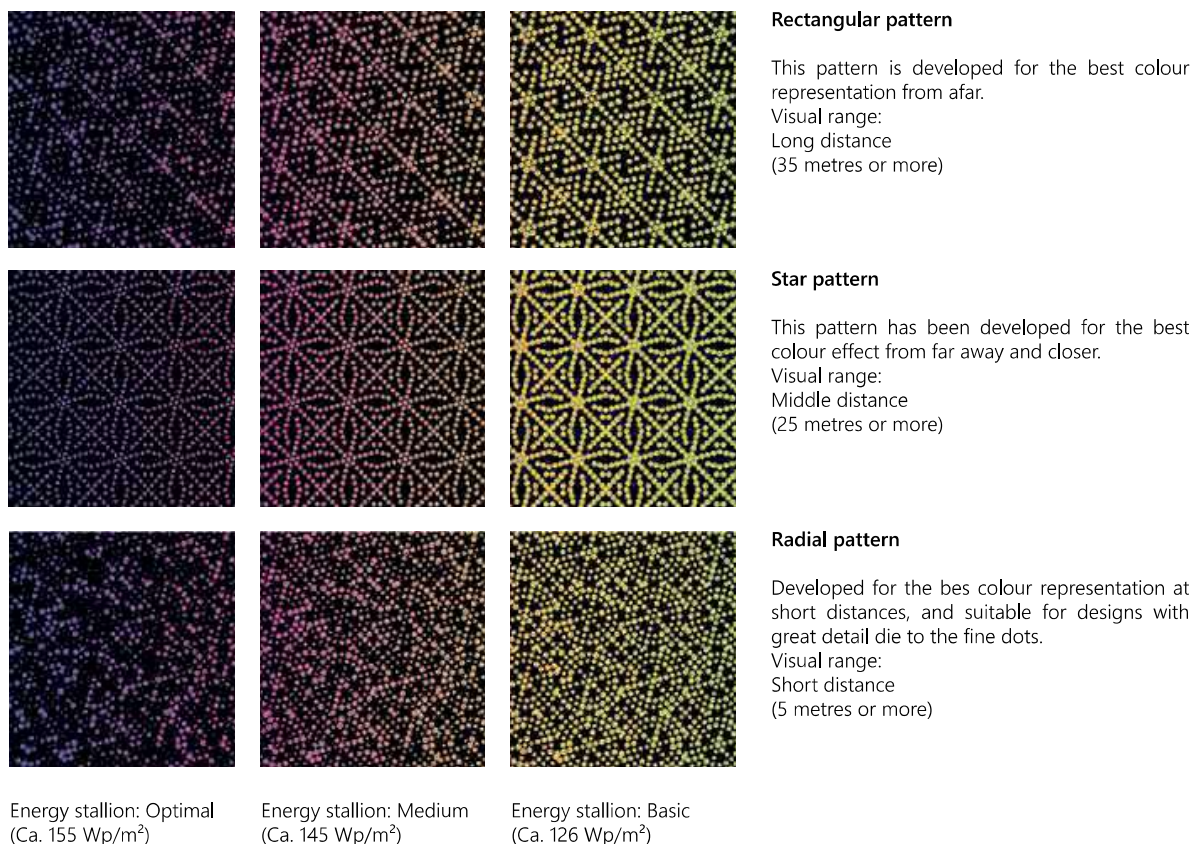


Figura 4.18. Patrones de puntos de serigrafía, Solar Visuals.

En la imagen se pueden observar los tres patrones mencionados. El cambio del nivel de densidad, además de alterar la imagen final, influye también en la producción de energía. Con una menor densidad, se puede obtener un nivel de producción óptimo (155 Wp/m^2), mientras que, con una mayor densidad, el nivel de producción será básico (126 Wp/m^2). Se han conseguido valores de eficiencia del 90% en un panel impreso con una densidad del 20% gracias a la técnica explicada.⁶

Otro aspecto a tener en cuenta, del que todavía no se ha mencionado nada, es la distancia desde la que se observa el edificio. Dentro de los tres patrones diferenciados, cada uno está pensado para una distancia distinta. El patrón ortogonal, está pensado para verlo desde una distancia de 35 metros, el estrella, desde 25 metros y el radial, desde 5 metros.⁶

En un principio la idea de dividir la imagen original en un patrón formado por puntos puede dar la sensación de disgregar dicho diseño. A pesar de ello, un edificio se suele observar desde una distancia media-larga, por lo que, a pesar de estar formado por puntos, la imagen va a seguir siendo homogénea.

6. Solar Visuals, consultado el 13.05.2023, <https://www.solarvisuals.nl/products/>

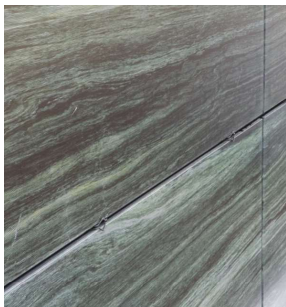


Figura 4.19. (encima) *Detalle de serigrafía de vidrio fotovoltaico, Sauna House (HeliArtec).*



Figura 4.20. (dcha.) *Vista exterior, Sauna House (HeliArtec).*

Un reciente ejemplo de la aplicación de los paneles de Solar Visuals es el proyecto Tours Duo del arquitecto Jean Nouvel, ubicado en la ciudad de París. Este proyecto consiste en dos torres con una superficie de fachada de 1500 m². Los paneles elegidos para este proyecto tienen un acabado dorado que se ha conseguido mediante el patrón de estrella. Hay un total de 825 paneles repartidos por las diferentes fachadas y cada uno de ellos tiene una potencia de 250 Wp. Como ya se ha mencionado anteriormente, el patrón de estrella es visible desde una distancia cercana al edificio, pero desde una distancia más alejada, la imagen que ofrece es la de una fachada homogénea.⁶



Figura 4.21. (encima) *Detalle de fachada de Tours Duo, Jean Nouvel.*

Figura 4.22. (dcha.) *Vista exterior de Tours Duo, Jean Nouvel.*



Como se mencionaba al principio, una de las características que se puede variar para la personalización de la capa exterior del vidrio fotovoltaico es, precisamente, la textura de este vidrio exterior. En la figura se pueden observar dos mues-

6. Solar Visuals.

tras de serigrafía, ambas con una densidad del 45% de impresión.⁷ A la izquierda se encuentra la muestra con vidrio transparente y, a la derecha, con vidrio texturizado. Esta diferencia da un campo más de libertad a la hora de integrarlo en un proyecto según las necesidades que requiera.



Figura 4.23. Comparación del acabado de una serigrafía en vidrio transparente (izq.) y vidrio texturizado (dcha.).

Ya se ha comentado la importancia de controlar el nivel de densidad, ya que va a repercutir tanto en la eficiencia de los módulos como en la estética final. En la siguiente imagen se puede observar claramente la diferencia de acabado que se obtiene modificando los valores de densidad de impresión desde el 0% hasta el 45%,⁶ proporcionando una imagen más real de los ladrillos que simulan esta última.

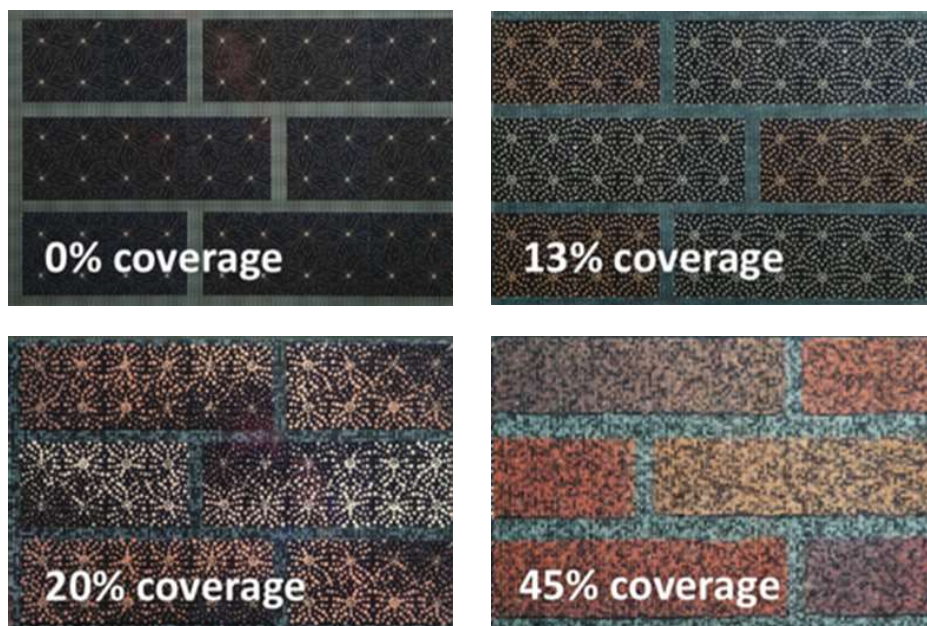


Figura 4.24. Comparación de un mismo diseño de serigrafía con distintas densidades de puntos.

Viendo esta importancia del estudio de la trama y la densidad adecuada a la hora de utilizar la técnica de la serigrafía, parece necesario un estudio más profundo para llegar al equilibrio adecuado entre estética y producción ya comentado.

Existe ya algún estudio que trata este tema y que ha investigado tanto sobre la transparencia de la serigrafía como de la producción que se obtiene dependiendo de los colores utilizados en la imagen.

6. Solar Visuals.

7. L.H. Slooff; et al. «An architectural approach for improving aesthetics of PV», *European PV Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC*, Amsterdam, 2017.

La primera solución que se podría plantear para mejorar la producción podría ser aumentar la transparencia de la serigrafía, pero esto afectaría a la imagen de esta. En la *European PV Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC* se afirmó que se consiguió mejorar la eficiencia de un panel de una densidad del 45%. Sus pérdidas iniciales eran de un 25%, frente a un 7% de pérdidas tras haber aumentado la transparencia.⁷

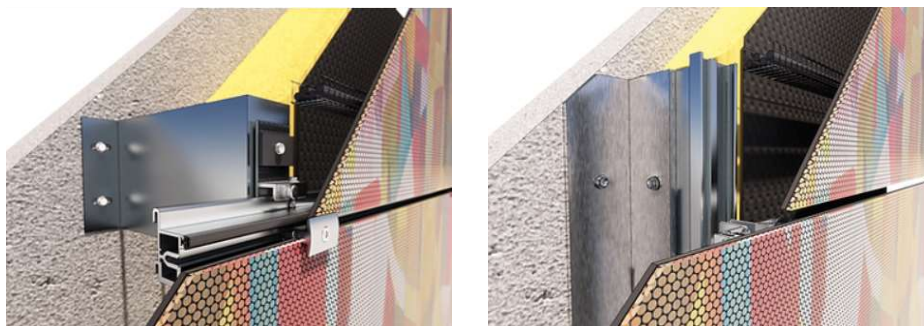
Como la serigrafía se basa en la impresión de color sobre una superficie, los colores base con los que se trabaja son: amarillo, cian, magenta y blanco. Para conocer los niveles de producción y pérdidas de cada una de las soluciones en las que se utiliza la técnica de la serigrafía, realizaron pruebas con impresiones monocromáticas. De esta forma llegaron a la conclusión de que el color que presentaba una menor pérdida era el blanco, seguido del amarillo, magenta y, por último, el que tenía una mayor pérdida era el cian.⁷

De esta forma, se puede afirmar que la serigrafía facilita la integración de fotovoltaicas en fachada debido a sus amplias posibilidades. No obstante, hay que tener en cuenta que son muchos los factores que influyen en la producción de los módulos que ocultan, como la densidad de puntos o la transparencia de la serigrafía.

Por último, pensando siempre en la estética final de las soluciones utilizadas, es muy importante tener en cuenta la colocación de estos productos en la fachada. Para ello existen dos métodos: fijación vista y fijación oculta. La segunda es preferible para casos en los que la fachada debe dar una imagen más homogénea y no debe haber obstáculos que alteren dicha homogeneidad.

Figura 4.25. (izq.) Fijación vista de un panel de fachada ventilada (HeliArtec).

Figura 4.26. (dcha.) Fijación oculta de un panel de fachada ventilada (HeliArtec).



4.2. Arquitectura de autor

Los proyectos que se muestran a continuación, como ya se ha explicado en el anterior capítulo, no constan de sistemas fotovoltaicos integrados. A pesar de ello, todos tienen en común el uso de la técnica de la serigrafía en su envolvente.

Oficinas AIC, Frank Gehry (Nueva York, 2007)

El cerramiento de este edificio consiste en un muro cortina con serigrafía. En este caso, la serigrafía se utiliza a lo largo de toda la fachada, pero dejando zonas totalmente transparentes para permitir la visión del interior hacia el exterior. La transición de las zonas con serigrafía a las zonas transparentes de los paneles de vidrio se logra variando la transparencia de la tinta cerámica.

A pesar de no contar con paneles fotovoltaicos integrados, gracias a la técnica utilizada en la envolvente sería posible ocultar dichos paneles. Además, la tin-

7. Slooff; et al. «An architectural approach for improvid aesthetics of PV»

ta blanca de la serigrafía es uno de los colores que menores pérdidas de producción presenta.⁷



Figura 4.27. (encima) Detalle de serigrafía de la fachada de las Oficinas AIC, Frank Gehry.

Figura 4.28. (izq.) Vista exterior de la fachada de las Oficinas AIC, Frank Gehry.

Glass Farm, MVRDV (Países Bajos, 2013)

Para conseguir la imagen actual de este proyecto, se recurrió al artista Frank van der Salm. Este fotografió la arquitectura existente y, de esa manera, se pudieron reproducir esas imágenes, aumentadas 1.6 veces, en los 1.800 m² de vidrio que conforman la envolvente.⁸

La técnica utilizada para conseguir reproducir esa imagen en los paneles de vidrio es la serigrafía. La tinta de la serigrafía tiene cierto nivel de transparencia por lo que, a pesar de no permitir la visión entre el interior y el exterior en las zonas en las que está aplicada, sí que permite el paso de luz. Por este motivo, aunque habría que renunciar al paso de luz, con la integración de un sistema fotovoltaico no se alteraría la imagen exterior del proyecto y quedaría perfectamente oculto.

Figura 4.29. (debajo) Vista interior de la fachada de Glass Farm, MVRDV.

Figura 4.30. (izq.) Vista exterior de la fachada de Glass Farm, MVRDV.



7. Slooff; et al. «An architectural approach for improving aesthetics of PV»

8. ARQUITECTURA VIVA, consultado el 15.05.2023, <https://www.glastory.net/leading-edge-design-for-a-new-living-library-in-helsinki/>

Biblioteca Oodi, ALA Architects (Helsinki, 2018)

La serigrafía en este edificio sólo aparece en la parte superior de la fachada. En este proyecto, la imagen se va degradando gracias a un patrón de puntos impresos en las caras tanto interior como exterior del vidrio, así también se logra una sensación de profundidad.⁹

Figura 4.31. (debajo) *Detalle de la serigrafía de la fachada de la Biblioteca Oodi, ALA Architects.*

Figura 4.32. (dcha.) *Vista exterior de la Biblioteca Oodi, ALA Architects.*

*Complejo Triada, Ruiz Barbarín Arquitectos (Madrid, 2022)*

Este edificio utiliza el sistema Rocalux en su envolvente, simulando un acabado de piedra natural. A diferencia de los proyectos anteriores, en este, la serigrafía aparece tan sólo en la parte inferior del cerramiento. Para dar una mayor sensación de unidad en la envolvente, como el muro cortina tiene reflejos, se decide que los paneles serigrafados tengan un acabado brillo, aunque esto haga que se sepa que no es realmente una piedra natural.

Figura 4.33. (debajo) *Detalle de la serigrafía de la fachada del Complejo Triada, Ruiz Barbarín Arquitectos.*

Figura 4.34. (dcha.) *Vista exterior de la Biblioteca Oodi, ALA Architects.*

Este es un ejemplo más de arquitectura que ha conseguido integrar perfectamente la serigrafía en la fachada del edificio, pero que no cuenta con una instalación fotovoltaica. Si se integrara en las partes opacas que simulan la piedra natural, se conseguiría producir energía sin modificar su imagen.



9. GLASTORY, consultado el 21.02.2023, <https://www.glastory.net/leading-edge-design-for-a-new-living-library-in-helsinki/>

Otros motivos formales posibles

Biblioteca Central de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Juan O'Gorman (México, 1956)

Este ejemplo de un edificio protegido, como ya se ha comentado, tiene un acabado pétreo. A pesar de ello, su apariencia es un ejemplo de lo que se puede llegar a realizar gracias a técnicas como la serigrafía. Con esta técnica se puede simular el acabado de este proyecto o similares incorporando fotovoltaicas sin alterar la imagen exterior del proyecto. En este caso, si se quisiera replicar un acabado como el de la imagen, dentro de todas las posibilidades que ofrece dicha técnica, interesaría un acabado del vidrio exterior texturizado, para dar una apariencia mate y evitar de esa manera los reflejos del vidrio.



Figura 4.35. (encima) Detalle de la fachada pétreo de la Biblioteca de la UNAM.

Figura 4.36. (izq.) Vista exterior de la Biblioteca de la UNAM.

Visita Ramos

Para entender el proceso que conlleva la serigrafía, se ha realizado una visita a la empresa Ramos. Esta empresa se dedica al tratamiento del vidrio y a la serigrafía del mismo.

La serigrafía es una técnica que consiste en imprimir un diseño o patrón sobre un vidrio. La pintura o tinta que se utiliza en el proceso es tinta cerámica o, lo que también se conoce como frita de vidrio. Ramos, en concreto, trabaja con dos proveedores distintos: Ferro y Tecglass.

Para llevar a cabo una buena impresión, es fundamental controlar la cantidad de tinta que se utiliza, ya que la pintura estará más compacta en invierno y más líquida en verano. Por eso mismo, en esta empresa utilizan siempre un gramaje de unos 200 g/m².

Para obtener un vidrio serigrafado, el primer paso es tener un diseño que imprimir. Tal y como se ha ido explicando, en una imagen pueden variar la transparencia de la tinta, así como los patrones y densidades de estos.

Una vez que Ramos recibe una imagen, la imprimen sobre el vidrio con la impresora de gran escala que se puede observar en la figura 4.39.



Figura 4.37. (encima) Serigrafía con degradado de tinta blanca (Ramos).



Figura 4.38. (dcha.) Panel de vidrio con serigrafía recién impresa antes de ser templado (Ramos).

Tras imprimir el diseño, al ser una tinta basada en frita de vidrio, es necesario fijarla de algún modo al vidrio. En caso contrario, en este punto, la imagen se puede borrar fácilmente con pasar la mano. Por eso, el siguiente paso es el templado del vidrio, para que la tinta se adhiera al vidrio y ambos elementos sean un conjunto, asegurando una mayor durabilidad de la serigrafía. Además, con ese tratamiento se dota al vidrio de un mejor comportamiento frente a rotura.

En el templado del vidrio este se calienta a temperaturas muy altas, que pueden rondar los 800 °C, para su posterior enfriamiento. De esta manera se obtiene un vidrio templado con la serigrafía ya grabada en él.

Tras haber visto en primera persona el proceso que se lleva a cabo para conseguir un vidrio serigrafiado, se puede afirmar que este proceso es posible y funciona.



Figura 4.39. (izq.) Impresora a gran escala (Ramos).



Figura 4.40. (dcha.) Panel de vidrio con serigrafía recién impresa antes de ser templado (Ramos).

4.3. Ensayo producción fotovoltaica

Tras todo lo que se ha venido estudiando, se decide realizar un ensayo para comprobar la pérdida de producción a la que se somete una placa fotovoltaica al ponerle algún obstáculo delante para conseguir su ocultación.

Para este ensayo se ha utilizado una placa fotovoltaica de células de silicio policristalino de dimensiones 35,4 x 25,1 x 1,7 centímetros (cm), siendo su potencia máxima de 10 vatios (W). Para conocer en detalle todas las características técnicas del panel, consultar el Anexo III.

El material escogido para la ocultación del módulo es una cartulina de 35 x 25 cm. Dicha cartulina consta de un patrón de puntos de 2 milímetros (mm) con una separación entre ellos de 6 milímetros (cm), lo que hace que tenga un porcentaje de huecos de, aproximadamente, un 20%.

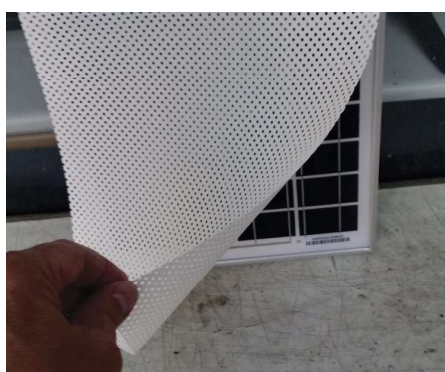
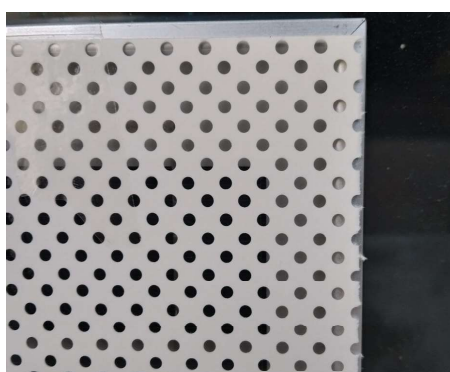


Figura 4.41. (izq.) Detalle de la cartulina utilizada.

Figura 4.42. (centro) Placa con cartulina superpuesta.

Figura 4.43. (dcha.) Placa de silicio policristalino utilizada en el ensayo.

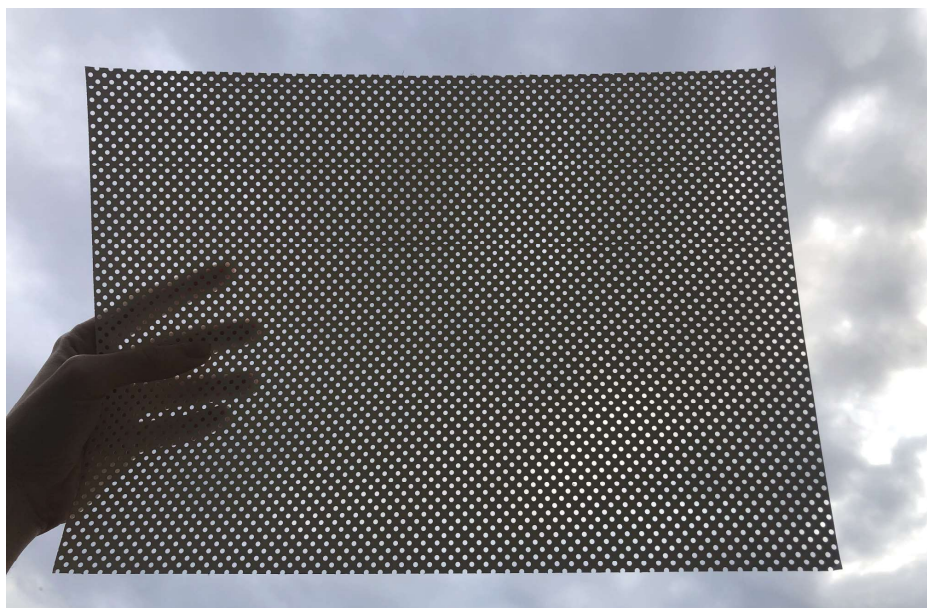


Figura 4.44. Cartulina utilizada en el ensayo.

En una primera parte, se realiza la medición de producción tan sólo de la fotovoltaica. Para ello se prepara un circuito en serie donde la potencia se mide a través de un amperímetro. El voltaje tras la medición es de 12 V y la intensidad, de 0,25 amperios (A). Multiplicando ambos números se obtiene una producción de 3W. Este resultado es coherente, ya que la potencia máxima de la placa era de 10 W. La carga para la prueba es un ventilador de ordenador de 12 V, por lo que la potencia consumida obedece a la potencia de carga.

A continuación, se realiza el mismo procedimiento, pero esta vez con la cartulina sobre la placa. En este caso, la producción obtenida es aproximadamente de 1,5 W.

Primera parte del ensayo: placa fotovoltaica sin cartulina superpuesta.



Figura 4.45. Ensayo con placa fotovoltaica en la primera parte.

Figura 4.46. Datos del amperímetro en la primera parte del ensayo.



Segunda parte del ensayo: placa fotovoltaica con cartulina superpuesta.

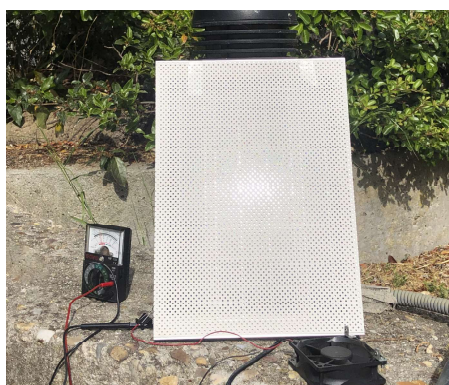


Figura 4.47. Ensayo con placa fotovoltaica en la segunda parte.

Figura 4.48. Datos del amperímetro en la segunda parte del ensayo.



El ensayo es significativo ya que se comparan dos situaciones prácticamente simultáneas en las que sólo cambia la cantidad de radiación solar incidente en la placa. Es relevante destacar que al reducir la radiación incidente al 20%, la potencia sólo se reduce en un 50%.

Gracias a la búsqueda llevada a cabo para este trabajo y el ensayo realizado, se puede confirmar que existe un nuevo camino para la integración de la energía fotovoltaica en fachadas mediante el uso de vidrio serigrafiado, en concreto, en las zonas opacas de las mismas. Además, los actuales sistemas de serigrafía digital proporcionan una gran libertad de diseño gracias a las amplias posibilidades de reproducir prácticamente cualquier imagen.

Con la incorporación de fotovoltaicas en fachada, también se puede llegar a solucionar el problema de los edificios de mediana y gran altura. La superficie de la cubierta de estos edificios no siempre es suficiente para una instalación fotovoltaica que sea capaz de suministrar al edificio por completo.

5 CONCLUSIONES

En las últimas décadas, ha aumentado considerablemente la utilización de la energía solar. Este aumento está relacionado con los bajos costes que ha alcanzado la instalación de sistemas fotovoltaicos. En un principio, el problema era el elevado coste de dichas instalaciones, pero con la bajada mencionada, ese problema ya no existe. Ahora el reto es conseguir integrar la generación de energía solar fotovoltaica en la arquitectura.

Por esa razón, este trabajo se ha centrado en la búsqueda de tecnologías basadas en el uso de vidrios fotovoltaicos que faciliten la integración de sistemas fotovoltaicos en fachada mejorando su estética final.

La primera conclusión a la que se ha llegado es que realmente existen productos comerciales que disimulan u ocultan la fotovoltaica en fachada.

En segundo lugar, dentro de los diferentes productos comerciales que ofrece el mercado, se puede hacer una clasificación según su coste. De mayor a menor coste, estas categorías son: vidrios especiales, serigrafía y láminas adhesivas.

La categoría de un coste más elevado, los vidrios especiales, presentan mejores niveles de producción y de durabilidad. En el otro extremo, se encuentran las láminas adhesivas. Estas ofrecen precios más económicos, pero esto se ve reflejado en una menor producción y durabilidad. Por lo tanto, se puede decir que el mejor balance calidad precio podría estar en la serigrafía. Además, esta última ofrece una mayor libertad de diseño gracias a la posibilidad de reproducir prácticamente cualquier diseño.

Dentro de la libertad de diseño que permite la técnica de la serigrafía, hay muchos factores que van a afectar al nivel de eficiencia y producción del módulo fotovoltaico. Por este motivo, ya se han realizado estudios sobre la densidad de tramados y producción fotovoltaica.

Además de existir estudios sobre las posibilidades de la serigrafía, ya existen ejemplos de serigrafía digital en fachada en edificios de autor, a pesar de no tener fotovoltaica. Esto marca una posible línea de trabajo en el uso de colores o texturas en serigrafía digital.

Conseguir integrar fotovoltaicas en fachada, puede solucionar también el problema de edificios de mediana y gran altura, ya que la superficie de cubierta de estos puede llegar a ser escasa para una instalación fotovoltaica.

Habiendo caracterizado los vidrios fotovoltaicos que facilitan la integración de fotovoltaicas en fachada y viendo el amplio campo que se abre con las diferentes posibilidades que da la serigrafía digital, propongo una posible línea de investigación en la definición de densidad de la serigrafía, calidad visual y producción fotovoltaica.

FUENTES

Bibliografía

- ABERLE, Armin G. "Thin-film solar cells". *Thin Solid Films* (Singapur), volumen 517, número 17, julio 2009, páginas 4706-4710.
- FERNÁNDEZ SOLLA, Ignacio y MARTÍN CHIVELET, Nuria. *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura: criterios de diseño y aplicaciones*. Barcelona: Editorial Reverté, 2007; 187 páginas.
- HARDY, D.A., KERROUCHE, A., ROAF, S.C. y RICHARDS, B.S. "The search for Building-Integrated PV Materials with Good Aesthetic Potential: A Survey". *PVSAT-7: 7th Photovoltaic Science, Applications and Technology Conference*. Edimburgo, 2011.
- LAURET AGUIRREGABIRIA, Benito. *Envolventes sostenibles: módulos 5 y 6*. Madrid: Máster en fachadas tecnológicas y envolventes sostenibles, 2021; 285 páginas.
- OFICINA FEDERAL DE LA ENERGÍA DE SUIZA. *Photovoltaïque intégrée: guide pratique pour les maîtres d'ouvrage*. Berna, 2021; 18 páginas.
- PETTER JELLE, Bjørn, BREIVIK, Christer y DROLSUM RØKENES, Hilde. "Building integrated photovoltaic products: A state-of-the-art review and future research opportunities". *Solar Energy Materials and Solar Cells* (Noruega), volumen 100, mayo 2012, páginas 69-96.
- SLOOFF, L.H.; et al. "An architectural approach for improving aesthetics of PV". *European PV Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC*. Amsterdam, 2017.
- TEIXEIRA FREITAS, Sara Regina. *Photovoltaic Potential in Building Façades*. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad de Lisboa, 2018.

Recursos digitales

ARQUITECTURA VIVA <<<https://arquitecturaviva.com/obras/granja-de-vidrio>>>

GLASTORY <<<https://www.glastory.net/leading-edge-design-for-a-new-living-library-in-helsinki/>>>

HELIARTEC <<<https://www.hs-pixasolar.com/>>>

ISSOL <<http://www.issol.eu/wp-content/cache/page_enhanced/www.issol.eu/white-solar-panel/_index.html_gzip>>

KROMATIX <<<https://kromatix.com/technology>>>

NATURPIEDRA <<<https://naturpietra.com/es/proyectos-singulares/edificio-eco-box-fundacion-metropoli/>>>

ONYXSOLAR <<<https://onyxsolar.es/>>>

OUR WORLD IN DATA <<<https://ourworldindata.org/>>>

SINY <<<https://siny.org/wp-content/uploads/2008/11/iacnhny.pdf>>>

SISTINE SOLAR <<<https://www.sistinesolar.com/technology>>>

SOLAR VISUALS <<<https://www.solarvisuals.nl/products/>>>

SOLAXESS <<<https://www.solaxess.ch/panneaux-photovoltaiques-pv/>>>

SONNENALLEE <<<https://sonnenallee.sma.de/en/climate-change/solar-facades/#top>>>

TVITEC <<<https://tvitecglass.com/producto/rocalux/>>>

UNESCO <<<https://whc.unesco.org/es/list/>>>

Procedencia de las ilustraciones

Cubierta. Tomado de <https://www.solarvisuals.nl/news/>; consultado el 21.05.2023.

- 3.1. Elaboración propia a partir de un original de <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series>; consultado el 20.02.2023
- 3.2. Tomado de <https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices>; consultado el 19.02.2023.
- 3.3. Tomado de <https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-cumulative-capacity>; consultado el 19.02.2023.
- 3.4. Elaboración propia a partir de un original tomado de Bjørn Petter Jelle, Christer Breivik y Hilde. Drolsum Røkenes. "Building integrated photovoltaic products: A state-of-the-art review and future research opportunities". *Solar Energy Materials and Solar Cells* (Noruega), volumen 100, mayo 2012, figura 1, página 71.
- 3.5. Tomado de Benito Lauret Aguirregabiria, *Envolventes sostenibles: módulos 5 y 6* (Madrid: Máster en fachadas tecnológicas y envolventes sostenibles, 2021), figura 13.3, página 194.
- 3.6. Tomado de Benito Lauret Aguirregabiria, *Envolventes sostenibles: módulos 5 y 6* (Madrid: Máster en fachadas tecnológicas y envolventes sostenibles, 2021), figura 13.3, página 194.
- 3.7. Tomado de Benito Lauret Aguirregabiria, *Envolventes sostenibles: módulos 5 y 6* (Madrid: Máster en fachadas tecnológicas y envolventes sostenibles, 2021), figura 13.3, página 194.
- 3.8. Tomado de <https://solarchitecture.ch/timeline/mont-cenis-academy/>; consultado el 20.03.2023.
- 3.9. Tomado de <https://maderayconstruccion.com/francia-pasado-presente-y-futuro-enmadera/>; consultado el 20.03.2023.
- 3.10. Tomado de <https://www.fmetropoli.org/en/cities-lab/architecture-design/ecobox/>; consultado el 20.03.2023.
- 3.11. Tomado de <https://www.fmetropoli.org/en/cities-lab/architecture-design/ecobox/>; consultado el 20.03.2023.
- 3.12. Tomado de Ignacio Fernández Solla y Nuria Martín Chivelet, *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura: criterios de diseño y aplicaciones* (Barcelona: Reverté, 2007), lámina V, página 21.
- 3.13. Tomado de Ignacio Fernández Solla y Nuria Martín Chivelet, *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura: criterios de diseño y aplicaciones* (Barcelona: Reverté, 2007), lámina V, página 21.
- 3.14. Tomado de Ignacio Fernández Solla y Nuria Martín Chivelet, *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura: criterios de diseño y aplicaciones* (Barcelona: Reverté, 2007), lámina V, página 21.
- 3.15. Tomado de Ignacio Fernández Solla y Nuria Martín Chivelet, *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura: criterios de diseño y aplicaciones* (Barcelona: Reverté, 2007), lámina IV.I, página 20.
- 3.16. Tomado de Ignacio Fernández Solla y Nuria Martín Chivelet, *La envolvente fotovoltaica en la arquitectura: criterios de diseño y aplicaciones* (Barcelona: Reverté, 2007), lámina IV.I, página 20.
- 3.17. Tomado de Benito Lauret Aguirregabiria, *Envolventes sostenibles: módulos 5 y 6* (Madrid: Máster en fachadas tecnológicas y envolventes sostenibles, 2021), figura 13.31, página 211.

- 3.18. Tomado de Benito Lauret Aguirregabiria, *Envolvertes sostenibles: módulos 5 y 6* (Madrid: Máster en fachadas tecnológicas y envolvertes sostenibles, 2021), figura 13.31, página 211.
- 3.19. Tomado de Benito Lauret Aguirregabiria, *Envolvertes sostenibles: módulos 5 y 6* (Madrid: Máster en fachadas tecnológicas y envolvertes sostenibles, 2021), figura 13.25, página 207.
- 3.20. Tomado de <https://rdrarchitectes.com/en/project/epfl-quartier-nord-swisstech-convention-center>; consultado el 19.02.2023.
- 3.21. Tomado de <https://rdrarchitectes.com/en/project/epfl-quartier-nord-swisstech-convention-center>; consultado el 19.02.2023.
- 3.22. Elaboración propia.
- 3.23. Elaboración propia.
- 3.24. Tomado de <https://onyxsolar.es/beit-havered-fotovoltaica-oculta>; consultado el 22.05.2023.
- 3.25. Tomado de <https://www.sistinesolar.com/post/brands-use-solarskin-to-achieve-sustainability-goals>; consultado el 05.04.2023.
- 3.26. Tomado de <https://www.sistinesolar.com/post/for-energy-installer-spotlight>; consultado el 05.04.2023.
- 3.27. Tomado de <https://kromatix.com/technology>; consultado el 05.04.2023.
- 3.28. Tomado de <https://kromatix.com/references>; consultado el 05.04.2023.
- 3.29. Tomado de <https://www.hs-pixasolar.com/design>; consultado el 05.04.2023.
- 3.30. Tomado de <https://www.hs-pixasolar.com/kamp-c>; consultado el 05.04.2023.
- 3.31. Tomado de <https://www.hs-pixasolar.com/kamp-c>; consultado el 05.04.2023.
- 3.32. Tomado de <https://www.solaxess.ch/la-societe-son-produit-fr/>; consultado el 05.04.2023.
- 3.33. Tomado de <https://www.solaxess.ch/panneaux-photovoltaiques-pv-donnees-techniques/>; consultado el 05.04.2023.
- 3.34. Tomado de <https://www.flickr.com/photos/64210496@N02/31050286725/>; consultado el 17.04.2023.
- 3.35. Tomado de <https://www.mvrdiv.nl/projects/119/glass-farm?photo=1727>; consultado el 17.04.2023.
- 3.36. Tomado de https://www.archdaily.cl/cl/923811/oodi-biblioteca-central-de-helsinki-ala-architects/5c33a61308a5e545f5000278-oodi-helsinki-central-library-ala-architects-photo?next_project=no; consultado el 17.04.2023.
- 3.37. Tomado de <https://tectonica.archi/articles/rocalux-by-tvitec-premio-al-producto-innovador-del-ano-por-el-grupo-castilla-y-leon-economica/>; consultado el 17.04.2023.
- 3.38. Tomado de https://www.archdaily.cl/cl/791017/clasicos-de-arquitectura-biblioteca-central-ciudad-universitaria-juan-ogorman/5f074123b35765a4c1000027-clasicos-de-arquitectura-biblioteca-central-ciudad-universitaria-juan-ogorman-foto?next_project=no; consultado el 17.04.2023.
- 4.1. Tomado de <https://hbf.ch/projekte/195-sees-solaris-zuerich>; consultado el 08.05.2023.
- 4.2. Tomado de <https://hbf.ch/projekte/195-sees-solaris-zuerich>; consultado el 08.05.2023.

- 4.3. Elaboración propia a partir de un original tomado de la Oficina Federal de la energía de Suiza. *Photovoltaïque intégré: guide pratique pour les maîtres d'ouvrage*. Berna, 2021, página 13.
- 4.4. Elaboración propia.
- 4.5. Elaboración propia.
- 4.6. Tomado de <https://www.sistinesolar.com/post/brands-use-solarskin-to-achieve-sustainability-goals>; consultado el 15.05.2023.
- 4.7. Tomado de <https://kromatix.com/kromatix-glass>; consultado el 15.05.2023.
- 4.8. Tomado de <https://www.hs-pixasolar.com/design>; consultado el 15.05.2023.
- 4.9. Tomado de http://www.issol.eu/wp-content/cache/page_enhanced/www.issol.eu/white-solar-panel/_index.html_gzip; consultado el 15.05.2023.
- 4.10. Tomado de <https://sunovation.de/en/products/bipv-glasses-175>; consultado el 15.05.2023.
- 4.11. Tomado de <https://sunovation.de/en/products/bipv-glasses-175>; consultado el 15.05.2023.
- 4.12. Tomado de <https://sunovation.de/en/products/bipv-glasses-175>; consultado el 15.05.2023.
- 4.13. Tomado de <https://www.solarvisuals.nl/sunewat/>; consultado el 16.05.2023.
- 4.14. Tomado de <https://www.hs-pixasolar.com/product-page/lemon-yellow>; consultado el 16.05.2023.
- 4.15. Tomado de <https://www.hs-pixasolar.com/product-page/peaceful-garden>; consultado el 16.05.2023.
- 4.16. Tomado de <https://www.hs-pixasolar.com/product-page/venation>; consultado el 16.05.2023.
- 4.17. Tomado de <https://www.hs-pixasolar.com/color>; consultado el 16.05.2023.
- 4.18. Tomado de <https://www.solarvisuals.nl/products/>; consultado el 16.05.2023.
- 4.19. Tomado de <https://www.hs-pixasolar.com/sauna-spa-one>; consultado el 20.05.2023.
- 4.20. Tomado de <https://www.hs-pixasolar.com/sauna-spa-one>; consultado el 20.05.2023.
- 4.21. Tomado de <https://www.archdaily.cl/cl/988727/tours-duo-de-ateliers-jean-nouvel-en-paris-a-traves-de-las-fotografias-de-paul-clemence>; consultado 21.05.2023.
- 4.22. Tomado de <https://www.solarvisuals.nl/news/>; consultado el 21.05.2023.
- 4.23. Tomado de SLOOFF, L.H.; et al. "An architectural approach for improving aesthetics of PV". *European PV Solar Energy Conference and Exhibition EU PVSEC*. Amsterdam, 2017, figura 4.
- 4.24. Tomado de <https://www.solarvisuals.nl/products/>; consultado el 23.05.2023.
- 4.25. Tomado de <https://www.hs-pixasolar.com/gevel-zonnepanelen>; consultado el 23.05.2023.
- 4.26. Tomado de <https://www.hs-pixasolar.com/gevel-zonnepanelen>; consultado el 23.05.2023.
- 4.27. Tomado de <https://www.flickr.com/photos/funkymonk2000/4578756094/in/photostream/>; consultado el 13.05.2023.
- 4.28. Tomado de <https://www.turnerconstruction.com/experience/project/20/the-iac-building>; consultado el 17.04.2023.

- 4.29. Tomado de <https://www.mvrdv.com/projects/119/glass-farm?photo=1723>; consultado el 17.04.2023.
- 4.30. Tomado de <https://www.mvrdv.nl/projects/119/glass-farm?photo=1727>; consultado el 20.02.2023.
- 4.31. Tomado de <https://glassense.com/product/helsinki-central-library-oodi/>; consultado el 20.02.2023.
- 4.32. Tomado de <https://oodihelsinki.fi/en/>; consultado el 17.04.2023.
- 4.33. Tomado de <https://tvitecglass.com/?proyecto=complejo-triada-madrid>; consultado el 20.02.2023.
- 4.34. Tomado de <https://tectonica.archi/articles/rocalux-by-tvitec-premio-al-producto-innovador-del-ano-por-el-grupo-castilla-y-leon-economica/>; consultado el 17.04.2023.
- 4.35. Tomado de https://www.archdaily.cl/cl/791017/clasicos-de-arquitectura-biblioteca-central-ciudad-universitaria-juan-ogorman/5784adcae58ecee905000095-clasicos-de-arquitectura-biblioteca-central-ciudad-universitaria-juan-ogorman-foto?next_project=no; consultado el 23.04.2023.
- 4.36. Tomado de <https://puntoalarte.blogspot.com/2019/09/biblioteca-central-de-la-unam-de-juan.html>; consultado el 30.05.2023.
- 4.37. Elaboración propia.
- 4.38. Elaboración propia.
- 4.39. Elaboración propia.
- 4.40. Elaboración propia.
- 4.41. Elaboración propia.
- 4.42. Elaboración propia.
- 4.43. Elaboración propia.
- 4.44. Elaboración propia.
- 4.45. Elaboración propia.
- 4.46. Elaboración propia.
- 4.47. Elaboración propia.
- 4.48. Elaboración propia.

ANEXOS

Anexo I. Ficha técnica Kromatix

Anexo II. Fichas técnicas Issol & Solaxess

Anexo III. Ficha técnica placa solar ensayo

Anexo I. Ficha técnica Kromatix

Model KR 4/10 GG44 Kromatix™
PV modules for facades

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)

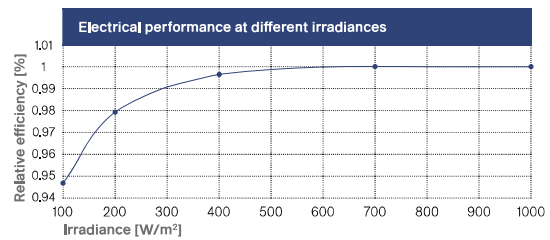
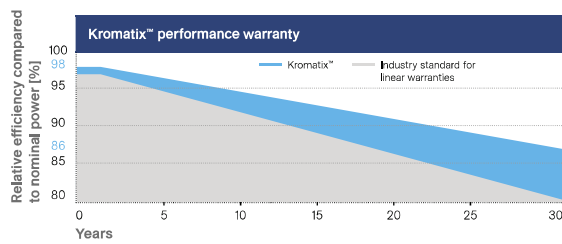
Model	Dark Grey GT-380	Grey GT-350	Light Grey GT-410	Blue GT-215	Bluish-Green GT-800	Green GT-360	Bronze GT-430	Brass GT-470	Gold GT-100	Orange GT-550
Peak power P_{MPP} [W]	193	182	182	175	187	186	179	187	178	176
Rated voltage U_{MPP} [V]	23									
Rated current I_{MPP} [A]	8.3	7.8	7.8	7.5	8.1	8.0	7.7	8.0	7.7	7.5
Open circuit voltage U_{oc} [V]	27.1									
Short circuit current I_{sc} [A]	8.9	8.4	8.4	8.1	8.7	8.6	8.3	8.6	8.2	8.1
Module efficiency [%]	16.4%	15.5%	15.5%	14.9%	15.9%	15.8%	15.3%	15.9%	15.2%	14.9%
Peak power tolerance [W]	±5									

STC:1000W/m² irradiance, 25°C cell temperature, AM1.5 g spectrum according to EN 60904-3. Measurement tolerance P_{max} ±5%, V_{oc} and I_{sc} ±5%

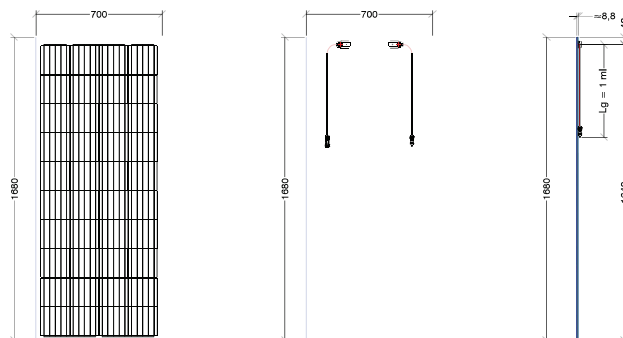
Properties for system design	
Temperature range [°C]	-40 to +105
Max. system voltage [V]	1000
Max. series fuse rating [A]	15
Limiting reverse current [A]	15
PV module classification	Class II

Mechanical data	
Dimensions (W x H x D) [mm]	700 x 1680 x 9
Weight [kg]	26
Solar cells	40 cells, monocrystalline Si, 159 x 159 mm
Cells encapsulation	Ethyle Vinyl Acetate (EVA)
Front	Tempered solar glass Kromatix™
Back	Heat strenthened glass 4 mm
Junction box	IP 67 with 2 bypass diode / split
Cable	Solar cable 4mm², length > 1000mm
Cable connectors	Staeubli MC4

Thermal Characteristics			
Temperature coefficient of I_{sc}		[%/K]	+0.04
Temperature coefficient of V_{oc}		[%/K]	-0.27
Temperature coefficient of P_{max}		[%/K]	-0.36
Nominal Module Operating Temperature	NMOT	[°C]	43 ± 3



PV module plan



Anexo II. Fichas técnicas Issol & Solaxess

White Photovoltaic Safety Glass

White Solar Module | CENIT 220-Model 090-6102



Homogenous white colour without visible cells

The Technology

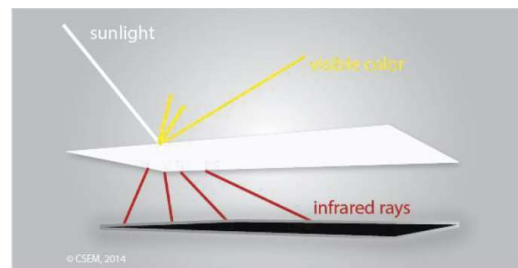
The technology is the result of collaboration between the Swiss firm SOLAXESS and ISSOL. It is based on a filtering interlayer, a printing technique and the use of photovoltaic solar cells.

The light passes through various layers that separate the spectrum. A part of the visible spectrum is reflected and gives the white colour.

The part of the invisible spectrum composed in particular of infrared radiation is absorbed by the solar cells to generate electricity. This filter ensures optimum visual rendering while maintaining high electrical efficiency.

The Product

Our product is a **fully tempered laminated safety glass**. It is equipped with photovoltaic high-efficiency mono crystalline cells (Si - PERC). It is a construction product that strictly follows photovoltaic and local construction norms. It is manufactured and designed according to the specific geometry and requirements of the building. Its dimensions and shape are tailored just like with a normal safety glass.



Dimensions & Thickness

Glass Thickness (mm)			Glass Type	Glass Size (mm)		Weight kg/m ²	Power Wp/m ² *
Front	Back	Total Thickness (mm)		Min	Max		
3,2	3	7	Textured Pattern/Float	400 x 400	4400 x 2050	18	90
4	4	9	Textured Pattern/Float	400 x 400	4400 x 2050	22,5	90
5	5	11	Low Iron/Float	400 x 400	4400 x 2050	27,5	90
6	6	13	Low Iron/Float	400 x 400	4400 x 2050	32,5	90
8	8	17	Low Iron/Float	400 x 400	4400 x 2050	42,5	90

* For an optimized surface of glass considering the cells size (156 mm)

ISSOL sa/nv | Zoning Industriel des Plénesses | Rue du Progrès 18 | 4821 Dison (Liège) | Belgium
TVA/VAT # BE 0879.446.738 | Phone: +32 87 33 81 64 | Email : infopv@issol.eu | www.issol.eu

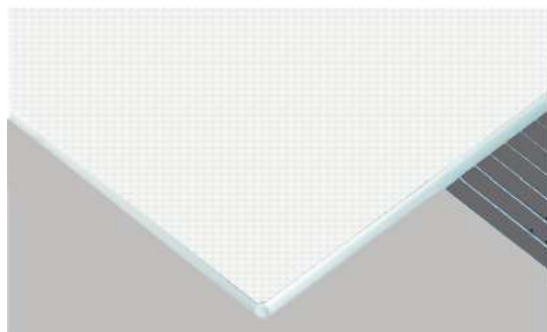
White Photovoltaic Safety Glass

White Solar Module | CENIT 220-Model 090-6102



Textured Glass

The glass used in front is a textured glass for making the white matte and to avoid reflections.



Albarino S – Saint-Gobain Glass

Application on Façades

Our product is applied like **traditional siding**. It is mounted using the traditional installation techniques specific to facades (curtain wall, cladding, clamping, gluing, or mechanical fasteners). It is manufactured in our workshop to the required dimensions according to the characteristics and geometry of the building: its shape, size and thickness are calculated depending on the building height, the wind conditions and the number of attachment points. It acts as a second skin and plays the role of a thermal insulator.

Generally used on **new building or for renovations**, it is suitable for facades, roofs and canopies

Most Common Installation Techniques

- Curtain wall
- Cladding
- Gluing
- Mechanical fastening
- Framing
- Cassette

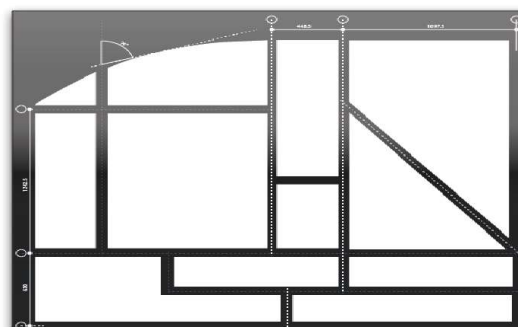
The connectors and junction box are placed on the edge or at the rear of the glazing according to installation technique used.

Samples

Paid samples available on request (A4 or 400 x 400 mm format). Special formats can be manufactured upon validation of prototype.

Sizes and Cuts

To respect the geometry of the building or to go around obstacles, "active" cut parts of the product are available.



Electrical Data

The product has an efficiency of **90 Watts peak per square meter (Wp/m²)**. Measured under standard test conditions: irradiance of 1000 W/m², 25°C, AM 1.5

On a facade facing south in Central Europe (Lat. ± 47°N), it produces **65 kWh per year per square meter**, which makes it economically very efficient compared to non-performing conventional constructions material.

Lower Operating Temperature

The white colour of the photovoltaic panel reduces the operating temperature of the cell. In comparison with standard solar panels, our product is less impacted by the negative effect of heat.

Implementation

The implementation of the product is carried out according to NF DTU 39 and the special requirements of installation. Our teams of engineers are with you for the design and guidance of your projects upon signature of a collaboration agreement.

Regulatory

Our white photovoltaic laminated glasses are manufactured in compliance with the Directive of products for construction (89/106/EEC). They are thermally tempered glass. They comply with EN12600 standards (pendulum impact test), EN 12543, EN 12150, IEC 61215 and IEC 61730. Our products are CE marked.



Fiche technique de module comprenant notre film nano technologique

Spécifications modules PV blancs (PERC)

Performances électriques typiques de modules en conditions STC

Caractéristiques électriques attendues	Référence module noir	Gris léger	Blanc standard	Blanc brillant
Puissance nominale - P_{max} (W)	280	197	188	174
Tension à P_{max} - U_{mpp} (V)	31.3	30.8	30.7	30.4
Courant à P_{max} - I_{mpp} (A)	9.0	6.2	5.9	5.5
Tension en circuit ouvert - U_{oc} (V)	39.5	38.9	38.7	38.3
Courant de court-circuit - I_{sc} (A)	9.4	6.5	6.2	5.7
Efficacité du module - η (%)	17.1%	12.0%	11.7%	10.6%

A noter que les données susmentionnées sont basées sur des expériences faites lors de réalisations d'échantillons/projets pilotes. Solaxess ne produit aucun module à usage commercial. Les données techniques finales d'un module seront fournies par le fabricant de module.

Module de référence basé sur 60 cellules monocristalline PERC de 156 x 156 mm² connectées en série.
Surface du module de 1.66 x 0.99 m².

STC: Irradiance de 1000 W/m², température du module de 25°C, Air Mass AM 1.5 global.

Surpoids associé au film

Le surpoids associé au film dépend de la solution retenue par le fabricant de panneau (p. ex. ETFE ou verre-avant).

Film de Solaxess seul: +0.20 kg /m²

Complètement intégré : p. ex. deux feuilles d'EVA standard et une feuille-avant d'ETFE de 100 microns d'épais, + 1.11 kg/m²

Réduction de la température du panneau

Le film blanc de Solaxess permet de réduire la température de fonctionnement des cellules ainsi qu'à l'arrière du panneau d'environ 10°C, en comparaison avec un panneau standard photovoltaïque noir (en façade, température ambiante de 25°C).



Fiche technique de module comprenant notre film nano technologique

Spécifications modules PV blancs (HJT)

Performances électriques typiques de modules en conditions STC

Caractéristiques électriques attendues	Référence module noir	Gris léger	Blanc standard	Blanc brillant
Puissance nominale - P_{max} (W)	300	211	202	186
Tension à P_{max} - U_{mpp} (V)	35.5	35.0	34.8	34.4
Courant à P_{max} - I_{mpp} (A)	8.4	5.8	5.5	5.1
Tension en circuit ouvert - U_{oc} (V)	44	43.3	43.1	42.7
Courant de court-circuit - I_{sc} (A)	9	6.2	5.9	5.5
Efficacité du module - η (%)	18.4%	12.9%	12.5%	11.4%

A noter que les données susmentionnées sont basées sur des expériences faites lors de réalisations d'échantillons/projets pilotes. Solaxess ne produit aucun module à usage commercial. Les données techniques finales d'un module seront fournies par le fabricant de module.

Module de référence basé sur 60 cellules monocristallines HJT de 156 x 156 mm², connectées en série.
Surface du module de 1.65 x 0.99 m².

STC: Irradiance de 1000 W/m², température du module de 25°C, Air Mass AM 1.5 global.

Surpoids associé au film

Le surpoids associé au film dépend de la solution retenue par le fabricant de panneau (p. ex. ETFE ou verre-avant).

Film de Solaxess seul: +0.20 kg /m².

Complètement intégré : p. ex. deux feuilles d'EVA standard et une feuille-avant d'ETFE de 100 microns d'épais, + 1.11 kg/m².

Réduction de la température du panneau

Le film blanc de Solaxess permet de réduire la température de fonctionnement des cellules ainsi qu'à l'arrière du panneau d'environ 10°C en comparaison d'un panneau standard photovoltaïque noir (en façade, température ambiante de 25°C).



UNE FAÇADE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE QUASIMENT INVISIBLE

La réalisation à Boudry, NE (Suisse)

Une petite PPE située au nord de la commune de Boudry, a sollicité un façadier neuchâtelois pour la réalisation d'une partie de façade en panneaux photovoltaïques. L'objectif, parfaitement atteint, était de « marier » quelques dizaines de m² de panneaux (pour alimenter la pompe à chaleur et les locaux communs) avec le reste de la façade réalisée en crépis. Grâce à notre film blanc intégré lors de la fabrication des panneaux, la couleur de l'ensemble est totalement uniforme et fonctionne à satisfaction depuis plusieurs mois.

Données techniques

- Façade active de 32 m² utilisant 32 panneaux blancs de Solaxess
- Dimension individuelle d'un panneau : 2060 mm x 515 mm
- Panneaux PV de type verre-verre
- Verres trempés de 4mm (testés Heat-soak)
- Sérigraphie d'un cadre blanc sur le contour du verre avant
- 36 cellules PERC par panneau, avec une puissance de 100 Wp par panneau
- Puissance totale installée : 3,2 kWp
- Orientation de la façade : 151° sud-est
- Rails aluminium collés sur le verre arrière
- Energie électrique produite annuellement : entre 2.6 MWh et 2.9 MWh
- Fabricant de modules PV : SI Modules



Important : grâce à notre technologie, les panneaux PV ne génèrent aucun éblouissement



Intégration simple dans le module PV

Le film est simplement ajouté par-dessus les cellules PV lors de la lamination du module et ce afin d'assurer la meilleure performance et fiabilité. Les constructions verre/backsheet et verre/verre sont compatibles avec l'intégration de notre film.

Monitoring :

<https://9.enerface.online/customer/day?id=1>

Contact:

Solaxess SA
 2074 Marin / Suisse
 E-Mail: info@solaxess.ch
 Tel. +41 32 727 28 28
www.solaxess.ch

Anexo III. Ficha técnica placa solar ensayo

CL-SM10P High Efficiency, High Quality PV Module

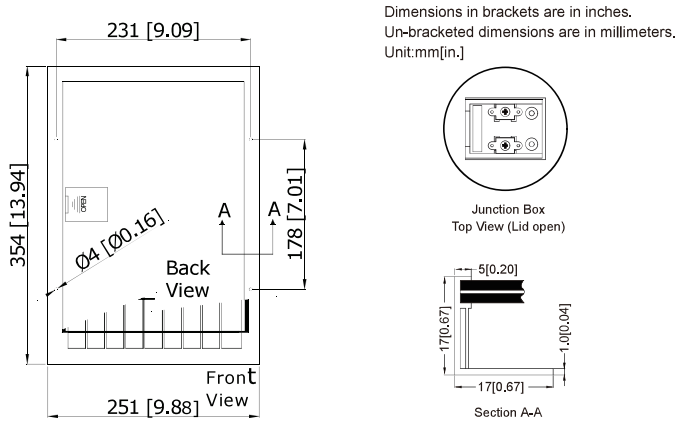
Electrical Characteristics	CL-SM10P
Maximum power (Pmax)	10W
Voltage at Pmax (Vmp)	18.2V
Current at Pmax (Imp)	0.55A
Open-circuit voltage (Voc)	22.6V
Short-circuit current (Isc)	0.59A
Temperature coefficient of Voc	-(0.40 ± 0.05)%/ °C
Temperature coefficient of Isc	(0.065 ± 0.01)% /°C
Temperature coefficient of power	-(0.5±0.05)%/ °C
NOCT (Air 20°C; Sun 0.8kW/m² wind 1m/s)	47±2°C
Operating temperature	-40°C to 85°C
Maximum system voltage	600V DC
Power tolerance	+ 3%
Cells	multicrystalline silicon solar cell
No. of cells and connections	36(4X9)
Module Dimension	354mm[13.94]x251mm[9.88]x17mm[0.67in.]
Weight	0.99kg[2.18lbs]

* STC: Irradiance 1000W/m², AM1.5 spectrum, module temperature 25°C
 * Specifications are subject to change without notice at any time.



- Key Features:**
- High module efficiency and stable power output
 - Based on leading process technology
 - Outstanding electrical performance under high temperature conditions or low irradiance conditions
 - Easy of installation and all-weather applications
 - 5 years product warranty(materials and workmanship)
 - 20 years module power output warranty
 - Peak power of single module is guaranteed in +3% power tolerance
 - Strong framed module,passing loaded test of 5400 Pa (IEC61215 2nd)
 - The manufacture is certified for ISO 9001:2008

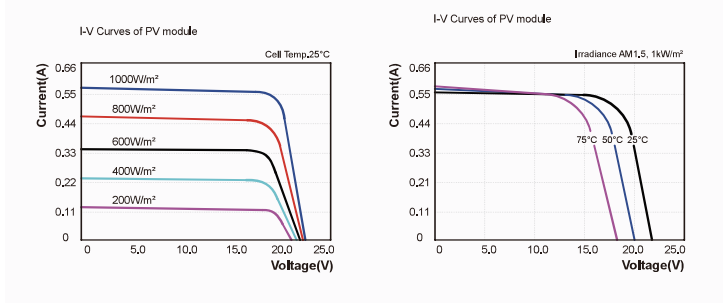
Module Diagram



- Product's Guarantee**
- 15 years module power output no less 90%
 - 20 years module power output no less 80%

- Applications**
- Off grid residential roof-tops
 - Off grid commercial/industrial roof-tops
 - Rural area applications
 - Solar power system
 - Other off-grid applications

I-V Curves



CELLEVIA POWER

