



**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Eléctrica**

**“MONTAJE DE UNA INSTALACIÓN  
EXPERIMENTAL PARA LA MEDIDA DEL  
ALBEDO Y SU REPERCUSIÓN EN LA  
PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE PANELES  
FOTOVOLTAICOS BIFACIALES”**

**Autor:**

**Pablo Solano Bares**

**Tutor: Julián M. Pérez García**

**Cotutora: Vanesa Fernández Cavero**

**Valladolid, Julio de 2023**



## AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por haberme brindado la oportunidad de haber realizado esta carrera y la paciencia que han tenido conmigo a lo largo de todos estos años, que no han sido pocos ni fáciles. Y en especial a mi hermano, pues sin él no habría podido hacer la parte experimental de este TFG, ya que fue quien me ayudó a subir los lastres de hormigón hasta la cubierta.

A mis amigos placentinos y pucelanos, por el apoyo moral que me han brindado a lo largo de estos años y, sobre todo, a Dani, pues según dice si no fuera por él aún seguiría en primero de carrera.

A mis tutores, Julián y Vanesa, por el trato, la atención y la paciencia que han tenido conmigo a lo largo de todo el proceso. No olvidar a los maestros de laboratorio, Diego y David, por toda la ayuda técnica que nos han prestado siempre que ha sido necesario.

Mención especial al profesor Óscar Duque, ya que sin su ayuda y conocimientos no habríamos sido capaces de realizar el proceso de obtención de la función de ajuste y del factor de corrección de los piranómetros.

A todos ellos, gracias.



## RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Grado (TFG) se compone de dos partes principales. En primer lugar, se llevó a cabo una medición experimental del coeficiente de albedo, abarcando diferentes superficies, niveles de radiación y ángulos de incidencia. Esta investigación permitió analizar cómo varía el coeficiente de albedo en función de estas variables. En segunda instancia, se examinó el impacto de este coeficiente en la producción energética de paneles fotovoltaicos bifaciales en comparación con los paneles monofaciales. Mediante un análisis comparativo, se determinó la eficiencia y las ventajas de cada tipo de panel en términos de generación de energía solar. Los resultados obtenidos contribuyen al conocimiento y la comprensión de la influencia del coeficiente de albedo en el rendimiento de los paneles fotovoltaicos, y ofrecen información relevante para la optimización de futuros sistemas de energía solar.

## PALABRAS CLAVE

Coeficiente de albedo; piranómetro; radiación; panel fotovoltaico bifacial; producción energética.



## ABSTRACT

This Final Degree Project (TFG) consists of two main parts. Firstly, an experimental measurement of the albedo coefficient was carried out, covering different surfaces, radiation levels and incidence angles. This investigation made it possible to analyse how the albedo coefficient varies as a function of these variables. Secondly, the impact of this coefficient on the energy production of bifacial photovoltaic panels compared to monofacial panels was examined. Through a comparative analysis, the efficiency and advantages of each type of panel in terms of solar energy generation were determined. The results obtained contribute to the knowledge and understanding of the influence of the albedo coefficient on the performance of photovoltaic panels, and provide relevant information for the optimisation of future solar energy systems.

## KEYWORDS

Reflectance coefficient; pyranometer; radiation; bifacial photovoltaic panel; energy production



# ÍNDICE

## Contenido

AGRADECIMIENTOS .....	i
RESUMEN.....	iii
PALABRAS CLAVE.....	iii
ABSTRACT.....	v
KEYWORDS.....	v
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	xviii
2.1 OBJETIVOS GENERALES:.....	7
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
2.3 MOTIVACIÓN .....	8
2.4 METODOLOGÍAS .....	9
3.1 ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA .....	13
3.2 ESTADO ACTUAL DE LAS TECNOLOGÍAS LIGADAS A LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA .....	16
3.2.1 TENDENCIAS EN PANELES FOTOVOLTAICOS Y SU FABRICACIÓN .....	16
3.2.2 SEGUIDORES SOLARES .....	20
3.2.3 INVERSORES .....	21
3.2.4 TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO.....	21
4.1 QUÉ ES LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	25
4.2 QUÉ ES UN PANEL FOTOVOLTAICO Y QUÉ TIPOS HAY .....	26
4.3 PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA.....	30
4.4 RADIACIÓN SOLAR.....	35
4.5 QUÉ ES UN PIRANÓMETRO Y QUÉ TIPOS HAY .....	38
4.5.1 MODELO ESPECÍFICO EMPLEADO PARA ESTE TRABAJO .....	41
4.6 FUTURO DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA.....	42
5.1 INTRODUCCIÓN.....	51
5.2 FASES DEL TRABAJO .....	51
5.3 MATERIAL.....	52
5.4 MONTAJE.....	54

5.5 MEDICIONES.....	64
6.1 COEFICIENTES DE ALBEDO.....	77
6.1.1 MEDIDAS Y RESULTADOS.....	77
6.1.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	84
6.2 MEDIDAS EN EL PANEL.....	87
6.2.1 RADIACIÓN.....	88
6.2.1.1 MEDIDAS Y RESULTADOS .....	88
6.2.1.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	96
6.2.2 ENERGÍA .....	102
6.2.2.1 MEDIDAS Y RESULTADOS .....	103
6.2.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	112
6.2.3 TEMPERATURA .....	118
6.2.3.1 MEDIDAS Y RESULTADOS .....	119
6.2.3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	127
6.3 BIFACIAL RATIO, FACTOR DE BIFACIALIDAD Y GANANCIA BIFACIAL .....	132
6.4 ANÁLISIS DE PRECIOS DE LOS PANELES , DEL PRECIO MEDIO DE LA ENERGÍA Y VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PANEL BIFACIAL FRENTE AL MONOFACIAL .....	137
7.1 COEFICIENTE DE ALBEDO .....	143
7.2 RADIACIÓN .....	144
7.3 PRODUCCIÓN ENERGÉTICA .....	145
7.4 TEMPERATURA.....	145
7.5 ANÁLISIS ECONÓMICO .....	146
LÍNEAS A FUTURO .....	149
BIBLIOGRAFÍA.....	153
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	161
ANEXO 1. NORMATIVA QUE REGULA LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA .....	167
ANEXO 2. GUÍA Y MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN .....	169
ANEXO 3.....	173
HOJAS DE CARACTERÍSTICAS.....	173

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1.1 1- Generación de electricidad mediante fotovoltaica en los últimos 5 años en España. ( <i>REData - Estructura generación   Red Eléctrica, s. f.</i> ).....	14
Figura 3.1.2 1- Potencia instalada correspondiente a la tecnología fotovoltaica en los últimos 5 años en España ( <i>REData - Potencia instalada   Red Eléctrica, s. f.</i> ).....	14
Figura 3.2.1.1 1- Celdas impresas de perovskita («SAULE Technologies», s. f.).....	17
Figura 3.2.1.2 1- Diferencias entre una célula de silicio normal y una célula de silicio PERC ( <i>HelioEsfera, 2021b</i> ) .....	18
Figura 3.2.1.3 1- Diferencias entre un panel de célula partida y uno de célula completa ( <i>HelioEsfera, 2021a</i> ) .....	19
Figura 3.2.2.2 1-Seguidor solar en dos ejes ( <i>Gestor, 2022</i> ).....	20
Figura 4.2.1 1- Panel de silicio monocristalino ( <i>Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants, s. f.</i> ) .....	26
Figura 4.2.2 1- Panel de silicio policristalino ( <i>Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants, s. f.</i> ) .....	27
Figura 4.2.3 1- Estructura de una central solar fotovoltaica ( <i>Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants, s. f.</i> ).....	28
Figura 4.2.4 1 - Funcionamiento de los paneles fotovoltaicos bifaciales ( <i>CORPORATIVA, s. f.</i> )	29
Figura 4.3.1 1- Influencia de la separación entre filas. ( <i>PLACAS SOLARES BIFACIALES », 2019</i> ).....	31
Figura 4.3.2 1 - Influencia de la altura del montaje en el albedo. ( <i>PLACAS SOLARES BIFACIALES », 2019</i> ) .....	32

Figura 4.3.3 1- Descripción gráfica de la inclinación y el acimut (1.4.2.- Ángulos de posicionamiento solar y orientación fotovoltaica.   ISFO2.- Principios básicos de la Energía Solar Fotovoltaica., s. f.) .....	34
Figura 4.3.4 1 - Posición del sol en los solsticios y en los equinoccios (Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants, s. f.) .....	34
Figura 4.4.1 1 - Flujo energético entre el Sol, la atmósfera y el suelo. (Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants, s. f.) .....	35
Figura 4.4.2 1 - Componentes de la radiación solar (Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants, s. f.) .....	36
Figura 4.4.5 1 - Irradiancia anual promedio en kWh/m2 en la Península Ibérica (Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants, s. f.).....	38
Figura 4.5.1 1 - Piranómetro fotovoltaico (Kipp & Zonen, s. f.).....	39
Figura 4.5.2 1- Piranómetro basado en el efecto fotovoltaico basado en un fotodiodo de silicio («Piranómetro de Silicio», s. f.) .....	39
Figura 4.5.1.1 1- Montaje de los piranómetros para la medida del albedo (CMP3 second class pyranometer - Kipp & Zonen, s. f.).....	41
Figura 4.6.1 1 - Escenario objetivo de autoconsumo a 2025 y 2030 (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021) .....	43
Figura 4.6.2 1 – Potencial real del autoconsumo en España por CCAA (MW) 2025-2030 (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021) .....	44
Figura 4.6.3 1- Panel fotovoltaico flexible, conocido como Heliasol. (HeliaSol, s. f.).....	46
Figura 4.6.4 1 – Obtención de hidrógeno verde («Hidrógeno verde, ¿qué es y por qué es importante?», 2022) .....	48

Figura 5.1 1 – Sede Mergelina de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid. Zona elegida inicialmente ( <i>Constructora San José</i> ).....	54
Figura 5.2 1 – Sede Mergelina de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid. Zona elegida finalmente ( <i>Constructora San José</i> ) .....	55
Figura 5.3 1 – Detalle de los bordillos de hormigón empleados como lastres ( <i>Elaboración propia</i> ).....	55
Figura 5.4 1 – Lastres de hormigón con orientación sur y proceso de montaje de la estructura anclada sobre ellos ( <i>Elaboración propia</i> ).....	56
Figura 5.5 1 – Instalación de los paneles fotovoltaicos sobre la estructura soporte ( <i>Elaboración propia</i> ) .....	56
Figura 5.6 1 – Termopar fijado sobre la cara frontal de unos paneles.....	57
Figura 5.7 1 – Piranómetros y caja de conexiones sobre la estructura soporte ( <i>Elaboración propia</i> ).....	57
Figura 5.8 1 – A la izquierda emplazamiento y cableado del armario, a la derecha detalle de los inversores, y en el centro estado final del armario con todos los componentes ya en su interior ( <i>Elaboración propia</i> ) .....	58
Figura 5.9 1 – Conducción del cableado hasta el armario. A la izquierda el circuito de potencia y a la derecha el circuito de señal ( <i>Elaboración propia</i> ).....	59
Figura 5.10 1 – Detalle de la caja metálica empleada para la soldadura ya instalada dentro de la caja estanca ( <i>Elaboración propia</i> ) .....	59
Figura 5.11 1 – Tarjeta multiplexora ya cableada ( <i>Elaboración propia</i> ).....	60
Figura 5.12 1 – Equipo de adquisición de datos (data logger) HP Agilent 34970 A empleado ( <i>Elaboración propia</i> ) .....	60

Figura 5.13 1 – Detalle del panel empleado como monofacial ya sombreado con el plástico ( <i>Elaboración propia</i> ) .....	61
Figura 5.14 1 – Estructura construida a base de unir láminas de madera ( <i>Elaboración propia</i> ).....	62
Figura 5.15 1 – Estructura de madera ya pintada de negro ( <i>Elaboración propia</i> ) .....	62
Figura 5.16 1 – Estructura de madera encastrada en la estructura soporte ( <i>Elaboración propia</i> ).....	63
Figura 5.17 1 – Vista por delante del panel solar ya sombreado con la estructura de madera ( <i>Elaboración propia</i> ) .....	63
Figura 5.18 1 – Estructura soporte de aluminio para la medida de albedo ( <i>Elaboración propia</i> ).....	64
Figura 5.19 1 – Medida de la superficie de la propia cubierta, considerada pasto ( <i>Elaboración propia</i> ) .....	65
Figura 5.20 1 – Medida de la superficie de plástico negro ( <i>Elaboración propia</i> ) .....	65
Figura 5.21 1 – Medida de la superficie de baldosas imitación cemento ( <i>Elaboración propia</i> ).....	66
Figura 5.22 1 – Medida de la superficie de césped artificial ( <i>Elaboración propia</i> ) .....	66
Figura 5.23 1 – Medida de la superficie de lona blanca ( <i>Elaboración propia</i> ) .....	67
Figura 5.24 1 – Uno de los piranómetros con su constante de calibración ..... ( $12.66 \times 10^{-6} \text{ V/Wm} - 2$ ) ( <i>Elaboración propia</i> ).....	68
Figura 5.25 1 – Segundo piranómetro con su constante de calibración ..... ( $12.15 \times 10^{-6} \text{ V/Wm} - 2$ ) ( <i>Elaboración propia</i> ).....	68
Figura 5.28 1 – Medida del coeficiente de albedo de la superficie de baldosas imitación cemento ( <i>Elaboración propia</i> ) .....	71

Figura 5.29 1- Medida del coeficiente de albedo de la superficie de plástico negro (Elaboración propia) .....	71
Figura 5.30 1- Medida del coeficiente de albedo de la superficie de césped artificial (Elaboración propia) .....	72
Figura 5.31 1- Medida del coeficiente de albedo de la superficie de lona de plástico blanco (Elaboración propia) .....	72
Figura 5.32 1- Medida del coeficiente de albedo de la superficie de la propia cubierta del edificio (Elaboración propia).....	73
Figura 6.2.2.1 1 - Efecto clipping (Efecto clipping   Beneficios de sobredimensionar el inversor, 2023) .....	102
Figura 6.4.1 1 - Panel monofacial Jinko Tiger Pro 550 Wp (Placa Solar Jinko 550W, s. f.) .....	138
Figura 6.4.2 1- Panel Bifacial Jinko Tiger NEO 565W Bifacial SILVER Frame (Comprar panel solar Jinko Tiger NEO 565W Bifacial SILVER Frame   TS, s. f.) .....	139

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.2.1 1 - Resumen de los tipos de células fotovoltaicas y su rango de eficiencia ( <i>Elaboración propia</i> ) .....	26
Tabla 4.4.3 1- Coeficiente de albedo en función del tipo de superficie ( <i>Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants, s. f.</i> ).....	37
Tabla 4.4.4 1- Coeficiente de albedo en función del tipo de superficie ( <i>Modelos físicos utilizados &gt; Modelos de irradiación &gt; Coeficientes usuales de albedo, s. f.</i> ) .....	37
Tabla 5.26 1 – Factor de corrección del piranómetro de medida de la radiación global ( <i>Elaboración propia</i> ).....	69
Tabla 6.1.1 1- Resultados de las mediciones realizadas para hallar el coeficiente de albedo de la superficie del propio suelo de la cubierta ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	78
Tabla 6.1.1.2 1- Resultados de las mediciones realizadas para hallar el coeficiente de albedo de la superficie de plástico negro ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	79
Tabla 6.1.1.3 1- Resultados de las mediciones realizadas para hallar el coeficiente de albedo de la superficie de baldosas imitación cemento ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	80
Tabla 6.1.1.4 1- Resultados de las mediciones realizadas para hallar el coeficiente de albedo de la superficie de lona de plástico blanco ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	81
Tabla 6.1.1.5 1- Resultados de las mediciones realizadas para hallar el coeficiente de albedo de la superficie de césped artificial ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	82
Tabla 6.1.2.1 1- Valores de referencia, valor experimental y porcentaje de error para el coeficiente de albedo del suelo de la cubierta ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	84
Tabla 6.1.2.2 1- Valores de referencia, valor experimental y porcentaje de error para el coeficiente de albedo del plástico negro ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	85
Tabla 6.1.2.3 1- Valores de referencia, valor experimental y porcentaje de error para el coeficiente de albedo de las baldosas imitación cemento ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	85

Tabla 6.1.2.4 1- Valores de referencia, valor experimental y porcentaje de error para el coeficiente de albedo de la lona de plástico blanco ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	86
Tabla 6.1.2.5 1- Valores de referencia, valor experimental y porcentaje de error para el coeficiente de albedo de la lona de plástico blanco ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	87
Tabla 6.2.1.1.1 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para el suelo de la propia cubierta el primero de los días ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	88
Tabla 6.2.1.1.2 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para el suelo de la propia cubierta el último de los días ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	88
Tabla 6.2.1.1.3 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para la superficie de plástico negro el primero de los días ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	90
Tabla 6.2.1.1.4 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para la superficie de plástico negro el último de los días ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	90
Tabla 6.2.1.1.5 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para la superficie de baldosas imitación cemento el primero de los días ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	91
Tabla 6.2.1.1.6 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para la superficie de baldosas imitación cemento el último de los días ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	91
Tabla 6.2.1.1.7 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para la superficie de lona de plástico blanco el primero de los días ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	93
Tabla 6.2.1.1.8 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para la superficie de lona de plástico blanco el último de los días ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	93

Tabla 6.2.1.1.9 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para la superficie de césped artificial el primero de los días ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	94
Tabla 6.2.1.1.10 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para la superficie de césped artificial el último de los días ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	94
Tabla 6.2.2.1.1 1- Producción total de energía del panel monofacial y del bifacial e incremento de ésta del panel bifacial frente al monofacial para el suelo de la propia cubierta ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	103
Tabla 6.2.2.1.2 1- Horas equivalentes del panel monofacial y del bifacial total e incremento de éstas del panel bifacial frente al monofacial para el suelo de la propia cubierta ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	103
Tabla 6.2.2.1.3 1- Producción total de energía del panel monofacial y del bifacial e incremento de ésta del panel bifacial frente al monofacial para la superficie de plástico negro ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	105
Tabla 6.2.2.1.4 1- Horas equivalentes del panel monofacial y del bifacial total e incremento de éstas del panel bifacial frente al monofacial para la superficie de plástico negro ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	105
Tabla 6.2.2.1.5 1- Producción total de energía del panel monofacial y del bifacial e incremento de ésta del panel bifacial frente al monofacial para la superficie de baldosas imitación cemento ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	107
Tabla 6.2.2.1.6 1- Horas equivalentes del panel monofacial y del bifacial total e incremento de éstas del panel bifacial frente al monofacial para la superficie de baldosas imitación cemento ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	107
Tabla 6.2.2.1.7 1- Producción total de energía del panel monofacial y del bifacial e incremento de ésta del panel bifacial frente al monofacial para la superficie de lona de plástico blanco ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	108
Tabla 6.2.2.1.8 1- Horas equivalentes del panel monofacial y del bifacial total e incremento de éstas del panel bifacial frente al monofacial para la superficie de lona de plástico blanco ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	108

Tabla 6.2.2.1.9 1- Producción total de energía del panel monofacial y del bifacial e incremento de ésta del panel bifacial frente al monofacial para la superficie de césped artificial ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	110
Tabla 6.2.2.1.10 1- Horas equivalentes del panel monofacial y del bifacial total e incremento de éstas del panel bifacial frente al monofacial para la superficie de césped artificial ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	110
Tabla 6.2.3.1.1 1- Promedios de las temperaturas de cada cara de los paneles y los máximos y mínimos incrementos en tanto por ciento de unas respecto a las otras para la superficie del propio suelo de la cubierta ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	119
Gráfica 6.2.3.1.2 1- Representación de los valores de temperatura para el plástico negro ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	121
Tabla 6.2.3.1.3 1- Promedios de las temperaturas de cada cara de los paneles y los máximos y mínimos incrementos en tanto por ciento de unas respecto a las otras para las baldosas de imitación cemento ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	122
Tabla 6.2.3.1.4 1- Promedios de las temperaturas de cada cara de los paneles y los máximos y mínimos incrementos en tanto por ciento de unas respecto a las otras para la superficie de lona de plástico blanco ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	123
Tabla 6.2.3.1.5 1- Promedios de las temperaturas de cada cara de los paneles y los máximos y mínimos incrementos en tanto por ciento de unas respecto a las otras para la superficie de césped artificial ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	125

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 5.27 1- Gráfica obtenida a partir de los datos medidos para la obtención del factor de corrección del piranómetro global ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	70
Gráfica 6.1.1.1 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para el cálculo del coeficiente de albedo de la superficie del propio suelo de la cubierta ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	78
Gráfica 6.1.1.2 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para el cálculo del coeficiente de albedo de la superficie de plástico negro ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	79
Gráfica 6.1.1.3 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para el cálculo del coeficiente de albedo de la superficie de baldosas imitación cemento ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	80
Gráfica 6.1.1.4 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para el cálculo del coeficiente de albedo de la superficie de lona de plástico blanco ( <i>Elaboración Propia</i> ) ....	82
Gráfica 6.1.1.5 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para el cálculo del coeficiente de albedo de la superficie de césped artificial ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	83
Gráfica 6.2.1.1.1 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para el suelo de la propia cubierta el primero de los días ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	89
Gráfica 6.2.1.1.2 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para la superficie de plástico negro el último de los días ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	90
Gráfica 6.2.1.1.3 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para la superficie de baldosas imitación cemento del primero de los días ( <i>Elaboración Propia</i> )....	92
Gráfica 6.2.1.1.4 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para la superficie de lona de plástico blanco del último de los días ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	93
Gráfica 6.2.1.1.5 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para la superficie de césped artificial el primero de los días ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	95

Gráfica 6.2.1.2.1 1 - Representación de los valores de radiación obtenidos para el suelo de la propia cubierta el primero de los días ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	96
Gráfica 6.2.1.2.2 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para la superficie de plástico negro el último de los días ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	97
Gráfica 6.2.1.2.3 1 - Representación de los valores de radiación obtenidos para la superficie de baldosas imitación cemento del primero de los días ( <i>Elaboración Propia</i> )....	98
Gráfica 6.2.1.2.4 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para la superficie de lona de plástico blanco del último de los días ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	99
Gráfica 6.2.1.2.5 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para la superficie de césped artificial el primero de los días ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	100
Gráfica 6.2.1.2.6 1- Representación de los incrementos de radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	101
Gráfica 6.2.2.1.1 1- Representación de los valores de energía producida para el suelo de la propia cubierta ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	104
Gráfica 6.2.2.1.2 1- Representación de los valores de energía producida para para la superficie de plástico negro ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	106
Gráfica 6.2.2.1.3 1- Representación de los valores de energía producida para la superficie de baldosas de imitación cemento ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	107
Gráfica 6.2.2.1.4 1- Representación de los valores de energía producida para la superficie de lona de plástico blanco ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	109
Gráfica 6.2.2.1.5 1- Representación de los valores de energía producida para la superficie de césped artificial ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	110
Gráfica 6.2.2.2.1 1- Representación de los valores de energía producida obtenidos para el suelo de la propia cubierta ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	112
Gráfica 6.2.2.2.2 1- Representación de los valores de energía producida obtenidos para la superficie de plástico negro ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	113

Gráfica 6.2.2.2.3 1- Representación de los valores de energía producida obtenidos para la superficie de baldosas imitación cemento ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	114
Gráfica 6.2.2.2.4 1- Representación de los valores de energía producida obtenidos para la superficie de lona de plástico blanco ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	115
Gráfica 6.2.2.2.5 1- Representación de los valores de energía producida obtenidos para la superficie de césped artificial ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	116
Gráfica 6.2.2.2.6 1- Representación de los incrementos de energía generada por el panel bifacial frente al monofacial ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	117
Gráfica 6.2.3.1.1 1- Representación de los valores de temperatura para el suelo de la propia cubierta ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	120
Gráfica 6.2.3.1.2 1- Representación de los valores de temperatura para el plástico negro ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	121
Gráfica 6.2.3.1.3 1- Representación de los valores de temperatura para las baldosas imitación cemento ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	123
Gráfica 6.2.3.1.4 1- Representación de los valores de temperatura para la lona de plástico blanco ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	124
Gráfica 6.2.3.1.4 1- Representación de los valores de temperatura para la lona de plástico blanco ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	124
Gráfica 6.2.3.1.5 1- Representación de los valores de temperatura para el césped artificial ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	125
Gráfica 6.2.3.2.1 1- Representación de los valores de temperatura de cada una de las caras de los paneles para la superficie del propio suelo de la cubierta ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	127
Gráfica 6.2.3.2.2 1- Representación de los valores de temperatura de cada una de las caras de los paneles para la superficie de plástico negro ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	128

Gráfica 6.2.3.2.3 1- Representación de los valores de temperatura de cada una de las caras de los paneles para la superficie de baldosas imitación cemento ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	129
Gráfica 6.2.3.2.4 1- Representación de los valores de temperatura de cada una de las caras de los paneles para la superficie de lona de plástico blanco ( <i>Elaboración Propia</i> ) .	130
Gráfica 6.2.3.2.5 1- Representación de los valores de temperatura de cada una de las caras de los paneles para la superficie de césped artificial ( <i>Elaboración Propia</i> ).....	131
Gráfica 6.3.1 1 - Bifacial ratio para cada una de las superficies de estudio ( <i>Elaboración propia</i> ).....	135
Gráfica 6.3.2 1- Ganancia bifacial para cada una de las superficies de estudio ( <i>Elaboración propia</i> ).....	136
Gráfica 7.2.1 1- Superficies estudiadas y sus correspondientes coeficientes de albedo ( <i>Elaboración Propia</i> ) .....	143



# CAPÍTULO 1.

# INTRODUCCIÓN



---

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

---

Con el objetivo de lograr una realización y visualización completa del Trabajo Final de Grado propuesto, se ha estructurado la presente memoria en 5 capítulos.

- **Capítulo 1:** introducción en la que se explican brevemente el resto de los capítulos que componen este TFG, de tal manera que desde el principio se tenga una visión de todo lo que se ha desarrollado en él.
- **Capítulo 2:** en él se describen los objetivos generales y específicos que se persiguen con la elaboración de este trabajo.
- **Capítulo 3:** análisis del estado actual en el que se encuentra la energía fotovoltaica en España y las tecnologías que la conforman (paneles fotovoltaicos, inversores, estructuras, etc.)
- **Capítulo 4:** es el marco teórico que explica los fundamentos en los que se basa la energía fotovoltaica, en qué consisten cada uno de los componentes de los que consta una instalación de producción de dicha energía y qué es la radiación solar necesaria para que se produzca el efecto fotoeléctrico y los útiles empleados para cuantificarla.
- **Capítulo 5:** describe las fases en las que se ha dividido la ejecución del trabajo todos los materiales utilizados y su proceso montaje y los pasos seguidos para realizar las mediciones
- **Capítulo 6:** resultados. En él se exponen los datos numéricos obtenidos a través de las mediciones de la parte de coeficiente de albedo y las tomadas en la parte de paneles fotovoltaicos del montaje respectivamente, se analizan y se comparan con valores considerados como de referencia.
- **Capítulo 7:** las conclusiones que se pueden extraer del análisis de los datos.

---

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

---

Aparte se incluyen apartados que recogen:

- Las líneas a futuro a seguir tras la conclusión de éste
- La bibliografía utilizada para la parte teórica y de investigación
- Un glosario de términos
- Anexos, que recogen la legislación que rige la energía fotovoltaica en España y las hojas de características de algunos de los materiales utilizados para llevar a cabo el montaje

# CAPÍTULO 2.

## OBJETIVOS



---

## CAPÍTULO 2. OBJETIVOS

---

### 2.1 OBJETIVOS GENERALES:

El objetivo general de este Trabajo de Fin de Grado es doble. Por un lado, se busca determinar los coeficientes de albedo de diferentes tipos de superficies que son comunes en instalaciones solares fotovoltaicas, como el pasto, la tierra y el césped simulado mediante un tapiz de césped artificial. También se explorarán otros materiales interesantes en términos de su color y su capacidad para reflejar la radiación solar, como un plástico negro, que se espera que absorba la mayoría de la radiación, y un plástico blanco, que se espera que refleje la mayoría de la radiación. Por otro lado, se pretende utilizar estos valores de coeficiente de albedo para comparar la producción energética de un panel fotovoltaico bifacial con la de uno monofacial. Con estos resultados, se obtendrá una visión más clara de cómo afecta el coeficiente de albedo a la eficiencia y rendimiento de los paneles solares, lo que permitirá tomar decisiones informadas en el diseño y la optimización de futuros sistemas de energía solar.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

En base al objetivo general mencionado, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Medir y calcular los coeficientes de albedo para diferentes tipos de superficies típicas de instalaciones solares fotovoltaicas, como el pasto, la tierra y el césped artificial, así como materiales de interés por su color, como plástico negro y plástico blanco.
- Realizar experimentos para determinar la cantidad de radiación solar reflejada por cada superficie y material, utilizando diferentes niveles de radiación y ángulos de incidencia.
- Analizar y comparar los valores obtenidos de coeficiente de albedo para cada superficie y material, identificando las diferencias en su capacidad de reflejar la radiación solar.
- Estudiar la influencia del coeficiente de albedo en la producción energética de paneles fotovoltaicos bifaciales y monofaciales, mediante la extrapolación de los valores obtenidos.

---

## CAPÍTULO 2. OBJETIVOS

---

- Evaluar y comparar el rendimiento energético de paneles bifaciales y monofaciales en función de los coeficientes de albedo medidos, determinando las ventajas y desventajas de cada tipo de panel.
- Proponer recomendaciones y conclusiones basadas en los resultados obtenidos, para mejorar el diseño y la eficiencia de futuros sistemas de energía solar, teniendo en cuenta el coeficiente de albedo de las superficies y la elección de paneles solares adecuados.

### 2.3 MOTIVACIÓN

El mundo actualmente está inmerso en una revolución constante que trata de buscar la máxima eficiencia y reducción de costes, sea cual sea el ámbito en el que nos encontremos, y la energía solar fotovoltaica y toda la tecnología asociada a ella no va a ser menos. Por ello, los fabricantes de paneles fotovoltaicos están en continua evolución, intentando reducir costes y materiales y a la vez conseguir la máxima producción energética. En esta línea nacen los paneles fotovoltaicos bifaciales, que implementan células fotovoltaicas en su cara trasera para tratar de captar la radiación difusa y así aumentar la producción. Pero, ¿de cuánto es la ganancia obtenida?

Investigando por internet, consultando libros, catálogos de fabricantes, etc. para tratar de cuantificar dicha ganancia no me ha resultado posible encontrar datos concretos sobre ello, por lo que decidí, junto con mis tutores, realizar el estudio por nuestra cuenta para dar respuesta a esta necesidad, fruto de lo cual nace este Trabajo Final de Grado.

---

## CAPÍTULO 2. OBJETIVOS

---

### 2.4 METODOLOGÍAS

La investigación que implica el desarrollo de este TFG se puede dividir en dos tipos principales de metodologías claramente diferenciadas, que son:

#### **Metodología Teórica:**

Estudio pormenorizado de la literatura técnica que afecta a este campo de acción, para lo que se acudirán a repositorios institucionales habilitados para la Universidad de Valladolid, así como en repositorios de acceso abierto.

Con esta metodología se alcanzará una fuerte base teórica sobre la que construir su investigación empírica.

#### **Metodología Empírica:**

Se basará en el estudio experimental necesario para el desarrollo del trabajo propuesto. Este estudio por medio de trabajo de campo, mediante un banco de pruebas, proporcionará los datos numéricos necesarios para poder obtener las conclusiones y resultados finales acerca del coeficiente de albedo de los distintos tipos de superficie y de la ganancia de producción energética de un panel fotovoltaico bifacial frente a uno monofacial.



# CAPÍTULO 3.

## ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y SU TECNOLOGÍA



---

## CAPÍTULO 3. ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y SU TECNOLOGÍA

---

### 3.1 ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

A mediados del pasado año se presentaba el “Informe sobre el Estado Global de las Energías Renovables 2022”, elaborado por REN21, el único informe de fuente abierta del mundo sobre energía renovable que examina cada año el avance de la transición energética. Este señalaba a **España** como el **octavo país del mundo en capacidad total de energía renovable y líder en solar fotovoltaica y eólica**, ocupando el segundo lugar en Europa en capacidad eólica total (28,2 GW), después de Alemania.

Por primera vez en la historia, la generación global de electricidad llevó a que la energía solar y eólica proporcionasen más del 10% de la demanda de electricidad mundial.

Continuando con la tendencia al alza, se prevé que su producción siga aumentando mes a mes y a final de año se sitúe como la **tercera tecnología en potencia instalada**, superando la de la energía hidráulica con 17.024 MW.

Sin duda, la energía fotovoltaica es una de las grandes protagonistas de la transición energética en España, donde las condiciones climatológicas son óptimas para su generación, además de ser una de las tecnologías más rentables. Asimismo, el crecimiento exponencial del autoconsumo fotovoltaico se ha visto favorecido por los planes de sostenibilidad europeos y los fondos destinados a la inversión de instalaciones fotovoltaicas, como los fondos Next Generation.

(Auge de la energía fotovoltaica, ¿Clave para la transición energética?, s. f.)

(Renewables 2022 Global Status Report, 2022)

Continuando con el análisis del estado actual de la energía solar fotovoltaica en nuestro país, se llega a la clara conclusión de que se encuentra en **constante expansión**.

Basta con echarle un vistazo a la estructura de generación para la citada tecnología en los últimos 5 años, proporcionada por Red Eléctrica Española, para darse cuenta de ello.

# CAPÍTULO 3. ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y SU TECNOLOGÍA

## ESTRUCTURA DE LA GENERACION POR TECNOLOGÍAS (GWh) | SISTEMA ELÉCTRICO: Nacional

Del 2018 al 2022

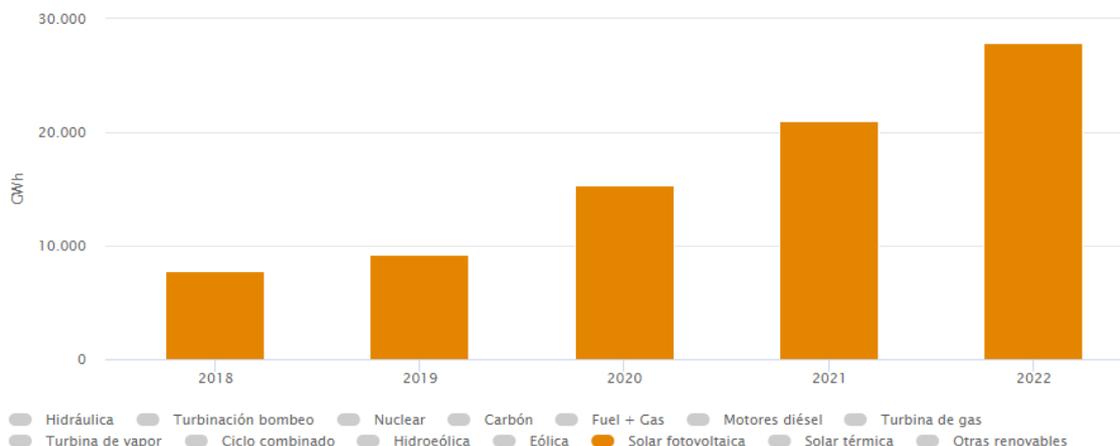


Figura 3.1.1 1- Generación de electricidad mediante fotovoltaica en los últimos 5 años en España. (REData - Estructura generación | Red Eléctrica, s. f.)

En el año 2021 se generaron 20.981 GWh frente a los 27.864 GWh del 2022, es decir, un 32,81% más de producción anual. Esto es debido a que la **potencia instalada se incrementa cada año**.

## POTENCIA INSTALADA (MW) | SISTEMA ELÉCTRICO: Nacional

Del 2018 al 2022

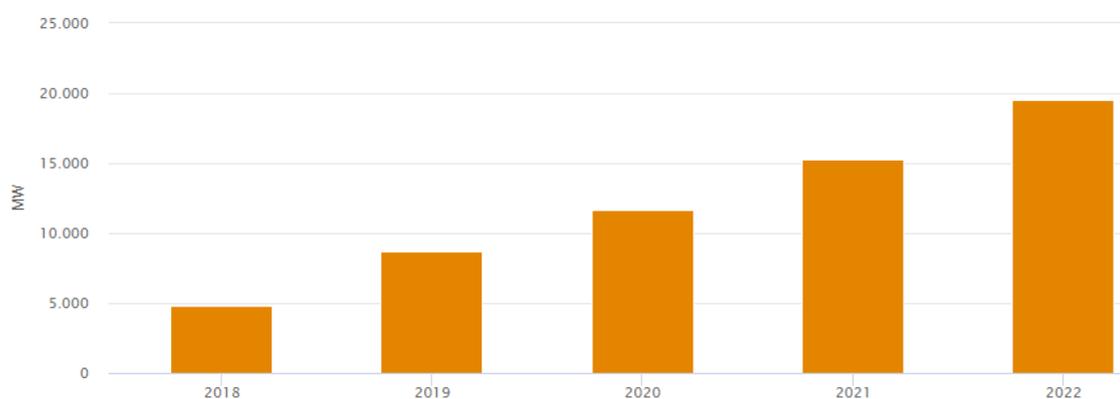


Figura 3.1.2 1- Potencia instalada correspondiente a la tecnología fotovoltaica en los últimos 5 años en España (REData - Potencia instalada | Red Eléctrica, s. f.)

---

## CAPÍTULO 3. ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y SU TECNOLOGÍA

---

Por ejemplo, en 2021 se contaba con una potencia de 15.288 MW frente a los 19.569 MW de 2022, lo que se traduce en un incremento del 28 % en el último año.

Esto es debido en gran medida a que los **costes** vinculados al desarrollo y producción de la tecnología fotovoltaica **se han reducido** notablemente en los últimos años, debido a las inversiones realizadas en I+D. Se estima que en la última década esa reducción ha sido de aproximadamente un 90%.

En España hay muchas horas de sol y terreno disponible, requisitos indispensables que le aportan competitividad frente al resto de países. También se cuenta con empresas desarrolladoras de tecnología propia y que son líderes a nivel mundial, especialmente en la fabricación de seguidores solares y de inversores.

(UNEF, s. f.-b)

En cuanto a las instalaciones fotovoltaicas en la modalidad de **autoconsumo**, se han disparado en España, con un **crecimiento del 85%** respecto al año anterior: en 2021 se instalaron 1.151 MW de potencia en este tipo de instalaciones, según los datos compartidos por la patronal de renovables, APPA (Asociación de empresas de energías renovables). El sector residencial supone ya el 22% del total (253 MW), mientras que el industrial supone el 41%.

(El autoconsumo se duplica en España en 2021 con 1.151 MW, según APPA, 2022)

Según la revista PQ, La energía fotovoltaica es la **fuentes de energía renovable más valorada** por los usuarios, ya que un 87,9% de las personas que han sido encuestadas para la redacción del artículo la prefiere frente al resto de tecnologías, debido a su carácter más accesible y a las características meteorológicas del país.

Pero la principal motivación que lleva a los consumidores a decantarse por este tipo de energía es el **ahorro** en la factura de la luz (67,4% de media). Los clientes potenciales y actuales de energía fotovoltaica estiman un ahorro en su factura que oscila desde el 30% hasta el 80%.

Por otro lado, en 2021, el gobierno también aprobó la Hoja de Ruta del autoconsumo que, mediante 37 medidas de sensibilización, formación a profesionales o divulgación, pretende mejorar el conocimiento y la aceptación del autoconsumo por parte de toda la población.

(revistapq.com, s. f.)

---

## CAPÍTULO 3. ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y SU TECNOLOGÍA

---

Todos estos datos llevan a una misma conclusión, y es que la energía fotovoltaica en España, y más concretamente en la modalidad de instalaciones de autoconsumo, están en constante expansión, trayendo consigo cuantiosos beneficios en ámbitos como el económico, el eléctrico con la renovación del obsoleto sistema español y en el ecológico, debido a la descarbonización que conlleva su implementación. Por todo ello es necesario que se siga invirtiendo en I+D y que el gobierno desarrolle políticas que favorezcan aún más su expansión.

### 3.2 ESTADO ACTUAL DE LAS TECNOLOGÍAS LIGADAS A LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Para tener un mejor enfoque del estado actual de la energía fotovoltaica y la tecnología vinculada a ella, se va a abordar el tema desde distintos puntos de vista, analizando los componentes materiales básicos que conforman una instalación, tales como los paneles fotovoltaicos, estructuras soporte, seguidores solares, inversores y los sistemas de almacenamiento.

#### 3.2.1 TENDENCIAS EN PANELES FOTOVOLTAICOS Y SU FABRICACIÓN

La tecnología de los paneles fotovoltaicos se encuentra en constante evolución, especialmente en los últimos años, en los que la competitividad entre los fabricantes más reconocidos del sector no deja de crecer en busca del módulo más eficiente y que aproveche al máximo la radiación solar.

El **silicio cristalino** sigue siendo el material más empleado en la fabricación de células, con una cuota de mercado del 95%. El 5% restante lo representan las células de lámina fina.

La eficiencia de las células sigue siendo muy elevada: 26,7% en las compuestas por silicio monocristalino y un 23,3% las de **silicio policristalino**.

En los últimos años, comienza a tenerse un mayor interés por la **tecnología de módulo bifacial**. Esta tendencia en paneles solares comienza a desarrollarse de manera más pronunciada en el mercado a principios de la década pasada, y cada vez son más los clientes que optan por este tipo de solución, especialmente en

---

## CAPÍTULO 3. ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y SU TECNOLOGÍA

---

grandes proyectos, donde las condiciones del terreno para su ejecución suelen ser más aptas, por lo que el incremento en el volumen de ventas de este tipo de módulos ha sido considerable en los últimos años.

*(Krannich Solar España, 2020)*

Como novedad, caben destacar las células fotovoltaicas de **perovskita**, que permiten obtener eficiencias muy altas, similares a las del silicio, pero utilizando métodos de fabricación mucho más sencillos, con costes de producción considerablemente más bajos, dando lugar a módulos mucho más versátiles. De hecho, el récord de eficiencia en laboratorio para una célula de este material es de un 25,7%. Como consecuencia de sus altas eficiencias y sencillos métodos de fabricación, el desarrollo de estas células se ha convertido en una prioridad entre la comunidad científica, considerándose como el **material clave** para la siguiente generación de módulos fotovoltaicos.

En el ámbito de materiales alternativos al silicio, hay que mencionar también a las **células orgánicas**, que permiten también desarrollar módulos mucho más ligeros, flexibles y semitransparentes, con costes de producción más bajos y métodos más sencillos, compartiendo características con las células de lámina fina. La eficiencia de este tipo de módulos alcanza valores en torno al 18,2%, que todavía se sitúan lejos de los estándares de las células de silicio cristalino.

Por poner un ejemplo, la empresa polaca SAULE Technologies ha puesto en producción la primera línea industrial de paneles solares del mundo basada en la innovadora tecnología de la perovskita, especializada concretamente en producir celdas solares de perovskita mediante un novedoso procedimiento de impresión por chorro de tinta sobre sustratos delgados y flexibles a bajas temperaturas.

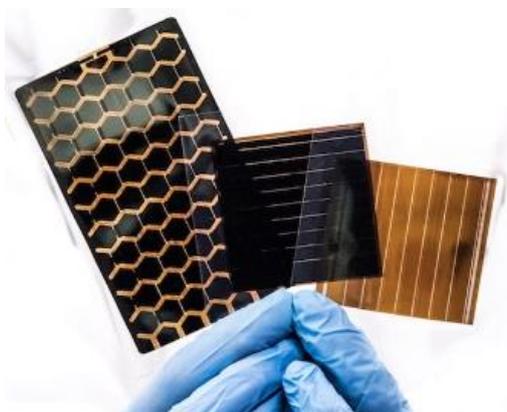


Figura 3.2.1.1 1- Celdas impresas de perovskita («Technology», s. f.)

---

## CAPÍTULO 3. ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y SU TECNOLOGÍA

---

La **fabricación** de los módulos fotovoltaicos a partir de la interconexión de las células fotovoltaicas también ha evolucionado en los últimos años, utilizándose nuevas técnicas enfocadas a la mejora de la eficiencia energética y a la reducción de los costes de producción.

Con el fin de incrementar la eficiencia de los paneles de silicio ha sido desarrollada la **tecnología PERC**, que mejora la absorción de la irradiación. Esta tecnología consiste en colocar una capa adicional en la parte trasera del panel solar, cuyo objetivo es reflejar de nuevo hacia el material semiconductor la luz que no ha sido absorbida inicialmente y que ha atravesado la célula, llegando hasta la parte trasera del panel. Se espera que los módulos PERC de silicio monocristalino puedan llegar a eficiencias medias por encima del 22,5% en los próximos 10 años.

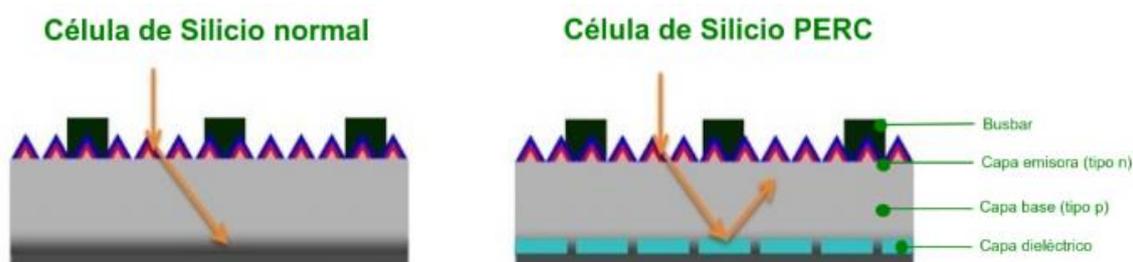


Figura 3.2.1.2 1- Diferencias entre una célula de silicio normal y una célula de silicio PERC (HelioEsfera, 2021b)

Por último, cabe mencionar los **módulos “Half-Cell” o “de célula partida”**, en los que las células de silicio se cortan a la mitad, de manera que la caja de conexiones se sitúa en el centro del panel, reduciendo la resistencia interna de las placas y garantizando una producción continua cuando éstas están sometidas a sombreados parciales debidos a la existencia de nubes. Por lo tanto, un panel de 60 células pasará a tener 120 y uno de 72 a 144, manteniendo las mismas dimensiones. Esto supone el doble de subseries o «substrings» por módulo. Mientras que la mayoría de los módulos de célula completa tienen 3 subseries, los de célula partida tienen seis: tres en la mitad superior y otras tres en la mitad inferior.

(UNEF, s. f.-a)

---

## CAPÍTULO 3. ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y SU TECNOLOGÍA

---

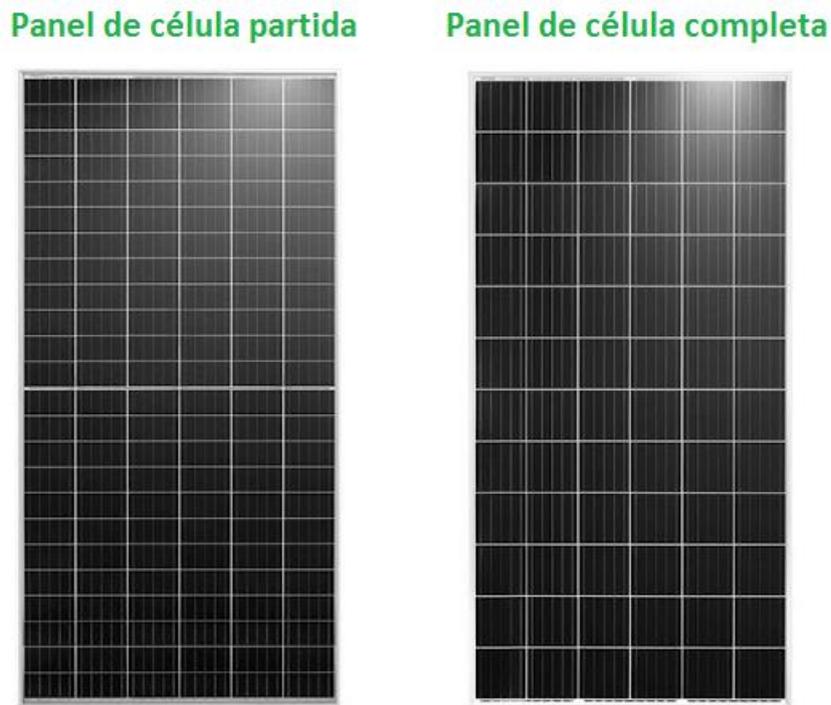


Figura 3.2.1.3 1- Diferencias entre un panel de célula partida y uno de célula completa  
(HelioEsfera, 2021a)

En cuanto a la **potencia pico** de cada panel, los modelos que se pueden encontrar en el mercado van desde los 300 W hasta los de casi 600 W, que han sido desarrollados en los dos últimos años. Pero la tendencia de este valor está claramente al alza, pues según una noticia publicada por El Periódico de la Energía en enero de este mismo año, el fabricante chino Risen ha recibido todas las certificaciones y homologaciones pertinentes para iniciar la producción en cadena de un panel que alcanza los 710 Wp, denominado HJT Hyper-ion, con una eficiencia superior al 22.5%. Según otros datos aportados por el fabricante, este panel sería capaz de mantener su potencia de salida por encima del 90% transcurridos 30 años desde su puesta en marcha.

(José A. Roca, 2023)

---

## CAPÍTULO 3. ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y SU TECNOLOGÍA

---

### 3.2.2 SEGUIDORES SOLARES

Son dispositivos que permiten incrementar el rendimiento de las plantas mediante la sincronización de los paneles con el movimiento del sol, optimizando el ángulo con el que la irradiación incide sobre ellos.

Hay **dos tipos** de seguidores solares:

- Los que permiten mover la placa solar **en un eje**. Dentro de este tipo existen los seguidores con giro en el plano horizontal, en función del acimut o del ángulo polar. Su empleo permite incrementar el rendimiento del panel entre un 25% y un 35%.

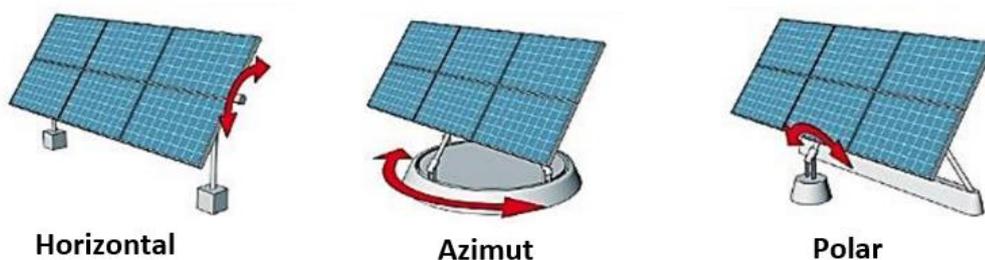


Figura 3.2.2.1 1- Tipos de seguidores de un solo eje (Gestor, 2022)

- Y los que permiten moverlos **en dos ejes**, pudiendo variar la orientación en función de la época del año. Aunque son mecanismos más caros que los de un solo eje, su balance final es positivo debido al incremento de la eficiencia que se consigue con su uso.

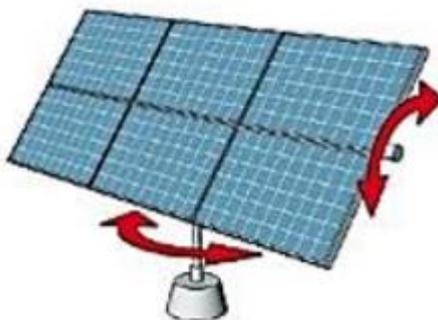


Figura 3.2.2.2 1-Seguidor solar en dos ejes (Gestor, 2022)

Es una tecnología que se ha ido expandiendo en los últimos tiempos, acorde con el crecimiento del sector fotovoltaico. En 2021, el 90% de la cuota de mercado de

---

## CAPÍTULO 3. ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y SU TECNOLOGÍA

---

seguidores solares fue copada por los seguidores de un solo eje, aunque se espera que la cuota de los de dos ejes vaya aumentando paulatinamente.

En el mismo año, Estados Unidos dominó el mercado de estos dispositivos, pero se augura que Europa experimente un importante crecimiento en la próxima década.

El principal reto del sector es reducir la cantidad de materiales empleados en la fabricación de los seguidores a fin de aminorar costes, sin que esto repercuta en sus prestaciones y fiabilidad.

(UNEF, s. f.-a)

### 3.2.3 INVERSORES

Al igual que en las tecnologías citadas anteriormente, en cuanto a inversores, las marcas punteras en el sector buscan maximizar la eficiencia, alcanzando cifras medias de un 98 % en sus últimos diseños.

Otros de los retos a los que se enfrentan los fabricantes son el de aumentar la potencia de estos dispositivos mediante el uso de nuevos semiconductores, la incorporación de sistemas de monitorización y comunicación digital y sistemas de almacenamiento de energía, así como mecanismos para la estabilización de la red y que sean capaces de suplir posibles caídas de esta.

(UNEF, s. f.-a)

### 3.2.4 TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO

Bien es sabido que el principal inconveniente de la energía eléctrica, sea cual sea la forma de producirla, es que su almacenamiento es prácticamente imposible, al menos en grandes cantidades.

Es por ello por lo que la ciencia y las grandes empresas cada día ponen más empeño en desarrollar nuevos sistemas para conseguirlo. Además, es uno de los aspectos que más mejoraría la eficiencia del sistema eléctrico, aplanando la curva de la demanda y consiguiendo una integración más plena de las energías renovables en el mencionado sistema.

---

## CAPÍTULO 3. ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA Y SU TECNOLOGÍA

---

Pero, aun siendo complicado, existen diversos métodos de almacenamiento de energía a lo largo de la cadena de suministro:

- **A gran escala (GW):** hidroeléctrica reversible (bombeo), almacenamiento térmico.
- **Almacenamiento en redes (MW):** pilas y baterías; condensadores y superconductores; volantes de inercia.
- **A nivel de usuario final (kW):** baterías, superconductores, volantes de inercia.

Independientemente de la tipología de que se trate, en todas ellas se está trabajando en aumentar la capacidad de almacenamiento y en reducir su degradación con el uso y el paso del tiempo.

*(Almacenamiento energético | Red Eléctrica, s. f.)*

Su principal inconveniente es su **elevado precio** en comparación con la capacidad de almacenamiento que proporcionan. Por ello, su uso principal se da en instalaciones aisladas de la red y en nuevos proyectos llevados a cabo por grandes empresas del sector energético en parques eólicos y fotovoltaicos.

Actualmente, la tecnología más prometedora en este sentido, son las baterías de ion-litio, que según las previsiones continuarán reduciendo sus costes en los próximos años, permitiendo su explotación comercial en combinación con plantas de generación renovable, tales como las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo o las aisladas de red, aportando servicios a los operadores de las redes eléctricas.

En definitiva, el sector ligado a la producción de la tecnología fotovoltaica está en constante desarrollo, con grandes inversiones en investigación y desarrollo tanto de capital privado como público, por lo que constantemente salen al mercado nuevos productos que implementan los avances que se van produciendo, siempre enfocados a conseguir una mayor eficiencia y reducción de los costes asociados.

# CAPÍTULO 4.

# MARCO TEÓRICO



---

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

---

Este capítulo es indispensable para comprender el resto de los que componen este TFG, pues en él se va a explicar qué es exactamente la energía solar fotovoltaica, los útiles necesarios para generarla y los diferentes tipos que existen, así como la mejor disposición de estos para maximizar la cantidad de energía producida.

Como el trabajo está formado por un segundo experimento, consistente en la medida del coeficiente de albedo y su repercusión en la producción energética de paneles fotovoltaicos bifaciales, se van a explicar también los tipos de radiación solar que existen y todo lo que es necesario para poder cuantificarla, haciendo hincapié en los métodos y utensilios que han sido utilizados para la elaboración de este informe.

### 4.1 QUÉ ES LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Este Trabajo de Fin de Grado se basa fundamentalmente en el proceso por el cual se obtiene energía eléctrica a partir de la radiación solar, conocida como **energía solar fotovoltaica**.

Ésta aprovecha la radiación solar transformándola directamente en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico, que consiste en la aparición de una corriente eléctrica por un material cuando se le ilumina con radiación electromagnética (en este caso radiación solar).

Se trata de un tipo de energía renovable, inagotable y no contaminante, que puede producirse en instalaciones que van desde los pequeños generadores para autoconsumo o las instalaciones aisladas de la red hasta las grandes plantas generadoras fotovoltaicas.

(José M. Fernández Salgado, 2007)

(Solar Fotovoltaica | Idae, s. f.)

---

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

---

### 4.2 QUÉ ES UN PANEL FOTOVOLTAICO Y QUÉ TIPOS HAY

Para generar electricidad a partir de la radiación solar se emplea un dispositivo semiconductor denominado **celda o célula fotovoltaica**, que puede ser de silicio monocristalino, policristalino o amorfo, o bien otros materiales semiconductores. Las de silicio monocristalino se obtienen a partir de un único cristal de silicio puro y alcanzan la máxima eficiencia (entre un 18 % y un 20 % de media). Las de silicio policristalino se elaboran en bloque a partir de varios cristales, por lo que resultan más baratas y poseen una eficiencia media de entre el 16 % y el 17,5 %.

Por otro lado, las de silicio amorfo presentan una red cristalina desordenada, lo que conlleva peores prestaciones (eficiencia media de entre un 8 % y un 9 %), pero también un menor precio.

TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS	RANGO DE EFICIENCIA ( % )
SILICIO MONOCRISTALINO	18 - 20
SILICIO POLICRISTALINO	16 - 17.5
SILICIO AMORFO	8 - 9

Tabla 4.2.1 1 - Resumen de los tipos de células fotovoltaicas y su rango de eficiencia  
(Elaboración propia)



Figura 4.2.1 1- Panel de silicio monocristalino (Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants, s. f.)

---

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

---



Figura 4.2.2 1- Panel de silicio policristalino (*Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants, s. f.*)

Mediante agrupaciones en serie y en paralelo de dichas células se obtienen los **paneles solares fotovoltaicos**, que absorben los fotones y liberan electrones o corriente eléctrica continua, que en la mayoría de las situaciones de consumo será necesario transformar en corriente alterna empleando **inversores**. Éstos, además, se encargarán de buscar el punto de funcionamiento de máxima potencia de los paneles. Es decir, el inversor determinará las consignas de tensión e intensidad óptimas a la que tienen que trabajar los paneles para poder extraer de ellos la mayor potencia posible.

(Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants, s. f.)

(José M. Fernández Salgado, 2007)

La principal característica que define un panel fotovoltaico, aparte del tipo de material con el que están contruidos, es la **Potencia Nominal Pico**, que es la potencia eléctrica que es capaz de suministrar una célula FV bajo condiciones de prueba estándar (STC):

- 1 kW/m<sup>2</sup> de insolación perpendicular a los paneles;
- 25 °C de temperatura en las células;
- Masa de aire (MA) igual a 1.5.

---

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

---

Varios paneles conectados eléctricamente en serie componen una **cadena o string**, y varias cadenas conectadas en paralelo para generar la potencia necesaria constituyen un generador o **huerto fotovoltaico**.

(Eduardo Lorenzo Pigueiras, 2006)

(Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants, s. f.)

(Javier Martín Jiménez, 2008)

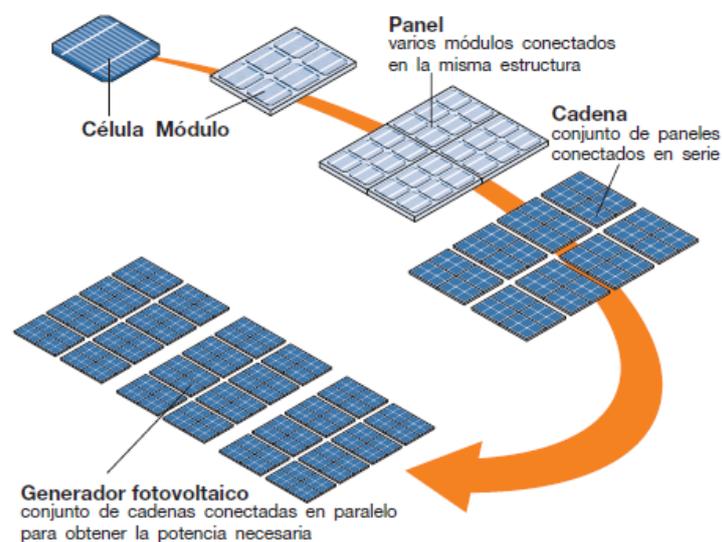


Figura 4.2.3 1- Estructura de una central solar fotovoltaica (Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants, s. f.)

Típicamente se instalan **paneles monofaciales**, es decir, la cara exterior de la placa solar, en la que están colocadas las celdas fotovoltaicas, es la que recibe los rayos solares de forma directa y los conduce convirtiéndolos en electricidad. Sin embargo, existen también **paneles bifaciales**.

A diferencia de los paneles monofaciales, que únicamente captan radiación desde una de sus caras, estando la otra compuesta por un material opaco no captador, los paneles bifaciales son un tipo de panel fotovoltaico caracterizado por presentar una ganancia de radiación tanto en la cara delantera como una adicional en la trasera de la misma y cuyo valor depende de múltiples factores externos. La situada en la parte superior, o cara principal, tiene como objetivo la captación de la irradiación solar directa, mientras que la capa situada en la parte inferior, o cara trasera, es la encargada de captar la irradiación difusa reflejada por la superficie en la que están emplazados los módulos.

---

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

---

Se estima que el uso de este tipo de placas solares supone un incremento de la producción de energía fotovoltaica que ronda el 30%.

(Krannich Solar España, 2020)

(CORPORATIVA, s. f.)

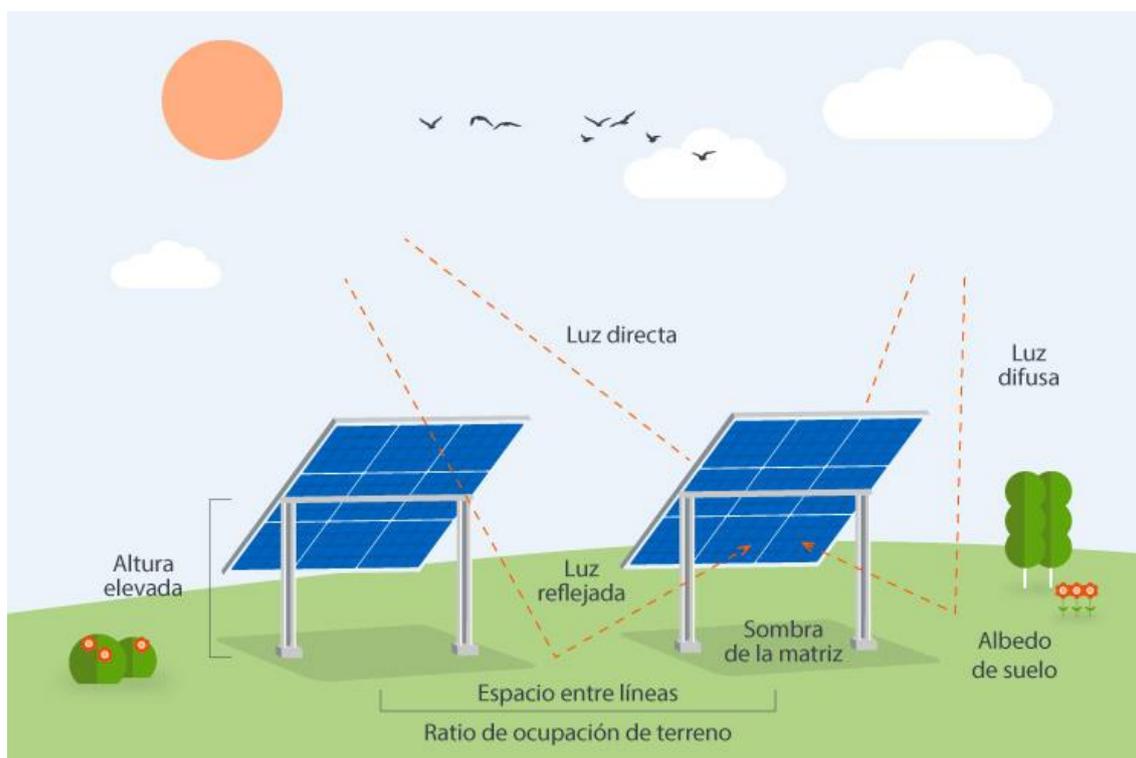


Figura 4.2.4 1 - Funcionamiento de los paneles fotovoltaicos bifaciales  
(CORPORATIVA, s. f.)

---

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

---

### 4.3 PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

En todas las plantas generadoras fotovoltaicas, ya estén conformadas por paneles monofaciales o bifaciales, hay que tener en cuenta una serie de parámetros que influyen críticamente en la cantidad de energía producida, pero en el caso de instalaciones bifaciales éstos son todavía más importantes, pues es primordial garantizar que no se van a producir sombras, ya que de lo contrario la ganancia adicional que les caracteriza se vería profundamente afectada. Además, en este tipo de paneles, incumben otros factores a mayores que en las plantas monofaciales carecen de importancia, como el albedo.

Los parámetros críticos que influyen en el diseño de las plantas con paneles bifaciales, y que determinan la ya mencionada ganancia de producción, son:

- **Albedo:** ratio de luz reflejada en la superficie en la que se encuentra instalado el panel con respecto a la radiación incidente sobre dicha superficie. En superficies de colores claros dicha reflexión será mayor que en las de colores oscuros, lo que supondrá un mayor rendimiento de la tecnología en cuestión.

No es un valor único y constante, sino que varía según la época del año y el material de cobertura del terreno (arena, roca, hierba).

- **Separación entre filas:** también llamada “pitch” o Ground Coverage Ratio (GCR), tiene un importante impacto en la cantidad de radiación que llega a la cara posterior de los paneles, al disponer de mayor o menor superficie de reflexión disponible para la radiación que incide sobre el terreno. La ganancia bifacial disminuirá al instalar múltiples filas consecutivas de estructuras fijas o con seguidores, debido a que la radiación reflejada en el suelo se va atenuando en cada fila y a que los paneles crearán sombras sobre las filas o cobertizos posteriores.

Para evitar la creación de sombras, también es aconsejable garantizar que las guías de sujeción empleadas para anclar las placas solares a la estructura

---

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

---

de montaje no se crucen perpendicularmente a la placa, es decir, conviene situarlas paralelas a los marcos de ésta.

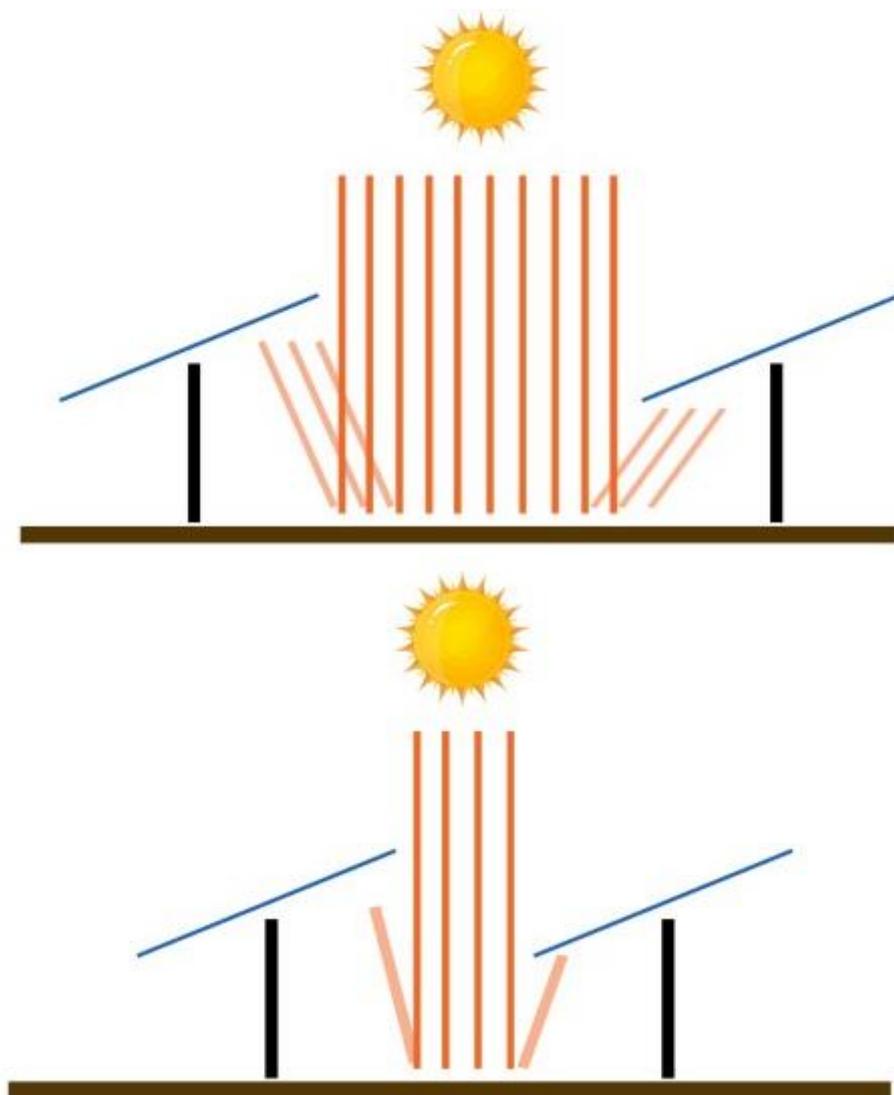


Figura 4.3.1 1- Influencia de la separación entre filas. (PLACAS SOLARES BIFACIALES», 2019)

- **Altura de montaje:** cuanto mayor sea la altura de la estructura con respecto al suelo, mayor será la ganancia de radiación incidente, y con ello la producción energética de los paneles bifaciales. Dicho de otro modo, cuanto

---

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

---

más alto esté el panel, más difusa y clara es su sombra, con lo que la radiación que obtiene de la superficie que está debajo de él es mayor.

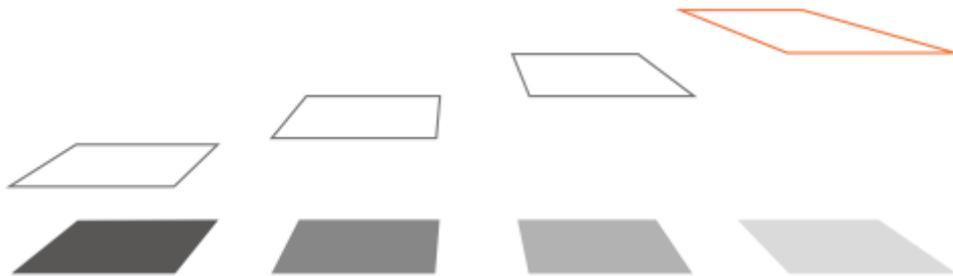


Figura 4.3.2 1 - Influencia de la altura del montaje en el albedo. (PLACAS SOLARES BIFACIALES», 2019)

- **Bifacial ratio del panel:** porcentaje de radiación recibido por la cara trasera respecto al recibido por la cara delantera durante un periodo de tiempo determinado.

$$\text{Bifacial ratio} = \frac{\text{G trasera}}{\text{G delantera}} \quad (\text{Ec. 1})$$

- **Factor de bifacialidad del panel:** porcentaje de potencia de la cara trasera respecto a la delantera, que depende principalmente de la tecnología de la célula.

$$\text{Factor de bifacialidad} = \frac{\text{Pmmp trasera}}{\text{Pmmp delantera}} \quad (\text{Ec. 2})$$

- **Ganancia bifacial del panel:** incremento de energía producida debido a la aportación de la cara trasera respecto a la delantera.

$$\begin{aligned} \text{Ganancia bifacial} &= \frac{\text{E trasera}}{\text{E delantera}} = && (\text{Ec. 3}) \\ &= \text{Bifacial ratio} \times \text{Factor de bifacialidad} \end{aligned}$$

(La tecnología para paneles bifaciales, 2021)

---

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

---

Además, al igual o incluso más que en las instalaciones conformadas por paneles monofaciales, también influirá significativamente el ángulo de inclinación con respecto a la superficie de montaje, ya que si se hace uso de esta tecnología de forma coplanar la ganancia será nula, pues la capacidad de reflexión y dispersión de la radiación difusa será muy pequeña o de valor cero.

El ángulo de inclinación también depende directamente de la latitud y de la época del año en la que se le vaya a dar un uso mayoritario a la instalación. Por ejemplo, si éste va a tener lugar en la época invernal, la inclinación ha de ser mayor a la correspondiente a la época estival. Lo más común será buscar un valor intermedio de la inclinación entre ambas estaciones.

(CORPORATIVA, s. f.)

(Krannich Solar España, 2020)

Una regla práctica para determinar la inclinación en el caso de instalaciones sin seguidores solares es:

- Para un consumo a lo largo de todo el año:  
inclinación de los paneles = latitud
- Para un consumo mayoritario en invierno:  
inclinación de los paneles = latitud + 10°
- Para un consumo mayoritario en verano:  
inclinación de los paneles = latitud + 10°

(Pedro Francisco Garcia Martin, 2022)

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

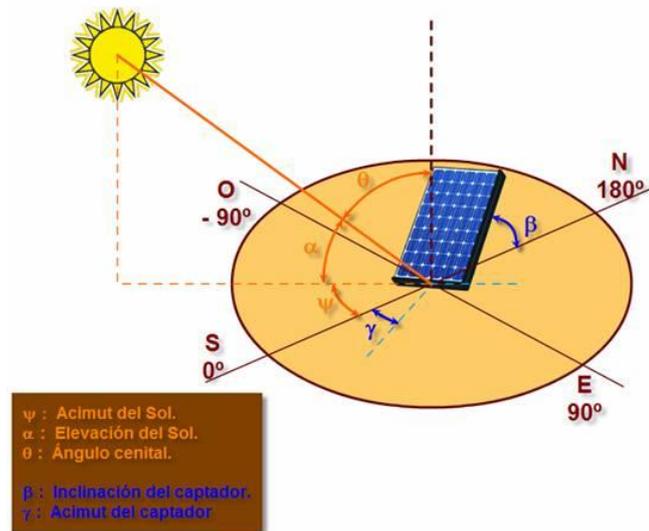


Figura 4.3.3 1- Descripción gráfica de la inclinación y el acimut (1.4.2.- Ángulos de posicionamiento solar y orientación fotovoltaica. | ISFO2.- Principios básicos de la Energía Solar Fotovoltaica., s. f.)

En cuanto a la orientación de los paneles, puesto que España se encuentra en el hemisferio norte, ésta ha de tener un valor de acimut  $0^\circ$ . Un valor positivo de acimut representa orientación oeste, mientras que un acimut negativo corresponde a la orientación este.

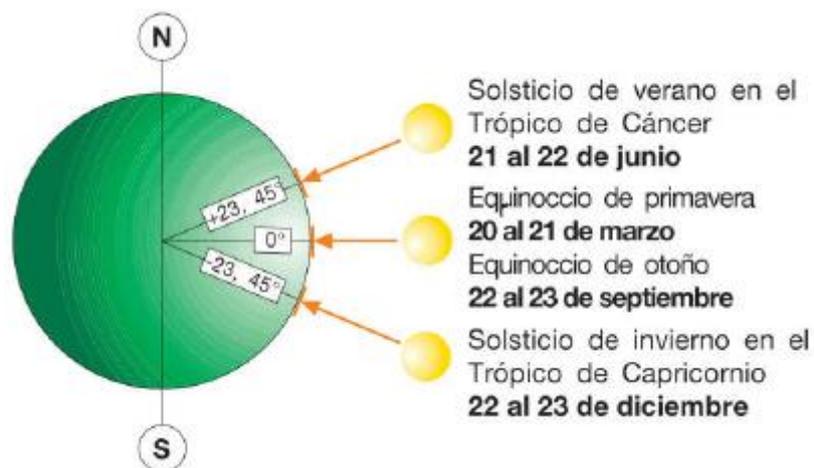


Figura 4.3.4 1 - Posición del sol en los solsticios y en los equinoccios (Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants, s. f.)

---

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

---

La eficiencia máxima de un panel solar se obtendría si el ángulo de incidencia de los rayos solares fuera siempre de  $90^\circ$ , esto es cuando el sol se encuentra en la posición de cenit.

(Eduardo Lorenzo Pigueiras, 2006)

### 4.4 RADIACIÓN SOLAR

En el núcleo del Sol se producen constantemente reacciones de fusión a millones de grados de temperatura que liberan enormes cantidades de energía en forma de radiación electromagnética. Parte de esta energía llega a la capa exterior de la atmósfera terrestre con una irradiancia promedio de aproximadamente  $1367 \text{ W/m}^2 \pm 3\%$ , valor que varía en función de la distancia entre la Tierra y el Sol y de la actividad solar.

La irradiancia solar es la intensidad de la radiación electromagnética solar incidente en una superficie de 1 metro cuadrado [ $\text{W/m}^2$ ]. Al atravesar la atmósfera, la intensidad de la radiación solar decae porque es parcialmente reflejada por las nubes y absorbida por el ozono, el oxígeno o el dióxido de carbono entre otros. La radiación que logra atravesarla queda parcialmente difusa por el aire y las partículas sólidas en suspensión.

(Eduardo Lorenzo Pigueiras, 2006)

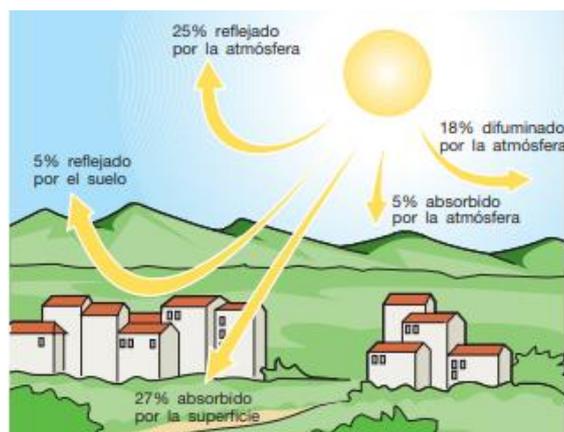


Figura 4.4.1 1 - Flujo energético entre el Sol, la atmósfera y el suelo. (*Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants, s. f.*)

---

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

---

La **Irradiación solar**, matemáticamente, se define como la integral de la irradiancia solar a lo largo de un periodo de tiempo determinado [ $\text{kWh}/\text{m}^2$ ]. Por tanto, la radiación que incide sobre una superficie horizontal está compuesta por radiación directa, relacionada con la irradiancia sobre la superficie, por radiación difusa, que llega a la superficie procedente de todo el cielo, y por radiación reflejada en determinadas superficies de la Tierra. Cuando el cielo está cubierto, la componente difusa es mayor que la directa.

(Eduardo Lorenzo Pigueiras, 2006)

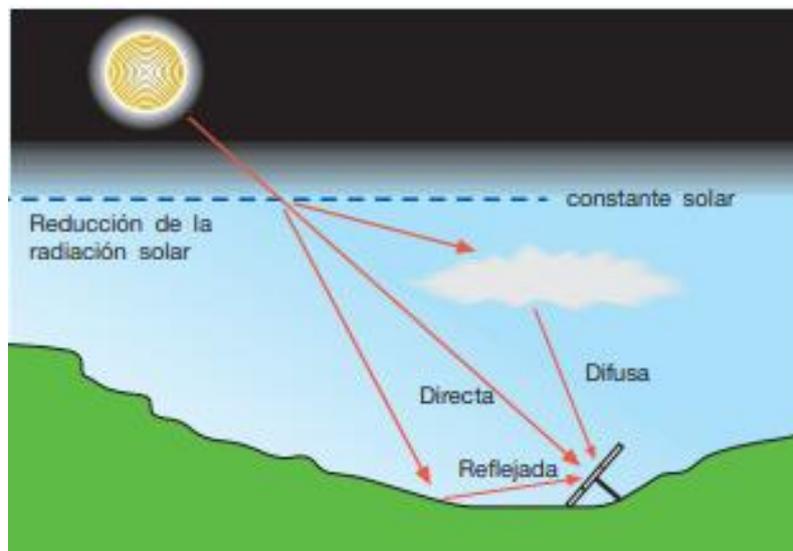


Figura 4.4.2 1 - Componentes de la radiación solar (*Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants*, s. f.)

La radiación reflejada depende de la capacidad de una superficie para reflejar la radiación solar y se mide con el **coeficiente de albedo**, que es particular a cada material.

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

Tipo de superficie	albedo
Caminos de tierra	0.04
Superficies acuosas	0.07
Bosque de coníferas en invierno	0.07
Asfalto desgastado	0.10
Tejados y terrazas alquitranados	0.13
Tierra (arcilla, caliza)	0.14
Hierba seca	0.20
Escombros	0.20
Hormigón desgastado	0.22
Bosque en otoño / campos	0.26
Hierba verde	0.26
Superficies oscuras de edificios	0.27
Hojas secas	0.30
Superficies claras de edificios	0.60
Nieve	0.75

Tabla 4.4.3 1- Coeficiente de albedo en función del tipo de superficie (*Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants, s. f.*)

Tipo de superficie	albedo
Ambiente urbano	0.14 - 0.22
Hierba	0.15 - 0.25
Hierba fresca	0.26
Nieve fresca	0.82
Nieve húmeda	0.55 - 0.75
Asfalto seco	0.09 - 0.15
Asfalto húmedo	0.18
Cemento	0.25 - 0.35
Ladrillos	0.33
Aluminio	0.85
Cobre	0.74
Acero galvanizado nuevo	0.35
Galvanizado muy sucio	0.08

Tabla 4.4.4 1- Coeficiente de albedo en función del tipo de superficie (*Modelos físicos utilizados > Modelos de irradiación > Coeficientes usuales de albedo, s. f.*)

En España, la irradiancia anual promedio varía entre los 3,2 kWh/m<sup>2</sup> diarios de algunas zonas de Asturias y Cantabria, a los 5,2 kWh/m<sup>2</sup> de zonas de Murcia y Almería y los 7,1 kWh/m<sup>2</sup> de Tenerife.

Por tanto, en las regiones con condiciones más favorables, es posible obtener alrededor de 1700-1800 kWh/m<sup>2</sup> al año.

(Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants, s. f.)

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

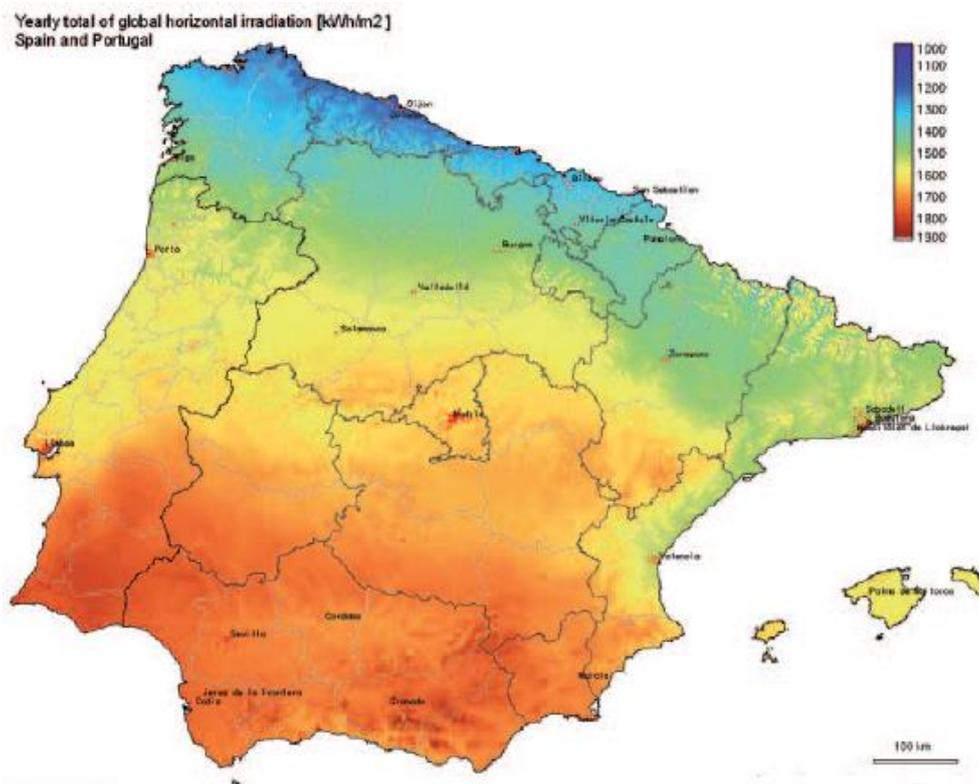


Figura 4.4.5 1 - Irradiancia anual promedio en kWh/m<sup>2</sup> en la Península Ibérica (*Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants, s. f.*)

### 4.5 QUÉ ES UN PIRANÓMETRO Y QUÉ TIPOS HAY

Para poder cuantificar el coeficiente de albedo de las distintas superficies y la irradiación solar se emplean los piranómetros.

Los piranómetros, también llamados solarímetros o actinómetros, son instrumentos de medición de la radiación solar que llega a la superficie terrestre, de tal manera que miden la densidad del flujo de radiación solar en un campo de 180 grados (kilovatios por metro cuadrado).

---

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

---

### Tipos:

- **Piranómetro térmico:** consiste en una pila termoeléctrica alojada en un recipiente formado por dos semiesferas de cristal. La pila termoeléctrica está constituida por una serie de termopares. El conjunto está pintado con barniz negro, a fin de absorber la radiación. El calor originado por la radiación se transmite a la termopila, de tal manera que se genera una tensión eléctrica proporcional a la diferencia de temperatura entre los metales de los termopares.



Figura 4.5.1 1 - Piranómetro fotovoltaico (*Kipp & Zonen, s. f.*)

- **Piranómetro fotovoltaico:** el principio de funcionamiento es el efecto fotoeléctrico. La radiación incide sobre un fotodiodo que diferencia el espectro solar por la frecuencia de la onda electromagnética, permitiendo conocer los datos de radiación mediante la lectura de tensión. Este tipo de piranómetros fotovoltaicos son más sensibles a pequeños cambios debido a que no tienen la inercia térmica de los piranómetros térmicos.



Figura 4.5.2 1- Piranómetro basado en el efecto fotovoltaico basado en un fotodiodo de silicio («*Piranómetro de Silicio*», s. f.)

---

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

---

- **Piranómetro químico:** se basan en las reacciones de productos químicos frente a la luz o el calor, reacciones que permiten medir la intensidad de las radiaciones solares. Su aspecto es similar al piranómetro térmico, solo que, en su interior, en vez de un termopar, tiene una solución líquida de sustancias químicas fotorreactivas y sensibles al calor que pueden medir el nivel total de radiación electromagnética.

Para obtener medidas válidas un piranómetro requiere de determinadas condiciones de instalación. Debe colocarse sobre una superficie plana, disponer de un campo de visión de  $180^\circ$  y recibir la luz solar cuando el sol está en ciertas posiciones, ya que si ésta llega al aparato con una inclinación de  $90^\circ$  (cuando el sol está en el horizonte), no se podría efectuar la lectura, puesto que la respuesta sería nula. Es posible realizar las mediciones desde los  $0^\circ$  (cuando el sol incide perpendicularmente sobre el sensor) hasta aproximadamente los  $60^\circ$  de inclinación. Sin embargo, cuando el sol se encuentra en el cenit, es cuando la medida es más exacta.

En algunos piranómetros se puede limitar o filtrar el rango de frecuencias incidente a ciertas bandas del espectro solar colocando filtros en la cúpula de cristal, o empleando directamente cúpulas que incorporen el filtro deseado. En ocasiones se suprime la radiación directa utilizando un disco parasol.

(Piranómetro | Guías Prácticas, 2014)

---

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

---

### 4.5.1 MODELO ESPECÍFICO EMPLEADO PARA ESTE TRABAJO

En este TFG, en concreto, se han empleado 2 piranómetros de la marca Kipp & Zonen, modelo CMP 3, pues el departamento de ingeniería eléctrica ya disponía de ellos y, además, permiten ser dispuestos para ser empleados como albedómetro. Éstos se usan para realizar mediciones de radiación solar global de onda corta, en el rango espectral de 300 a 2800 nm. El sensor termopar mide la irradiancia hasta 2000 W/m<sup>2</sup>, con un tiempo de respuesta inferior a 20 segundos y una sensibilidad que varía por debajo del 4%, desde -10°C hasta +40°C.

El rango de temperatura de operación está comprendido entre los -40°C y los +80°C, y la estabilidad es inferior a un 1% por año.

El piranómetro CMP3 cuenta con una visera solar acoplada, un sistema de nivelación integrado y un conector impermeable precableado. El cable de señal tiene una longitud de 10 m. Este modelo de piranómetro permite que se puedan montar dos unidades, base contra base, para obtener un albedómetro económico, que es la configuración que se ha utilizado para este trabajo.



Figura 4.5.1.1 1- Montaje de los piranómetros para la medida del albedo (*CMP3 second class pyranometer - Kipp & Zonen, s. f.*)

Los piranómetros no requieren alimentación eléctrica en absoluto, ya que él mismo genera una señal de 0-55 mV en relación a la cantidad de radiación entrante.

(*CMP3 second class pyranometer - Kipp & Zonen, s. f.*)

---

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

---

### 4.6 FUTURO DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Analizadas todas las variables expuestas en este trabajo, y tras todos los análisis efectuados, se pueden extraer una serie de líneas a futuro que se han expuesto, a continuación, dividiendo según se trate de la evolución de la propia energía, de la tecnología o de los materiales.

#### EVOLUCIÓN DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

La **energía solar fotovoltaica**, junto a otros tipos de energía de carácter renovable, es la base para conseguir un sistema energético descarbonizado y eficiente, especialmente en el contexto del aumento de los precios de los combustibles fósiles. Como resultado, los principales analistas recomiendan una considerable ampliación de la capacidad instalada mundial en los próximos años para poder cumplir con los Acuerdos de París y mitigar el cambio climático.

La Agencia Internacional de la Energía, en el Renewables Report 2021, dice prever que la capacidad anual instalada crezca hasta situarse en el entorno de los 200 GW. Para el periodo 2021-2026, la energía solar fotovoltaica representa casi el 60 % de la nueva capacidad renovable, con al menos 1.100 GW nuevos en funcionamiento, el doble que en los cinco años anteriores.

(UNEF, s. f.-a)

(IEA – International Energy Agency, s. f.)

En cuanto al **autoconsumo**, unos de los principales factores que podría fomentar su desarrollo, es favorecer un ahorro de más del 50% en la factura actual de la luz y **augmentar a 30 años la garantía de vida útil de los paneles solares**.

(*revistapq.com*, s. f.)

Además, como ya se ha mencionado en líneas anteriores, con la aprobación en diciembre de 2021 por parte del gobierno español de la **Hoja de Ruta de autoconsumo**, documento que era un requisito del PNIEC (Plan Nacional de Energía y Clima 2021-2030), se recogen 37 medidas de sensibilización, formación a profesionales o divulgación, con el fin de mejorar el conocimiento y la aceptación del

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

autoconsumo por parte de toda la población, ya que ésta se ha identificado como una de las principales barreras para su implantación en España.

Asimismo, contempla medidas de impulso al autoconsumo colectivo, por ejemplo, en comunidades de vecinos, y **cambios normativos** para mejorar la agilidad en la tramitación de instalaciones, motivos que llevan a profesiones del sector a esperar que en el presente año se produzca un boom de este tipo de instalaciones.

Volviendo a la estimación del potencial real de autoconsumo fotovoltaico en España, en la Hoja de ruta se marcan **9 GW en 2030** como **objetivo**. En ella se da pie también a un escenario de **alta penetración**, en el que se obtendrían **14 GW en 2030**, debido a un mayor crecimiento en el ámbito residencial mediante la eliminación de barreras en la toma de decisión a favor del autoconsumo.

Para ver con mayor claridad estos escenarios, se han incluido las siguientes infografías, donde aparecen reflejados los objetivos por sectores y comunidades autónomas:

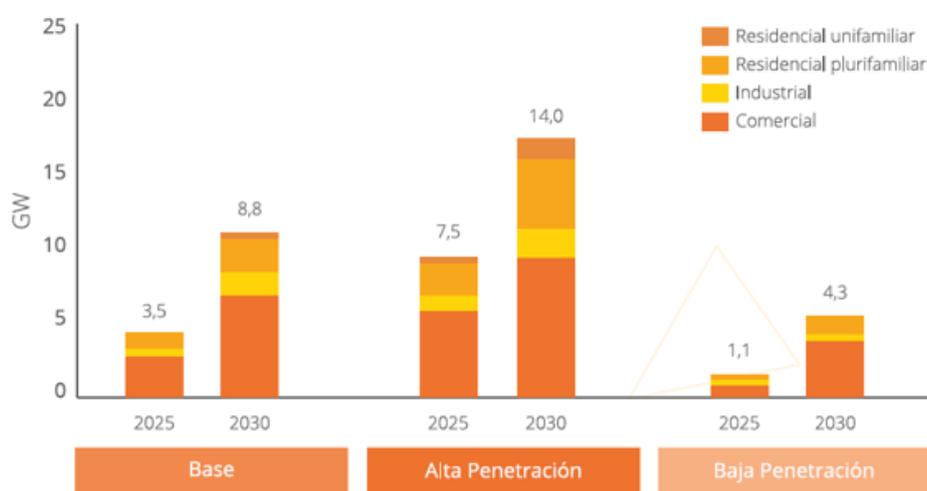


Figura 4.6.1 1 - Escenario objetivo de autoconsumo a 2025 y 2030 (*Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021*)

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO



Figura 4.6.2 1 – Potencial real del autoconsumo en España por CCAA (MW) 2025-2030  
(Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021)

### NUEVAS TENDENCIAS. EL FUTURO ELÉCTRICO

El sistema eléctrico tradicional español está basado en grandes centrales eléctricas, situadas en lugares donde los recursos de combustible o de generación hidroeléctrica eran más abundantes y rentables, que suministran energía a los usuarios finales, a través de redes de transporte y distribución, siguiendo la rigurosa cadena forma por generación, transporte, distribución y consumo.

En este sistema la generación está determinada por la demanda, y la energía eléctrica fluye en un único sentido, desde las centrales eléctricas hasta los consumidores.

Pero este modelo tradicional tiene una serie de inconvenientes:

- Casi la totalidad de la energía eléctrica se genera lejos de los puntos de consumo, en grandes instalaciones basadas mayoritariamente en el empleo de combustibles fósiles.
- Se requieren grandes líneas de alta tensión para transportar y distribuir la energía generada hasta los puntos de consumo, estando en muchos casos ya saturadas.
- Pérdida de eficiencia energética del sistema por las elevadas pérdidas de las redes de transporte y distribución 10-13%.

---

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

---

A esto hay que sumarle:

- El rápido crecimiento de instalaciones de energía renovable, que son fluctuantes en cuanto a producción y están repartidas en múltiples puntos.
- El hecho que esta generación se encuentren a veces integrados en centros de consumo, haciendo que un punto pueda cambiar de consumidor a productor, hace que el modelo tradicional basado en el flujo unidireccional se convierta en uno con flujos bidireccionales.

Todo ello está dando lugar a un modelo de futuro que ya se está comenzando a implantar en muchos lugares, y es conocido como **generación distribuida**.

Este modelo consiste en la generación de energía eléctrica mediante muchas pequeñas fuentes de generación que se instalan cerca de los puntos de consumo (microgeneración).

La generación distribuida está basada en la cooperación entre esta microgeneración y la generación de las centrales convencionales. La microgeneración implica el uso de las energías renovables, en especial la fotovoltaica, por su menor impacto en medios urbanos. Esto contribuye a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, a no depender tanto de las grandes centrales, incrementar la potencia o capacidad de generación, a reducir la saturación de las actuales redes de transporte y distribución y con ello las pérdidas durante el transporte.

Todos estos factores han conseguido que **la generación distribuida** sea uno de los **pilares** sobre los que apoya la **transición energética** en muchos países, los cuales están promoviendo mediante políticas públicas este tipo de instalaciones.

(Fernández, 2022)

(Zorita Lamadrid, Ángel Luis. Centrales Eléctricas. 2022)

---

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

---

### EVOLUCIÓN DE LOS MATERIALES FOTOVOLTAICOS

Cada vez se avanza e invierte más en la investigación y desarrollo de **nuevos materiales** para fabricar paneles solares. Se pretende que, en un futuro no muy lejano, las placas fotovoltaicas puedan llegar a tener el **grosor de un folio**, con la consecuente reducción de costes que ello conlleva.

Otros avances sobre los que se está investigando son, por ejemplo, los coches eléctricos totalmente autónomos, con ventanas fotovoltaicas y paneles solares en el techo, la pintura fotovoltaica que sea capaz de generar electricidad, los vidrios fotovoltaicos para los edificios, las tejas fotovoltaicas, etc.

Un ejemplo de estos avances es la película solar, un producto relativamente nuevo desarrollado por empresas europeas como la alemana Heliatek o la francesa Solar Cloth.

Se trata de un panel fotovoltaico flexible y que se instala casi como una hoja de vinilo, que permitiría instalar paneles solares en toda clase de edificios y estructuras, desde tejados de edificios antiguos que no soportarían el peso de paneles al uso, hasta complejas fachadas.

Esta nueva tecnología, denominada **de película orgánica**, consiste en imprimir y superponer capas de un material semiconductor sobre una fina película de plástico.

En cuanto a rendimiento, la lámina puede generar  $85 \text{ W/m}^2$  y deja una huella de carbono muy baja, de menos de  $10 \text{ g de CO}_2\text{e/kW}$ , casi siete veces inferior a la de paneles solares convencionales, según Heliatek.

(Murias, 2022)

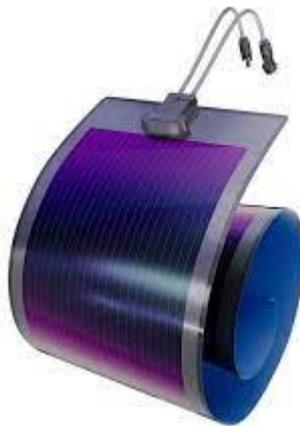


Figura 4.6.3 1- Panel fotovoltaico flexible, conocido como Heliasol. (*HeliaSol*, s. f.)

---

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO

---

### EL HIDRÓGENO VERDE Y SU RELACIÓN CON LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

El hidrógeno también se está desarrollando como método de almacenamiento de energía y es considerado actualmente como medio estratégico para la descarbonización del sistema eléctrico de potencia y del ámbito del transporte.

Es el elemento químico más abundante en la naturaleza, pero se encuentra combinado con otros elementos como el oxígeno, formando moléculas de agua, o el carbono, formando compuestos orgánicos. Por tanto, no es un combustible que pueda tomarse directamente de la naturaleza, sino que es un vector energético y por ello se tiene que “fabricar.”

(«Hidrógeno verde, ¿qué es y por qué es importante?», 2022)

Para obtener hidrógeno puro es necesario extraerlo de los compuestos en los que se encuentra formando parte o combinado, principalmente el agua, los combustibles fósiles y la materia orgánica (biomasa).

De estas fuentes de hidrógeno mencionadas se va a analizar el agua, y en las siguientes líneas se reflejará el por qué es interesante en este contexto.

Para obtener hidrógeno a partir del agua es necesario llevar a cabo un proceso conocido como **electrólisis**. Mediante éste, el agua se descompone para formar hidrógeno y oxígeno, requiriéndose un aporte energético que será suministrado mediante energía eléctrica.

El mecanismo es el siguiente: en una célula electroquímica hay dos electrodos (cátodo y ánodo) unidos por un medio conductor formado por iones  $H^+$  (protones) disueltos en agua. El paso de corriente eléctrica entre cátodo y ánodo hace que el agua se disocie, formándose hidrógeno en el cátodo y oxígeno en el ánodo.

Si en este método la energía eléctrica que necesita se obtiene de **fuentes renovables**, se estará produciendo energía sin emitir dióxido de carbono a la atmósfera, obteniéndose el tipo de hidrógeno conocido como “hidrógeno verde”.

(Zorita Lamadrid, Ángel Luis. Centrales Eléctricas. 2022)

## CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO



Figura 4.6.4 1 – Obtención de hidrógeno verde («Hidrógeno verde, ¿qué es y por qué es importante?», 2022)

Cuando se necesita convertirlo en energía, el hidrógeno almacenado en tanques específicos es canalizado hacia una pila de combustible. Allí se une de nuevo con oxígeno procedente del aire y se obtiene la energía eléctrica. De este modo, **el único residuo que deja el proceso es agua.**

Según la Agencia Internacional de la Energía, esta manera de obtener hidrógeno **ahorraría los 830 millones de toneladas anuales de CO<sub>2</sub>** que se originan cuando este gas se produce mediante combustibles fósiles.

En la actualidad, España se encuentra inmersa en varios proyectos relacionados con la producción y transporte de hidrógeno verde, y el gestor del sistema gasista español, Enagás, cree que España podrá alcanzar una producción de entre dos y tres millones de toneladas de hidrógeno verde a finales de esta década. Dado que la Unión Europea tiene como meta ser capaz de producir 10 millones de toneladas anuales de este gas en 2030, la mitad de sus necesidades totales, España sería capaz de aportar más de la quinta parte de la generación total en el continente.

(Fariza, 2023)

# CAPÍTULO 5.

## FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES



---

## CAPÍTULO 5. FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---

### 5.1 INTRODUCCIÓN

En esta sección del informe, se proporcionará una descripción detallada del trabajo de campo que ha sido necesario realizar para la consecución del trabajo final de grado propuesto, así como una visión general del material necesario para su implementación. Se explicarán las distintas etapas del proceso de montaje, que abarcan desde la colocación de los lastres de hormigón para la estructura de los paneles hasta el cableado y la configuración de los equipos de medición.

### 5.2 FASES DEL TRABAJO

Para la consecución final del proyecto propuesto, éste se ha dividido en varias fases, de modo que se pueden ir implementando de manera sucesiva y así alcanzar todos los objetivos marcados. Se introduce este apartado para tener una visión general de cómo se ha distribuido el trabajo.

#### **Fase 1: Investigación previa**

En esta primera fase se ha realizado un trabajo de investigación de las metodologías y protocolos a seguir para tomar de forma correcta todas las medidas. Durante esta fase también se fue buscando y haciendo acopio de los materiales necesarios y que se describen en el siguiente apartado.

#### **Fase 2: Preparación de los equipos de medida**

En una segunda fase se prepararon los equipos de medida, para lo que se tuvieron que realizar las siguientes acciones:

- Configuración del data logger
- Instalación de todos los softwares necesarios para la monitorización en tiempo real de la instalación y la recopilación de datos.

#### **Fase 3: Montaje**

Esta fase, estando en posesión de todo el material necesario, consistió en el montaje de la instalación, la cual se ha descrito en el apartado 5.4.

---

## CAPÍTULO 5.

### FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---

#### **Fase 4: Elección de los tipos de superficie**

Se estudiaron las distintas posibilidades a considerar para el estudio del coeficiente de albedo de las distintas superficies, siempre teniendo en cuenta cuales son las más típicas que se pueden encontrar en una instalación fotovoltaica, de cara a darle el máximo realismo a los resultados que se fuesen a obtener. Finalmente se analizaron los siguientes suelos: suelo de la propia cubierta del edificio, plástico negro, lona de plástico blanco, césped artificial y baldosas imitación cemento.

#### **Fase 5: Toma de medidas**

Después, se procedió a tomar medidas, tanto de producción energética de los paneles y su temperatura, como de radiación y coeficiente de albedo. Para éstas últimas previamente fue necesario calibrar los piranómetros.

#### **Fase 6: Análisis de los datos**

Por último, con todos los datos adquiridos, se procedió a hacer su análisis empleando hojas Excel y gráficas para verlos con mayor claridad y a extraer las conclusiones pertinentes.

### **5.3 MATERIAL**

Atendiendo a su uso concreto, el material que se ha empleado es el que, a continuación, se detalla:

#### **Material para la instalación fotovoltaica:**

- 2 paneles solares fotovoltaicos bifaciales LG 335N1T-V5 (Figura 5.5)
- Estructura soporte inclinada para cubierta para 4 módulos (Figuras 5.4 y 5.5)
- 2 micro inversores de conexión a red ENPHASE IQ7 PLUS (Figura 5.8)
- 2 convertidores de milivoltios a corriente continua en el rango 10 A /60 mV (Figura 5.8)
- 3 termopares y sus correspondientes elementos de conexión para medir las temperaturas de las caras de los paneles fotovoltaicos (Figura 5.6)
- 6 bordillos de hormigón a modo de lastre (Figura 5.3)

---

## CAPÍTULO 5. FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---

### **Material para la adquisición de datos:**

- 1 equipo de adquisición de datos HP 34970 A (Figura 5.12)
- 1 ordenador permanentemente encendido y conectado a red para la recopilación de los datos adquiridos. (Figura 5.8)

### **Material para la simulación de superficies:**

- 6 m<sup>2</sup> de plástico negro (se espera que absorba gran parte de la radiación que le llega) (Figuras 5.20 y 5.25)
- Lona de plástico blanco de 12 m<sup>2</sup> negro (se espera que refleje gran parte de la radiación que le llega) (Figuras 5.23 y 5.27)
- 6 m<sup>2</sup> de césped artificial (para simular la hierba natural que se puede encontrar en plantas fotovoltaicas) (Figuras 5.22 y 5.26)
- Baldosas imitación cemento (para simular el material que se puede encontrar en cubiertas o suelos de plantas fotovoltaicas) (Figuras 5.21 y 5.24)

### **Material para la medida de albedo:**

- 2 piranómetros Kipp & Zonen CMP 3 (Figuras 4.5.1.1 y 5.7)

*NOTA: las fichas técnicas de los paneles y cada uno de los aparatos empleados en el montaje se adjuntan en el apartado de anexos.*

---

## CAPÍTULO 5.

### FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---

#### 5.4 MONTAJE

Antes de proceder al montaje de la instalación en la cubierta, el primer paso que se dio fue elegir el punto de la cubierta en el que se iba a instalar.

La primera zona que se pensó para realizar el montaje fue la señalada con un círculo rojo en la figura 5.1. Se considera esta zona por su cercanía al futuro laboratorio de energías renovables y la existencia de conductos para el paso de los cables hasta él, pero rápidamente tuvo que ser descartada debido a que se encuentra totalmente ocupada por los conductos y máquinas de refrigeración del edificio, lo cual era incompatible con la instalación que se quería llevar a cabo.



Figura 5.1 1 – Sede Mergelina de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid. Zona elegida inicialmente (Constructora San José)

Por tanto, se tuvo que buscar por un nuevo emplazamiento que facilitase la completa instalación y desde el que se tuviese buen acceso a un laboratorio próximo en la parte inferior, por lo que el emplazamiento elegido finalmente fue el que aparece en la Figura 5.2.

---

## CAPÍTULO 5.

### FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---



Figura 5.2 1 – Sede Mergelina de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid. Zona elegida finalmente (Constructora San José)

Una vez determinado el sitio, sobre el terreno y con ayuda de una brújula, se trató de buscar la orientación lo más próxima posible al Sur, ya que es la que mayor número de horas de sol proporciona en el hemisferio en el que nos encontramos. Tras ello, se procedió a transportar hasta la cubierta y a colocar en ella con la citada orientación los bordillos de hormigón que se iban a emplear como lastres para la estructura, ya que debido a las características del suelo no era posible su fijación directamente a ella, siendo éstos la mejor opción posible (Figura 5.3)



Figura 5.3 1 – Detalle de los bordillos de hormigón empleados como lastres (Elaboración propia)

---

## CAPÍTULO 5. FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---

El siguiente paso fue anclar y montar sobre los lastres la estructura soporte de aluminio para los paneles fotovoltaicos (Figura 5.4):



Figura 5.4 1 - Lastres de hormigón con orientación sur y proceso de montaje de la estructura anclada sobre ellos *(Elaboración propia)*

Una vez que la estructura estaba totalmente montada y fijada se instalaron los paneles fotovoltaicos sobre ella. La estructura utilizada es un modelo comercial para cuatro módulos, por lo que se adaptó de forma que se pudiesen instalar sobre ella dos módulos de forma horizontal en los huecos centrales creados por los perfiles que la componen, de forma que éstos no creasen sombras a los paneles.



Figura 5.5 1 - Instalación de los paneles fotovoltaicos sobre la estructura soporte *(Elaboración propia)*

---

## CAPÍTULO 5. FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---

A continuación, se pegaron sobre la superficie de las tres caras de los paneles (cara principal de los paneles bifacial y monofacial y cara trasera del bifacial) los tres termopares (señalado con un círculo rojo) para medir la temperatura de cada una de ellas. (Figura 5.6)

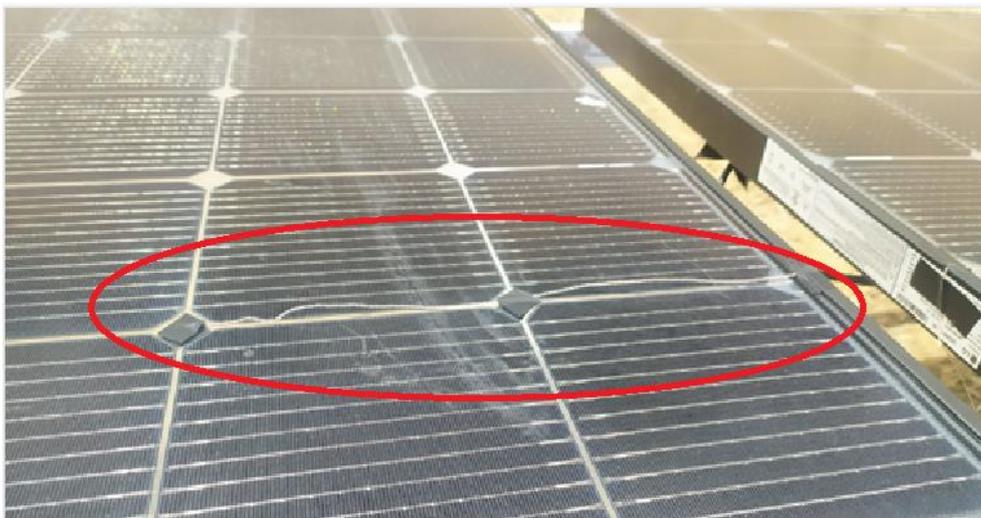


Figura 5.6 1 – Termopar fijado sobre la cara frontal de unos paneles

*(Elaboración propia)*

Sobre la estructura se fijaron también los piranómetros empleados para la medida de radiación y la caja con las regletas de conexión necesarias para los termopares. (Figura 5.7)



Figura 5.7 1 – Piranómetros y caja de conexiones sobre la estructura soporte *(Elaboración propia)*

---

## CAPÍTULO 5. FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---

Antes de proceder a cablear la instalación, se colocó un armario metálico estanco en el que se iba centralizar el montaje. En su interior se fijaron todas las regletas de conexión y los shunt empleados como elementos de conversión de milivoltios a corriente en continua, así como el equipo de adquisición de datos HP y el ordenador conectado a red para la recopilación de los datos adquiridos y la programación diaria del citado equipo de medida. En el exterior se fijaron los microinversores, ya que cuentan con un grado de protección IP67, con lo que soportan correctamente las condiciones climáticas a las que iba a estar expuestos (Figura 5.8).



Figura 5.8 1 – A la izquierda emplazamiento y cableado del armario, a la derecha detalle de los inversores, y en el centro estado final del armario con todos los componentes ya en su interior *(Elaboración propia)*

Con el armario ya fijado en su lugar llega el momento de cablear los componentes instalados en la estructura con éste. Dicho cableado está conformado por los cables de potencia que evacúan la energía producida por los paneles y los cables de señal (tensión en una escala de mV) de piranómetros y termopares. Al tratarse de dos circuitos claramente diferenciados se optó por conducirlos a través de dos tubos diferentes. (Figura 5.9)

---

## CAPÍTULO 5.

### FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---



Figura 5.9 1 – Conducción del cableado hasta el armario. A la izquierda el circuito de potencia y a la derecha el circuito de señal (Elaboración propia)

Durante el proceso de cableado surgió el inconveniente de que los cables preconectorizados de los piranómetros no eran lo suficientemente largos para llegar desde la posición de la estructura hasta la posición del armario, por lo que fue necesario alargarlos. Para realizar este alargue no se podía emplear cualquier tipo de cable, ya que estos aparatos emplean un cable similar a los de datos y apantallado, para evitar que se produzcan interferencias o pérdidas que alteren la medición. Por ello, el empalme de los cables tuvo que realizarse en el interior de una caja metálica a la que se soldaron las pantallas de los cables (Figura 5.10), que a su vez se introdujo en otra caja estanca de plástico para que el conjunto quedase totalmente protegido.



Figura 5.10 1 – Detalle de la caja metálica empleada para la soldadura ya instalada dentro de la caja estanca (Elaboración propia)

---

## CAPÍTULO 5.

### FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---

Con todo el cableado ya recibido en el armario y las pertinentes conexiones hechas, el siguiente paso a seguir era conectar todos los cables cuyas magnitudes físicas se querían medir a la tarjeta (Figura 5.11) que después se debe insertar en el equipo de adquisición de datos.



Figura 5.11 1 - Tarjeta multiplexora ya cableada (*Elaboración propia*)

El equipo de adquisición de datos elegido (Figura 5.12) es un data logger de la marca HP, modelo Benchlink 34970 (Figura 5.12), que permite recoger todas las medidas necesarias para el estudio (tensiones y temperaturas) y gracias a su conexión al ordenador a través de un puerto RS-232 permite ser programado para que comience a trabajar automáticamente y el posterior volcado de los datos recogidos a un archivo CSV.



Figura 5.12 1 - Equipo de adquisición de datos (data logger) HP Agilent 34970 A empleado (*Elaboración propia*)

---

## CAPÍTULO 5.

### FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---

Por último, antes de empezar a tomar medidas y puesto que ambos paneles fotovoltaicos eran bifaciales, era necesario sombrear la cara trasera de uno de ellos para que se comportase como uno monofacial, de esta forma las características internas de ambos serían iguales y no se falsearían los datos recogidos. En un primer momento se optó por utilizar una plancha de plástico negro directamente pegada a la cara trasera del panel (Figura 5.13), pero esto hizo que la temperatura de dicha cara aumentase considerablemente, con la consecuente pérdida de rendimiento que ello conlleva.



Figura 5.13 1 - Detalle del panel empleado como monofacial ya sombreado con el plástico  
(Elaboración propia)

Para evitar el aumento de temperatura provocado por la plancha de plástico, se optó por construir una estructura a base de láminas de madera (Figura 5.14) que se encastró directamente en la estructura soporte, dejando hueco suficiente entre la madera y el panel para que circulase el aire y evitar así la retención de calor.

---

## CAPÍTULO 5. FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---



Figura 5.14 1 – Estructura construida a base de unir láminas de madera (*Elaboración propia*)

Tal y como se aprecia en la figura anterior, la estructura era del color natural de la madera y para que cumplierse su cometido era necesario que fuese totalmente negra (Figura 5.15), por lo que se procedió a pintarla.



Figura 5.15 1 – Estructura de madera ya pintada de negro (*Elaboración propia*)

Una vez pintada se encastró en la estructura soporte (Figura 5.16), tal como se muestra, de forma que se garantiza la total inoperatividad de la parte trasera de la placa.

---

## CAPÍTULO 5. FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---



Figura 5.16 1 - Estructura de madera encastrada en la estructura soporte (*Elaboración propia*)



Figura 5.17 1 - Vista por delante del panel solar ya sombreado con la estructura de madera (*Elaboración propia*)

Para la medida de albedo se construyó una estructura metálica empleando barras de aluminio, de forma que el brazo que sostiene los piranómetros queda a una altura de 1.5 m respecto del suelo, tal y como marca el protocolo para dicha medida.

---

## CAPÍTULO 5. FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---



Figura 5.18 1 – Estructura soporte de aluminio para la medida de albedo (*Elaboración propia*)

En resumen, el detallado proceso de montaje descrito anteriormente ha permitido la implementación exitosa de las diferentes fases del trabajo, desde la colocación de los lastres de hormigón hasta la configuración de los equipos de medida. Este correcto montaje garantizará la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos en este estudio.

### 5.5 MEDICIONES

Una vez completado el montaje, se procedió a iniciar el proceso de toma de medidas. Para garantizar una planificación adecuada, se establecieron plazos predefinidos en los que se determinaron períodos de una semana cada uno para la medición de cada superficie. El inicio se llevó a cabo midiendo directamente sobre el material de la cubierta, considerado como pasto. Posteriormente, se procedió a colocar el plástico negro, seguido de las baldosas imitación cemento. Luego se instaló el césped artificial y, finalmente, se añadió la lona de plástico de color blanco.

Durante el período designado para cada material, se programó el equipo de medición diariamente, desde las 7 de la mañana hasta las 10 de la noche. Esto permitió

---

## CAPÍTULO 5. FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---

obtener mediciones precisas y exhaustivas en diferentes momentos del día, abarcando una amplia gama de condiciones de radiación solar y ángulos de incidencia.

A continuación, pueden observarse las fotografías tomadas durante el proceso de medición (Figuras 5.19 a 5.23), donde se pueden identificar las distintas fases que ha implicado este montaje, con las diferentes superficies anteriormente mencionadas.



Figura 5.19 1 – Medida de la superficie de la propia cubierta, considerada pasto  
(Elaboración propia)



Figura 5.20 1 – Medida de la superficie de plástico negro (Elaboración propia)

---

## CAPÍTULO 5. FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---



Figura 5.21 1 – Medida de la superficie de baldosas imitación cemento (*Elaboración propia*)



Figura 5.22 1 – Medida de la superficie de césped artificial (*Elaboración propia*)

---

## CAPÍTULO 5. FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---



Figura 5.23 1 – Medida de la superficie de lona blanca (*Elaboración propia*)

### **Toma de datos para la determinación del coeficiente de albedo**

Para la medida del coeficiente de albedo, la colocación de los piranómetros sobre la estructura soporte de los paneles no cumplía con lo establecido en el protocolo para la obtención de este coeficiente, pues éstos no se encontraban paralelos al suelo ni a una altura de 1.5 m. Por estos motivos se decidió desmontarlos de ella para montarlos en la estructura construida para tal efecto (Figura 5.24). En esta parte se estableció un periodo de medición de 8 horas para cada una de las superficies, todos ellos comprendidos entre las 10 y las 18 horas de cinco días consecutivos.

Con antelación se había procedido a calcular una constante de correlación entre ambos piranómetros, pues cada uno venía calibrado de fábrica con una constante de calibración distinta y las medidas tomadas a través de cada uno no serían relacionables entre sí para la obtención del coeficiente de albedo (Figuras 5.24 y 5.25)

---

## CAPÍTULO 5. FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---



Figura 5.24 1 – Uno de los piranómetros con su constante de calibración  
( $12.66 \times 10^{-6} \text{ V/Wm}^{-2}$ ) (Elaboración propia)



Figura 5.25 1 – Segundo piranómetro con su constante de calibración  
( $12.15 \times 10^{-6} \text{ V/Wm}^{-2}$ ) (Elaboración propia)

## CAPÍTULO 5. FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

Para ello se pusieron a medir, situados en la estructura soporte de paneles, totalmente paralelos y coplanares, durante un periodo aproximado de una semana.

Con los datos que se obtuvieron de estas medidas, se le pidió ayuda al profesor Óscar Duque, quien estudió la función de ajuste que mejor se adaptaba a las medidas, siendo la exponencial de segundo orden la elegida (Tabla 5.26). El piranómetro que se tomó como referencia fue el colocado boca abajo, es decir, el encargado de medir la radiación de albedo o difusa.

Factor de corrección piranómetro global			
Función de ajuste	$f(x) = a \cdot \exp(b \cdot x) + c \cdot \exp(d \cdot x)$		
a	0.9875		
b	6.90E-06		
c	193.5		
d	-0.08018		
x	radiación medida		
Valor mínimo de radiación para aplicar factor	150	W/m <sup>2</sup>	

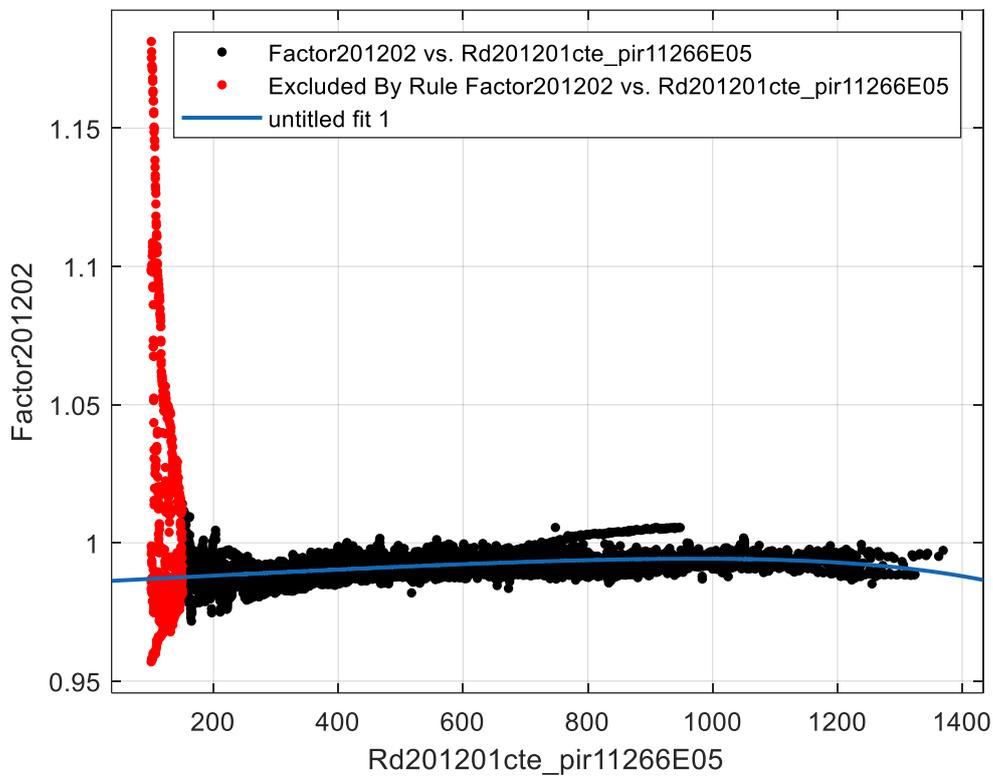
Tabla 5.26 1 – Factor de corrección del piranómetro de medida de la radiación global  
(Elaboración propia)

Gracias a la gráfica obtenida a partir de los datos con los que se ha obtenido la función de ajuste (Gráfica 5.27), se ha observado que para valores bajos de radiación (por debajo de 150 W/m<sup>2</sup>) la dispersión entre los valores del factor de corrección es muy grande, variando entre 0.95 y 1.15 aproximadamente (puntos en rojo visibles a la izquierda de la gráfica), motivo por el que se ha decidido filtrar y tener en cuenta únicamente los datos de radiación que superen los citados 150 W/m<sup>2</sup>.

---

## CAPÍTULO 5. FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---



Gráfica 5.27 1- Gráfica obtenida a partir de los datos medidos para la obtención del factor de corrección del piranómetro global (*Elaboración Propia*)

Acto seguido, habiendo obtenido el factor de corrección y con la ayuda del equipo de adquisición de datos, se midieron las señales de cada piranómetro y, comparando la radiación medida por ambos piranómetros, se puede determinar el coeficiente de albedo de la superficie donde estos están ubicados y para el nivel de irradiancia medida por el piranómetro que mide la radiación horizontal. Estas medidas, tal y como ya se ha explicado, se han realizado a lo largo de varios días para observar si el coeficiente de albedo varía con el nivel de radiación y con el ángulo de incidencia de ésta.

Si se varía la superficie del suelo (césped, hormigón, superficie clara, oscura, metálica, etc.) se puede sacar el coeficiente de albedo en función de la superficie.

Las medidas obtenidas se emplearán para determinar cuál es la influencia del coeficiente de albedo en la producción energética de los paneles bifaciales en comparación con los monofaciales. Para ello se deberá medir la energía producida por un panel monofacial y por otro bifacial, así como el coeficiente de albedo al que se ven sometidos ambos paneles.

---

## CAPÍTULO 5. FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---

Se procede de manera análoga con cada una de las superficies seleccionadas, para, así, determinar la influencia real que este coeficiente puede tener en cada una de las distintas condiciones a las que ha sometido el estudio. A continuación, se muestran las fotografías del proceso de medida del coeficiente de albedo de cada una de las superficies seleccionadas (figuras 5.28 a 5.32):



Figura 5.28 1- Medida del coeficiente de albedo de la superficie de baldosas imitación cemento (*Elaboración propia*)



Figura 5.29 1- Medida del coeficiente de albedo de la superficie de plástico negro (*Elaboración propia*)

---

## CAPÍTULO 5. FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---



Figura 5.30 1- Medida del coeficiente de albedo de la superficie de césped artificial  
(Elaboración propia)



Figura 5.31 1- Medida del coeficiente de albedo de la superficie de lona de plástico blanco  
(Elaboración propia)

---

## CAPÍTULO 5. FASES DEL TRABAJO, MONTAJE Y MEDICIONES

---



Figura 5.32 1- Medida del coeficiente de albedo de la superficie de la propia cubierta del edificio (*Elaboración propia*)



# CAPÍTULO 6.

# RESULTADOS



---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

En este capítulo se presentarán los datos numéricos obtenidos durante las mediciones realizadas. Estos datos serán expuestos de manera clara y concisa, respaldados por gráficas que ayudarán a visualizar y comprender mejor los resultados. Esta presentación se va a dividir en términos de producción energética, radiación, horas equivalentes y temperatura, así como de coeficiente de albedo. Con todo ello se dispondría de las variables necesarias para poder llevar a cabo el estudio y poder extraer conclusiones.

Puesto que el coeficiente de albedo va a repercutir en la producción energética de los paneles fotovoltaicos, éstos cuentan con un apartado especial y, por tanto, van a ser los primeros en ser expuestos.

Finalmente, se analizarán los resultados obtenidos y se extraerán conclusiones relevantes. Estas conclusiones estarán respaldadas por la información recopilada durante el proceso experimental y se presentarán de forma coherente. La inclusión de gráficas en esta sección proporcionará una visualización más completa de los hallazgos y contribuirá a una mejor comprensión de los resultados obtenidos.

### 6.1 COEFICIENTES DE ALBEDO

En este apartado se exponen y analizan los datos y resultados obtenidos mediante el proceso descrito en el apartado anterior para hallar el coeficiente de albedo, para cada una de las distintas superficies.

#### 6.1.1 MEDIDAS Y RESULTADOS

Con el fin de obtener una definición más precisa del coeficiente de albedo, se presentan los valores principales obtenidos para cada una de las superficies analizadas.

Cabe destacar que el proceso de "calibración" de los piranómetros se lleva a cabo para obtener el factor de corrección necesario y aplicar un filtrado de los datos medidos a partir de  $150 \text{ w/m}^2$ . Este proceso asegura una mayor precisión en las mediciones.

Una vez realizada la calibración, se obtienen los valores promedio de la radiación de albedo y la radiación global. El coeficiente de albedo se calcula dividiendo el valor promedio de la radiación de albedo entre la radiación global. Este cociente se multiplica por cien para expresar el resultado en tanto por ciento. De esta manera, se obtiene el valor final del coeficiente de albedo, que representa la proporción de

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

radiación reflejada por una superficie respecto a la incidente. Así, a continuación, se detallan los resultados obtenidos en cada una de las distintas superficies.

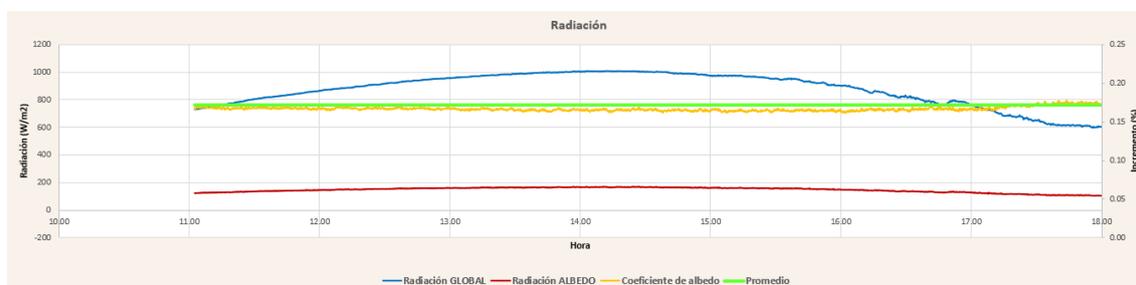
### COEFICIENTE DE ALBEDO DEL PROPIO SUELO DE LA CUBIERTA

<b>Radiación</b>	<b>Radiación GLOBAL Total</b> recibida durante el periodo de medida	2449.69 kW/m <sup>2</sup>		
	<b>Radiación ALBEDO Total</b> recibida durante el periodo de medida	413.34 kW/m <sup>2</sup>		
	<b><u>Coeficiente de ALBEDO</u></b>	<b>Promedio</b>	<b>0.172</b>	17.18%
		<b>Máximo</b>	<b>0.220</b>	21.99%
		<b>Mínimo</b>	<b>0.162</b>	16.19%

Tabla 6.1.1 1- Resultados de las mediciones realizadas para hallar el coeficiente de albedo de la superficie del propio suelo de la cubierta (*Elaboración Propia*)

Durante el periodo de medición, el valor total de la radiación global recibida ha sido de 2449.69 kW/m<sup>2</sup>, mientras que el de la radiación de albedo o difusa ha sido de 413.34 kW/m<sup>2</sup>. Tras realizar las operaciones matemáticas pertinentes tomando como datos los valores promedio, el **coeficiente de albedo obtenido** para la superficie del propio suelo de la cubierta es de un **17.18 %**.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la radiación a lo largo del periodo de medición.



Gráfica 6.1.1 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para el cálculo del coeficiente de albedo de la superficie del propio suelo de la cubierta (*Elaboración Propia*)

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, aparece la escala de **radiación en kW/m<sup>2</sup>**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento promedio en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** se pueden ver las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

Por gama de colores, se puede distinguir lo siguiente: en color azul se ha representado la evolución de los valores de la **radiación global**, en rojo los de la **radiación de albedo o difusa**, en amarillo el valor del **coeficiente de albedo en cada instante** y, en verde, el **valor promedio del mismo** y que se ha considerado como el valor propio de la superficie de estudio.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

Se puede ver que la tendencia del coeficiente de albedo no es una línea recta, sino una curva, debido a que la intensidad de radiación varía a lo largo del día, alcanzando el valor mínimo (16.19%) en los últimos instantes del periodo de medición y el más alto en los instantes centrales, en torno a las 14:30 horas (21.99%).

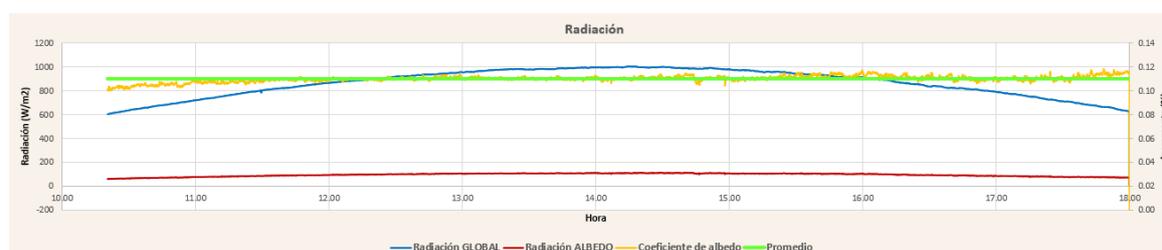
### COEFICIENTE DE ALBEDO DE LA SUPERFICIE DE PLÁSTICO NEGRO

<b>Radiación</b>	<b>Radiación GLOBAL Total</b> recibida durante el periodo de medida	2384.51	kW/m <sup>2</sup>	
	<b>Radiación ALBEDO Total</b> recibida durante el periodo de medida	262.74	kW/m <sup>2</sup>	
	<b><u>Coeficiente de ALBEDO</u></b>	<b>Promedio</b>	<b>0.110</b>	11.00%
		<b>Máximo</b>	<b>0.118</b>	11.81%
		<b>Mínimo</b>	<b>0.100</b>	10.01%

Tabla 6.1.1.2 1- Resultados de las mediciones realizadas para hallar el coeficiente de albedo de la superficie de plástico negro (*Elaboración Propia*)

Tal como se puede comprobar en la tabla 5.6.2. donde aparece un resumen de los resultados de las mediciones realizadas, durante el periodo de medición, el valor total de la radiación global recibida ha sido de 2384.51 kW/m<sup>2</sup>, mientras que el de la radiación de albedo o difusa ha sido de 262.74 kW/m<sup>2</sup>. Tras realizar las operaciones matemáticas pertinentes tomando como datos los valores promedio, el **coeficiente de albedo obtenido** para la superficie del propio suelo de la cubierta es de un **11.00 %**.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la radiación a lo largo del periodo de medición.



Gráfica 6.1.1.2 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para el cálculo del coeficiente de albedo de la superficie de plástico negro (*Elaboración Propia*)

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, se puede apreciar la escala de **radiación en kW/m<sup>2</sup>**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento promedio en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** aparecen las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

Si se verifica por colores, en color azul se ha representado la evolución de los valores de la **radiación global**, en rojo los de la **radiación de albedo o difusa**, en amarillo el valor del **coeficiente de albedo en cada instante** y, en verde, el **valor promedio del mismo** y que se ha considerado como el valor propio de la superficie de estudio.

Se puede ver que la tendencia del coeficiente de albedo no es una línea recta, sino una curva, debido a que la intensidad de radiación varía a lo largo del día, alcanzando el valor mínimo (10.01%) en los primeros y en los últimos instantes del periodo de medición y el más alto en los instantes centrales, en torno a las 14:00 horas (11.81 %).

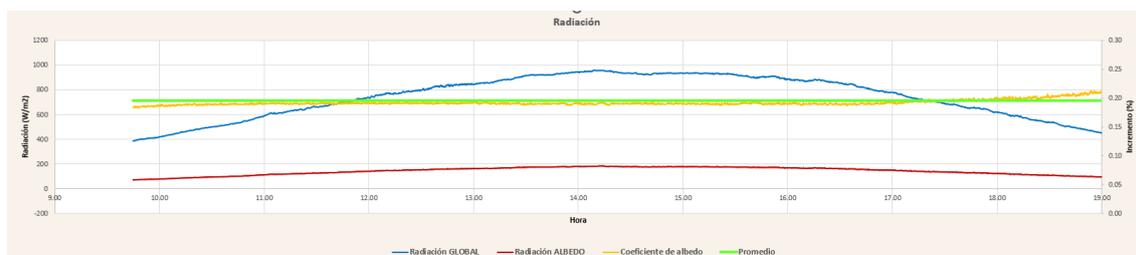
### COEFICIENTE DE ALBEDO DE LAS BALDOSAS IMITACIÓN CEMENTO

<b>Radiación</b>	<b>Radiación GLOBAL Total</b> recibida durante el periodo de medida	2602.94 kW/m <sup>2</sup>		
	<b>Radiación ALBEDO Total</b> recibida durante el periodo de medida	503.36 kW/m <sup>2</sup>		
	<b><u>Coeficiente de ALBEDO</u></b>	<b>Promedio</b>	<b>0.196</b>	19.57%
		<b>Máximo</b>	<b>0.259</b>	25.86%
		<b>Mínimo</b>	<b>0.183</b>	18.35%

Tabla 6.1.1.3 1- Resultados de las mediciones realizadas para hallar el coeficiente de albedo de la superficie de baldosas imitación cemento (*Elaboración Propia*)

Durante el periodo de medición, el valor total de la radiación global recibida ha sido de 2602.94 kW/m<sup>2</sup>, mientras que el de la radiación de albedo o difusa ha sido de 503.36 kW/m<sup>2</sup>. Tras realizar las operaciones matemáticas pertinentes tomando como datos los valores promedio, el **coeficiente de albedo obtenido** para la superficie del propio suelo de la cubierta es de un **19.57 %**.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la radiación a lo largo del periodo de medición.



Gráfica 6.1.1.3 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para el cálculo del coeficiente de albedo de la superficie de baldosas imitación cemento (*Elaboración Propia*)

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, aparece la escala de **radiación en kW/m<sup>2</sup>**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento promedio en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** se pueden ver las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

En color azul se ha representado la evolución de los valores de la **radiación global**, en rojo los de la **radiación de albedo o difusa**, en amarillo el valor del **coeficiente de albedo en cada instante** y, en verde, el **valor promedio del mismo** y que se ha considerado como el valor propio de la superficie de estudio.

Observando la gráfica se puede apreciar que la tendencia del coeficiente de albedo no es una línea recta, sino una curva, debido a que la intensidad de radiación varía a lo largo del día, alcanzando el valor mínimo (18.35 %) en los primeros y en los últimos instantes del periodo de medición y el más alto en los instantes centrales, en torno a las 14:00 horas (25.86 %).

### COEFICIENTE DE ALBEDO DE LA SUPERFICIE DE LONA DE PLÁSTICO BLANCO

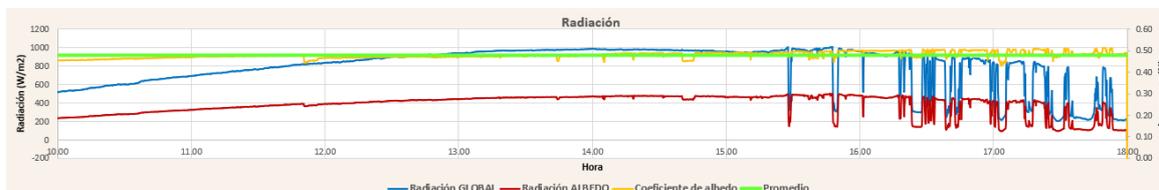
<b>Radiación</b>	<b>Radiación GLOBAL Total</b> recibida durante el periodo de medida	2288.63 kW/m <sup>2</sup>		
	<b>Radiación ALBEDO Total</b> recibida durante el periodo de medida	1098.23 kW/m <sup>2</sup>		
	<b>Coeficiente de ALBEDO</b>	<b>Promedio</b>	<b>0.479</b>	<b>47.89%</b>
		<b>Máximo</b>	<b>0.512</b>	<b>51.24%</b>
		<b>Mínimo</b>	<b>0.430</b>	<b>43.05%</b>

Tabla 6.1.1.4 1- Resultados de las mediciones realizadas para hallar el coeficiente de albedo de la superficie de lona de plástico blanco (*Elaboración Propia*)

Durante el periodo de medición, el valor total de la radiación global recibida ha sido de 2288.63 kW/m<sup>2</sup>, mientras que el de la radiación de albedo o difusa ha sido de 1098.23 kW/m<sup>2</sup>. Tras realizar las operaciones matemáticas pertinentes tomando como datos los valores promedio, el **coeficiente de albedo obtenido** para la superficie del propio suelo de la cubierta es de un **47.89 %**.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la radiación a lo largo del periodo de medición.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS



Gráfica 6.1.1.4 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para el cálculo del coeficiente de albedo de la superficie de lona de plástico blanco (*Elaboración Propia*)

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, aparece la escala de **radiación en kW/m<sup>2</sup>**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento promedio en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** se pueden ver las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

En color azul se ha representado la evolución de los valores de la **radiación global**, en rojo los de la **radiación de albedo o difusa**, en amarillo el valor del **coeficiente de albedo en cada instante** y, en verde, el **valor promedio del mismo** y que se ha considerado como el valor propio de la superficie de estudio.

En este caso se aprecia que la tendencia del coeficiente de albedo es más similar a una línea recta que a una curva, debido a que el día que se realizaron las mediciones hubo intervalos de nubes y claros, alcanzando el valor mínimo (43.05 %) en los primeros instantes del periodo de medición y el máximo en los últimos, cercanos a las 18:00 horas (51.24 %).

### COEFICIENTE DE ALBEDO DE LA SUPERFICIE DE CÉSPED ARTIFICIAL

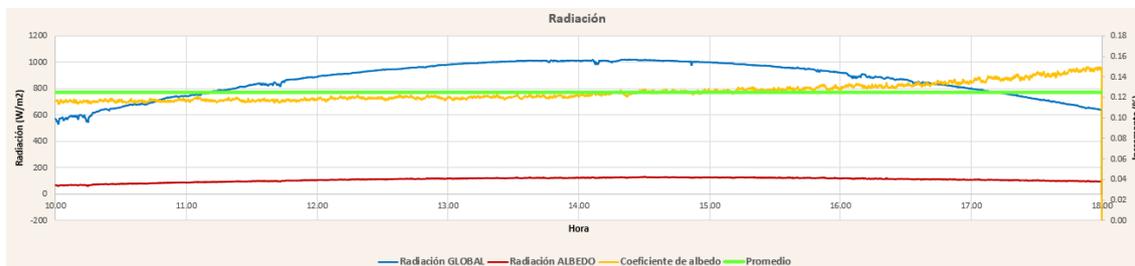
<b>Radiación</b>	<b>Radiación GLOBAL Total</b> recibida durante el periodo de medida	2508.14 kW/m <sup>2</sup>		
	<b>Radiación ALBEDO Total</b> recibida durante el periodo de medida	312.86 kW/m <sup>2</sup>		
	<b>Coeficiente de ALBEDO</b>	<b>Promedio</b>	<b>0.125</b>	<b>12.49%</b>
		<b>Máximo</b>	<b>0.150</b>	<b>14.96%</b>
		<b>Mínimo</b>	<b>0.114</b>	<b>11.36%</b>

Tabla 6.1.1.5 1- Resultados de las mediciones realizadas para hallar el coeficiente de albedo de la superficie de césped artificial (*Elaboración Propia*)

Durante el periodo de medición, el valor total de la radiación global recibida ha sido de 2508.14 kW/m<sup>2</sup>, mientras que el de la radiación de albedo o difusa ha sido de 312.86 kW/m<sup>2</sup>. Tras realizar las operaciones matemáticas pertinentes tomando como datos los valores promedio, el **coeficiente de albedo obtenido** para la superficie del propio suelo de la cubierta es de un **12.49 %**.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la radiación a lo largo del periodo de medición.



Gráfica 6.1.1.5 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para el cálculo del coeficiente de albedo de la superficie de césped artificial (*Elaboración Propia*)

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, aparece la escala de **radiación en kW/m<sup>2</sup>**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento promedio en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** se pueden ver las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

Por gama cromática, en color azul se ha representado la evolución de los valores de la **radiación global**, en rojo los de la **radiación de albedo o difusa**, en amarillo el valor del **coeficiente de albedo en cada instante** y, en verde, el **valor promedio del mismo** y que se ha considerado como el valor propio de la superficie de estudio.

En esta última gráfica se puede ver que la tendencia del coeficiente de albedo nuevamente no es una línea recta, sino una curva, debido a que la intensidad de radiación varía a lo largo del día, alcanzando el valor mínimo (11.36 %) en los primeros y en los últimos instantes del periodo de medición y el más alto en los instantes centrales, en torno a las 14:30 horas (14.96 %).

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

### 6.1.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Analizados los puntos anteriores, se obtienen los siguientes resultados:

En cuanto al coeficiente de albedo:

#### **Coeficiente de albedo de la superficie del propio suelo de la cubierta**

Este tipo de superficie podría asemejarse a la que el Cuaderno de Aplicaciones Técnicas de ABB n°10 llama “Hierba seca” (ver Tabla 4.4.3) y a la de “Grass” de PVSyst (ver Tabla 4.4.4). Teniendo en cuenta que la superficie que se ha estudiado no estaba completamente cubierta de pasto o hierba seca, la diferencia entre los valores considerados como teóricos (el del citado cuaderno técnico y el del software), el valor obtenido experimentalmente puede darse como correcto.

COEFICIENTE DE ALBEDO DEL SUELO DE LA CUBIERTA			
VALOR SEGÚN ABB	HIERBA SECA	VALOR SEGÚN PVSYST	HIERBA
	20 %		15 - 25%
VALOR EXPERIMENTAL	<b>17.18 %</b>		
PORCENTAJE DE ERROR	CON EL VALOR SEGÚN ABB		CON EL VALOR SEGÚN PVSYST
	-2.82 %		+2.18% -- - 7.82%

Tabla 6.1.2.1 1- Valores de referencia, valor experimental y porcentaje de error para el coeficiente de albedo del suelo de la cubierta (*Elaboración Propia*)

#### **Coeficiente de albedo de la superficie de plástico negro**

Este tipo de superficie fue elegida por esperarse de ella que tuviese un comportamiento similar a un cuerpo negro, es decir, que absorbiese prácticamente toda la radiación solar que incidiese sobre ella. En cuanto a similitud, puede asemejarse a la que el Cuaderno de Aplicaciones Técnicas de ABB n°10 llama “Asfalto desgastado” (ver Tabla 4.4.3) y a la de “Dry Asphalt” de PVSyst“ (ver Tabla 4.4.4)

Los resultados experimentales han arrojado un valor de coeficiente de albedo de un 11 %, cifra bastante superior al 0% teórico, pero teniendo en cuenta que el plástico utilizado no era completamente negro y que el valor del 0% tendría lugar en unas condiciones totalmente ideales, se dará por válido el coeficiente obtenido. Además,

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

si se compara con el resto de las superficies que se han analizado, ésta ha arrojado el menor de los coeficientes de albedo.

COEFICIENTE DE ALBEDO DEL PLÁSTICO NEGRO			
VALOR SEGÚN ABB	ASFALTO DESGASTADO	VALOR SEGÚN PVSYST	ASFALTO SECO
	10 %		9 - 15%
VALOR EXPERIMENTAL	<b>11 %</b>		
PORCENTAJE DE ERROR	CON EL VALOR SEGÚN ABB		CON EL VALOR SEGÚN PVSYST
	+1 %		+2 % – -4 %

Tabla 6.1.2.2 1- Valores de referencia, valor experimental y porcentaje de error para el coeficiente de albedo del plástico negro (*Elaboración Propia*)

### Coeficiente de albedo de la superficie de baldosas imitación cemento

Este tipo de superficie podría asemejarse a la que el Cuaderno de Aplicaciones Técnicas de ABB nº10 llama “Hormigón desgastado” (ver Tabla 4.4.3), cuyo coeficiente de albedo según el mismo es de un 22%. Si se compara el valor experimental con el que utiliza PVSyst, llamado “Concrete” (25-35%) (ver Tabla 4.4.4), la diferencia es aproximadamente de un 5%.

Teniendo en cuenta que el suelo que se utiliza es semejante, pero no se trata exactamente del que aparece en estos documentos, el valor obtenido puede considerarse correcto.

COEFICIENTE DE ALBEDO DE BALDOSAS IMITACIÓN CEMENTO			
VALOR SEGÚN ABB	HORMIGÓN DESGASTADO	VALOR SEGÚN PVSYST	CEMENTO
	22 %		25 - 35%
VALOR EXPERIMENTAL	<b>19.57 %</b>		
PORCENTAJE DE ERROR	CON EL VALOR SEGÚN ABB		CON EL VALOR SEGÚN PVSYST
	-2.43 %		-5.43 % – -15.43 %

Tabla 6.1.2.3 1- Valores de referencia, valor experimental y porcentaje de error para el coeficiente de albedo de las baldosas imitación cemento (*Elaboración Propia*)

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

### Coefficiente de albedo de la superficie de lona de plástico blanco

Al igual que en el caso de la superficie de plástico negro, la lona de plástico blanco fue elegida por el valor teórico que se esperaba obtener de ella, es decir, que reflejase la inmensa mayoría de la radiación solar que incidiese sobre ella.

Por tener unos valores teóricos de referencia, acorde al color, se han escogido el que el Cuaderno de Aplicaciones Técnicas de ABB nº10 llama “Superficies claras de edificios” (ver Tabla 4.4.3), cuyo coeficiente de albedo según el mismo es de un 60% y el que utiliza PVSyst como “Wet snow” (55-75%) (ver Tabla 4.4.4).

El experimento ha arrojado un valor de coeficiente de albedo del 47.89 %, cifra muy inferior al 100% teórico de un cuerpo blanco, pero teniendo en cuenta que el este valor tendría lugar en unas condiciones totalmente ideales, se dará por válido el coeficiente obtenido. Además, comparando con el resto de las superficies que se han analizado, ésta ha arrojado el mayor de los coeficientes de albedo con una notable diferencia.

COEFICIENTE DE ALBEDO DE LA LONA DE PLÁSTICO BLANCO			
VALOR SEGÚN ABB	SUPERF. CLARAS DE EDIFICIOS	VALOR SEGÚN PVSYST	NIEVE HÚMEDA
	60 %		55 - 75%
VALOR EXPERIMENTAL	<b>47.89 %</b>		
PORCENTAJE DE ERROR	CON EL VALOR SEGÚN ABB		CON EL VALOR SEGÚN PVSYST
	-2.43 %		-7.11 % – -27.11 %

Tabla 6.1.2.4 1- Valores de referencia, valor experimental y porcentaje de error para el coeficiente de albedo de la lona de plástico blanco (*Elaboración Propia*)

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

### **Coefficiente de albedo de la superficie de plancha de césped artificial**

Ante la imposibilidad de disponer de césped natural por su elevado coste y del poco tiempo del que se disponía para que creciese por sí solo regando el suelo de la cubierta del edificio, se decidió escoger una plancha de césped artificial.

En el Cuaderno de Aplicaciones Técnicas de ABB nº10 aparece el coeficiente de albedo para la “Hierba verde” (ver Tabla 4.4.3), cuyo valor es de un 26% y en la base de datos de PVSyst la de “Fresh grass” (26%) (ver Tabla 4.4.4). La diferencia entre el valor considerado como teórico (el del citado cuaderno técnico) y el obtenido experimentalmente asciende a un 13.51 %, por lo que no se podría aceptar como válido.

Teniendo en cuenta que la superficie que se ha estudiado no era césped natural, sino que se trataba de un material sintético, y que las condiciones en las que se realizó el experimento no eran las ideales, puede considerarse que el coeficiente de albedo obtenido (12.49 %) es aceptable.

COEFICIENTE DE ALBEDO DE LA PLANCHA DE CÉSPED ARTIFICIAL			
VALOR SEGÚN ABB	HIERBA VERDE	VALOR SEGÚN PVSYST	HIERBA FRESCA
			26 %
VALOR EXPERIMENTAL	<b>12.49 %</b>		
PORCENTAJE DE ERROR	CON EL VALOR SEGÚN ABB		CON EL VALOR SEGÚN PVSYST
	-13.51 %		-13.51 %

Tabla 6.1.2.5 1- Valores de referencia, valor experimental y porcentaje de error para el coeficiente de albedo de la lona de plástico blanco (*Elaboración Propia*)

### **6.2 MEDIDAS EN EL PANEL**

Una vez presentados y analizados los valores de coeficiente de albedo obtenidos para las superficies que se han estudiado, se van a estudiar los datos recabados en la parte del montaje correspondiente al panel: radiación, energía y temperatura de las caras frontal y trasera del panel bifacial y la frontal del panel monofacial.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

Para cada una de las superficies que se han utilizado (las mismas que en la parte del coeficiente de albedo, tal como se ha ido describiendo a lo largo de todo el documento) se estableció un periodo de medición de una semana. Puesto que los datos recogidos para cada una de ellas son muy similares entre sí sólo se van a presentar dos de los días de dichos periodos.

### 6.2.1 RADIACIÓN

Presentación de las medidas y resultados de la radiación monofacial, la bifacial y el incremento de radiación en kW/m<sup>2</sup>. Este último también se presenta en tanto por ciento.

#### 6.2.1.1 MEDIDAS Y RESULTADOS

##### SUPERFICIE DEL PROPIO SUELO DE LA CUBIERTA

Radiación	<b>Radiación Monofacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	2875.77 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Radiación Bifacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	3357.81 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Incremento de Radiación Bifacial vs Monofacial</b>	482.04 kW/m <sup>2</sup> <b>16.76%</b>

Tabla 6.2.1.1.1 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para el suelo de la propia cubierta el primero de los días (*Elaboración Propia*)

Radiación	<b>Radiación Monofacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	2307.82 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Radiación Bifacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	2694.08 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Incremento de Radiación Bifacial vs Monofacial</b>	386.27 kW/m <sup>2</sup> <b>16.74%</b>

Tabla 6.2.1.1.2 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para el suelo de la propia cubierta el último de los días (*Elaboración Propia*)

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

Fijándonos en el primero de los días (Tabla 6.2.1.1), por ser en el que mayor radiación hubo durante el periodo de medición, el valor de la radiación total recibida por el panel monofacial ha sido de 2875.77 kW/m<sup>2</sup>, mientras que el de la radiación total recibida por el panel bifacial ha sido de 3357.81 kW/m<sup>2</sup>, por lo que la ganancia de radiación del panel bifacial frente al monofacial es de 482.04 kW/m<sup>2</sup>, que supone un 16.76 % y, comparado con el del último día, tan sólo hay un 0.02 % de diferencia, por lo que el proceso de medida a lo largo del periodo establecido se realizó correctamente.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la radiación a lo largo del periodo de medición.



Gráfica 6.2.1.1.1 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para el suelo de la propia cubierta el primero de los días (*Elaboración Propia*)

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, aparece la escala de **radiación en kW/m<sup>2</sup>**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** se pueden ver las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

Por gama de colores, se puede distinguir lo siguiente: en color azul se ha representado la evolución de los valores de la **radiación del panel monofacial**, en rojo los de la **radiación del panel bifacial** y, en negro, el **incremento o ganancia de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial**.

Se puede ver que la tendencia de la radiación no es una línea recta, sino una curva, debido a que la intensidad de radiación varía a lo largo del día, alcanzando el valor mínimo en los primeros y en los últimos instantes del periodo de medición y el más alto en los instantes centrales, en torno a las 14:30 horas.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

### SUPERFICIE DE PLÁSTICO NEGRO

<b>Radiación</b>	<b>Radiación Monofacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	1782.21 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Radiación Bifacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	1961.73 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Incremento de Radiación Bifacial vs Monofacial</b>	179.52 kW/m <sup>2</sup> <b>10.07%</b>

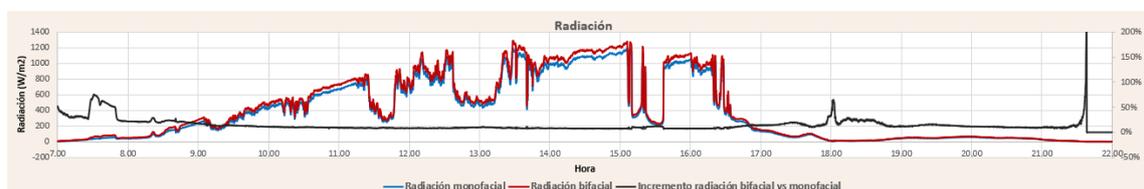
Tabla 6.2.1.1.3 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para la superficie de plástico negro el primero de los días (*Elaboración Propia*)

<b>Radiación</b>	<b>Radiación Monofacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	2006.03 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Radiación Bifacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	2191.43 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Incremento de Radiación Bifacial vs Monofacial</b>	185.41 kW/m <sup>2</sup> <b>9.24%</b>

Tabla 6.2.1.1.4 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para la superficie de plástico negro el último de los días (*Elaboración Propia*)

Escogiendo el último de los días (Tabla 6.2.1.4), por ser en el que mayor radiación hubo durante el periodo de medición, el valor de la radiación total recibida por el panel monofacial ha sido de 2006.03 kW/m<sup>2</sup>, mientras que el de la radiación total recibida por el panel bifacial ha sido de 2191.43 kW/m<sup>2</sup>, por lo que la ganancia de radiación del panel bifacial frente al monofacial es de 185.41 kW/m<sup>2</sup>, que supone un 9.24 % y, comparado con el del primer día, la diferencia entre ambos es de 0.83%, por lo que las medidas se hicieron adecuadamente durante el periodo establecido.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la radiación a lo largo del periodo de medición.



Gráfica 6.2.1.1.2 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para la superficie de plástico negro el último de los días (*Elaboración Propia*)

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, se puede apreciar la escala de **radiación en kW/m<sup>2</sup>**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento promedio en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** aparecen las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

Si se verifica por colores, en color azul se ha representado la evolución de los valores de la **radiación global**, en rojo los de la **radiación de albedo o difusa**, en amarillo el valor del **coeficiente de albedo en cada instante** y, en verde, el **valor promedio del mismo** y que se ha considerado como el valor propio de la superficie de estudio.

Se puede ver que la tendencia de la radiación no es una línea recta, sino una curva con numerosos picos, debido a que la intensidad de radiación varía a lo largo del día y a la presencia de nubes intermitentemente, alcanzando el valor mínimo en los primeros y en los últimos instantes del periodo de medición y el más alto en los instantes centrales, en torno a las 15:00 horas.

### SUPERFICIE DE BALDOSAS IMITACIÓN CEMENTO

Radiación	<b>Radiación Monofacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	2384.65 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Radiación Bifacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	2683.65 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Incremento de Radiación Bifacial vs Monofacial</b>	299.00 kW/m <sup>2</sup> <b>12.54%</b>

Tabla 6.2.1.1.5 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para la superficie de baldosas imitación cemento el primero de los días (*Elaboración Propia*)

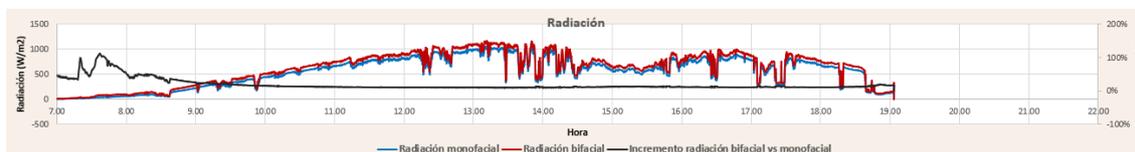
Radiación	<b>Radiación Monofacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	1695.85 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Radiación Bifacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	1895.01 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Incremento de Radiación Bifacial vs Monofacial</b>	199.16 kW/m <sup>2</sup> <b>11.74%</b>

Tabla 6.2.1.1.6 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para la superficie de baldosas imitación cemento el último de los días (*Elaboración Propia*)

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

Comparando los resultados obtenidos el primero (Tabla 6.2.1.5) y el último de ellos (Tabla 6.2.1.6) del periodo de medición, se ha decidido tomar para el análisis el primero, pues fue el día que mayor radiación hubo. El valor de la radiación total recibida por el panel monofacial en ese día ha sido de 2384.65 kW/m<sup>2</sup>, mientras que el de la radiación total recibida por el panel bifacial ha sido de 2683.65 kW/m<sup>2</sup>, por lo que la ganancia de radiación del panel bifacial frente al monofacial es de 299 kW/m<sup>2</sup>, que supone un 12.54 % y, comparado con el del último día, la diferencia entre ambos es de 0.8%, por lo que las medidas se tomaron en las mismas condiciones durante el periodo establecido.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la radiación a lo largo del periodo de medición.



Gráfica 6.2.1.1.3 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para la superficie de baldosas imitación cemento del primero de los días (*Elaboración Propia*)

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, aparece la escala de **radiación en kW/m<sup>2</sup>**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento promedio en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** se pueden ver las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

En color azul se ha representado la evolución de los valores de la **radiación global**, en rojo los de la **radiación de albedo o difusa**, en amarillo el valor del **coeficiente de albedo en cada instante** y, en verde, el **valor promedio del mismo** y que se ha considerado como el valor propio de la superficie de estudio.

Observando la gráfica se aprecia que la tendencia de la radiación no es una línea recta, sino una curva con muchos altibajos, debido a que la intensidad de radiación varía a lo largo del día y a la presencia de nubes intermitentemente, alcanzando el valor mínimo en los primeros y en los últimos instantes del periodo de medición y el más alto en los instantes centrales, en torno a las 13:30 horas.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

### SUPERFICIE DE LONA DE PLÁSTICO BLANCO

<b>Radiación</b>	<b>Radiación Monofacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	2281.18 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Radiación Bifacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	2819.20 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Incremento de Radiación Bifacial vs Monofacial</b>	538.02 kW/m <sup>2</sup> <b>23.59%</b>

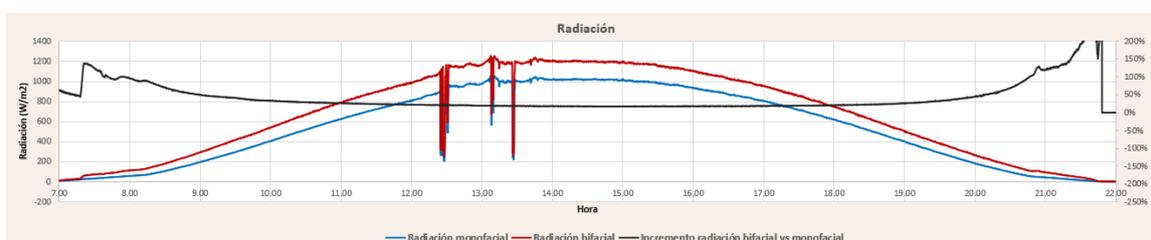
Tabla 6.2.1.1.7 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para la superficie de lona de plástico blanco el primero de los días (*Elaboración Propia*)

<b>Radiación</b>	<b>Radiación Monofacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	2897.58 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Radiación Bifacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	3569.03 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Incremento de Radiación Bifacial vs Monofacial</b>	671.44 kW/m <sup>2</sup> <b>23.17%</b>

Tabla 6.2.1.1.8 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para la superficie de lona de plástico blanco el último de los días (*Elaboración Propia*)

Escogiendo el último de los días (Tabla 6.2.1.8), por ser en el que mayor radiación hubo durante el periodo de medición, el valor de la radiación total recibida por el panel monofacial ha sido de 2897.58 kW/m<sup>2</sup>, mientras que el de la radiación total recibida por el panel bifacial ha sido de 3569.03 kW/m<sup>2</sup>, por lo que la ganancia de radiación del panel bifacial frente al monofacial es de 671.44 kW/m<sup>2</sup>, que supone un 23.17 % y, comparado con el del último día, la diferencia entre ambos es de 0.42%, por lo que las medidas se tomaron en las mismas condiciones durante el periodo establecido.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la radiación a lo largo del periodo de medición.



Gráfica 6.2.1.1.4 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para la superficie de lona de plástico blanco del último de los días (*Elaboración Propia*)

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, aparece la escala de **radiación en kW/m<sup>2</sup>**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento promedio en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** se pueden ver las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

Por gama de colores, se puede distinguir lo siguiente: en color azul se ha representado la evolución de los valores de la **radiación del panel monofacial**, en rojo los de la **radiación del panel bifacial** y, en negro, el **incremento o ganancia de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial**.

Observando la gráfica se aprecia que la tendencia de la radiación no es una línea recta, sino una curva, debido a que la intensidad de radiación varía a lo largo del día, alcanzando el valor mínimo en los primeros y en los últimos instantes del periodo de medición y el más alto en los instantes centrales, en torno a las 14:00 horas.

### SUPERFICIE DE CÉSPED ARTIFICIAL

<b>Radiación</b>	<b>Radiación Monofacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	2586.74 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Radiación Bifacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	2826.95 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Incremento de Radiación Bifacial vs Monofacial</b>	240.21 kW/m <sup>2</sup> <b>9.29%</b>

Tabla 6.2.1.1.9 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para la superficie de césped artificial el primero de los días (*Elaboración Propia*)

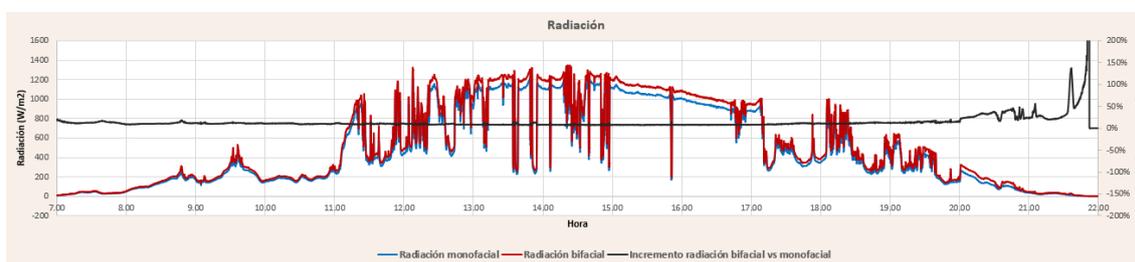
<b>Radiación</b>	<b>Radiación Monofacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	2443.92 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Radiación Bifacial Total</b> recibida durante el periodo de medida	2653.27 kW/m <sup>2</sup>
	<b>Incremento de Radiación Bifacial vs Monofacial</b>	209.35 kW/m <sup>2</sup> <b>8.57%</b>

Tabla 6.2.1.1.10 1- Radiación monofacial y bifacial total e incremento de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial para la superficie de césped artificial el último de los días (*Elaboración Propia*)

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

Dado que en el primero de los días (Tabla 6.2.1.9) se tuvo la mayor radiación, se va a utilizar este día para realizar el análisis. El valor total de la radiación total recibida por el panel monofacial ha sido de 2586.74 kW/m<sup>2</sup>, mientras que el de la radiación total recibida por el panel bifacial ha sido de 2896.95 kW/m<sup>2</sup>, por lo que la ganancia de radiación del panel bifacial frente al monofacial es de 240.21 kW/m<sup>2</sup>, que supone un 9.29 % y, comparado con el del último día, la diferencia es de un 0.72%, por lo que el proceso de medida a lo largo del periodo establecido se realizó correctamente.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la radiación a lo largo del periodo de medición.



Gráfica 6.2.1.1.5 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para la superficie de césped artificial el primero de los días (*Elaboración Propia*)

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, aparece la escala de **radiación en kW/m<sup>2</sup>**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** se pueden ver las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

Por gama de colores, se puede distinguir lo siguiente: en color azul se ha representado la evolución de los valores de la **radiación del panel monofacial**, en rojo los de la **radiación del panel bifacial** y, en negro, el **incremento o ganancia de la radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial**.

Se observa que la tendencia de la radiación no es una línea recta, sino una curva, debido a que la intensidad de radiación varía a lo largo del día, alcanzando el valor mínimo en los primeros y en los últimos instantes del periodo de medición y el más alto en los instantes centrales, en torno a las 14:30 horas.

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

### 6.2.1.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez presentados los datos de radiación total tanto del panel monofacial como del bifacial y de la ganancia de uno frente al otro, se va a hacer el análisis de esos datos, con ayuda de gráficos de barras.

En todos ellos se ha representado el mayor valor de radiación recogida en el periodo establecido para realizar las mediciones, tal y como se ha explicado anteriormente para cada una de las superficies, en kW/m<sup>2</sup>, para el panel monofacial, el panel bifacial y la ganancia de radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial.

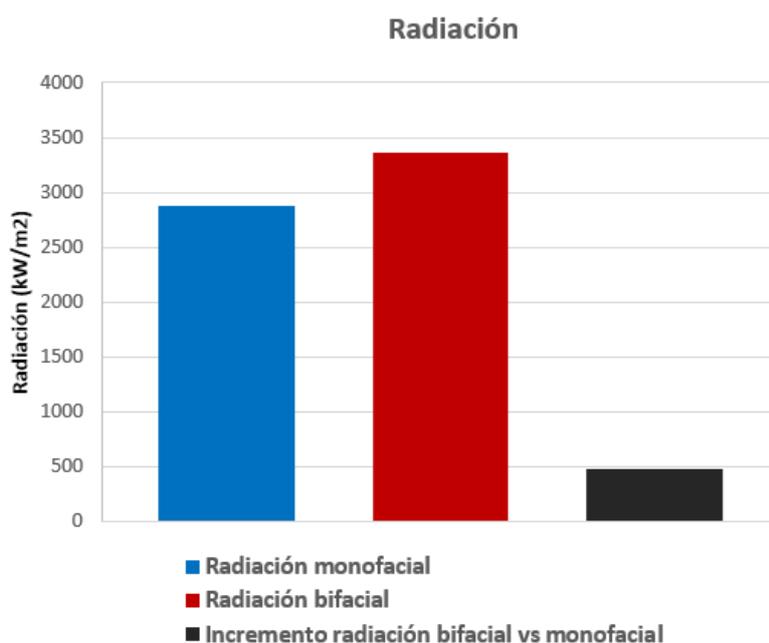
Se detallan, a continuación, estos resultados, sobre cada una de las superficies analizadas.

#### SUPERFICIE DEL PROPIO SUELO DE LA CUBIERTA

Los valores de radiación captada han sido (ver Gráfica 6.2.1.2.1):

- Panel monofacial: 2006.03 kW/m<sup>2</sup>
- Panel bifacial: 2191.43 kW/m<sup>2</sup>

La diferencia entre ellos es de 185.41 kW/m<sup>2</sup> (barra de color negro) , lo que supone una ganancia del 9.41 % del panel bifacial frente al monofacial.



Gráfica 6.2.1.2.1 1 - Representación de los valores de radiación obtenidos para el suelo de la propia cubierta el primero de los días (*Elaboración Propia*)

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

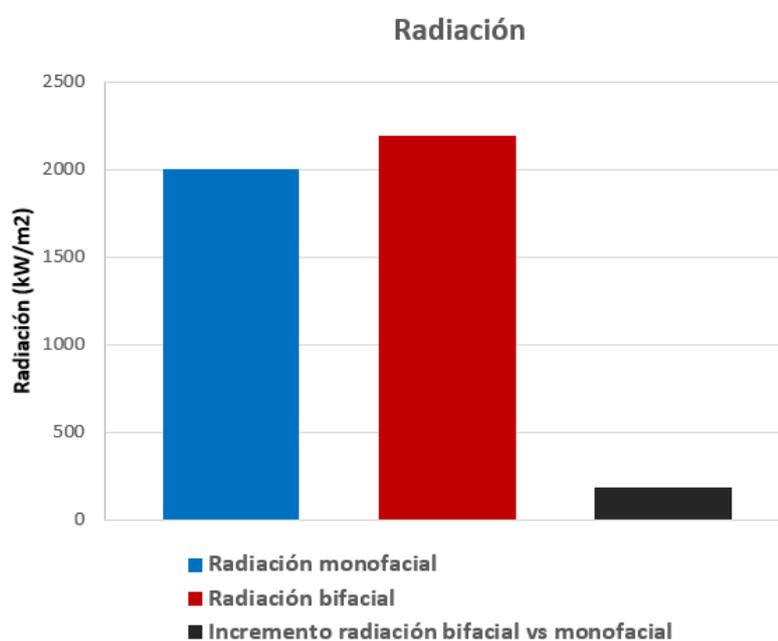
---

### SUPERFICIE DE PLÁSTICO NEGRO

Los valores de radiación captada han sido (ver Gráfica 6.2.1.2.2):

- Panel monofacial: 2384.51 kW/m<sup>2</sup>
- Panel bifacial: 3357.81 kW/m<sup>2</sup>

La diferencia entre ellos es de 482.04 kW/m<sup>2</sup> (barra de color negro), lo que supone una ganancia del 16.76 % del panel bifacial frente al monofacial.



Gráfica 6.2.1.2.2 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para la superficie de plástico negro el último de los días (*Elaboración Propia*)

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

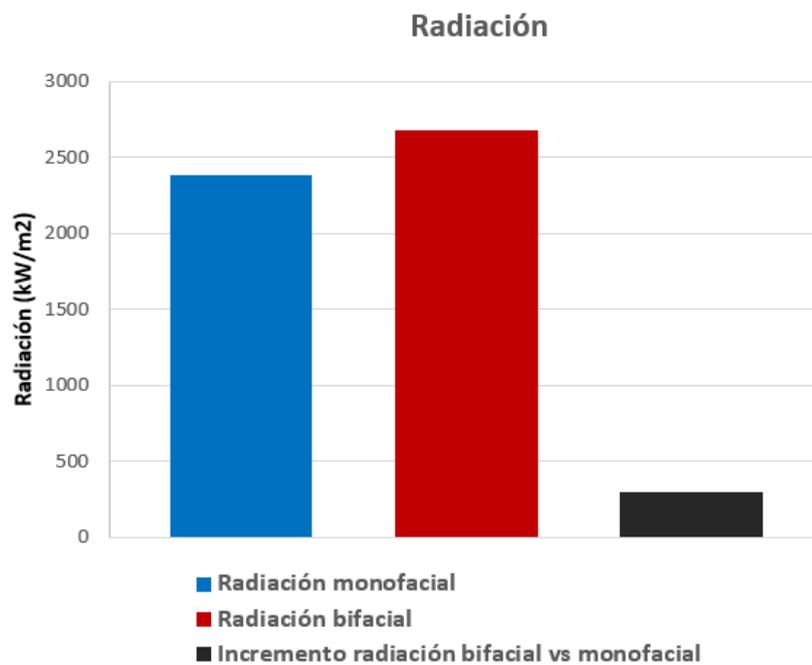
---

### SUPERICIE DE BALDOSAS IMITACIÓN CEMENTO

Los valores de radiación captada han sido (ver Gráfica 6.2.1.2.3):

- Panel monofacial: 2384.65 kW/m<sup>2</sup>
- Panel bifacial: 2683.65 kW/m<sup>2</sup>

La diferencia entre ellos es de 299.00 kW/m<sup>2</sup> (barra de color negro), lo que supone una ganancia del 12.54 % del panel bifacial frente al monofacial.



Gráfica 6.2.1.2.3 1 - Representación de los valores de radiación obtenidos para la superficie de baldosas imitación cemento del primero de los días (*Elaboración Propia*)

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

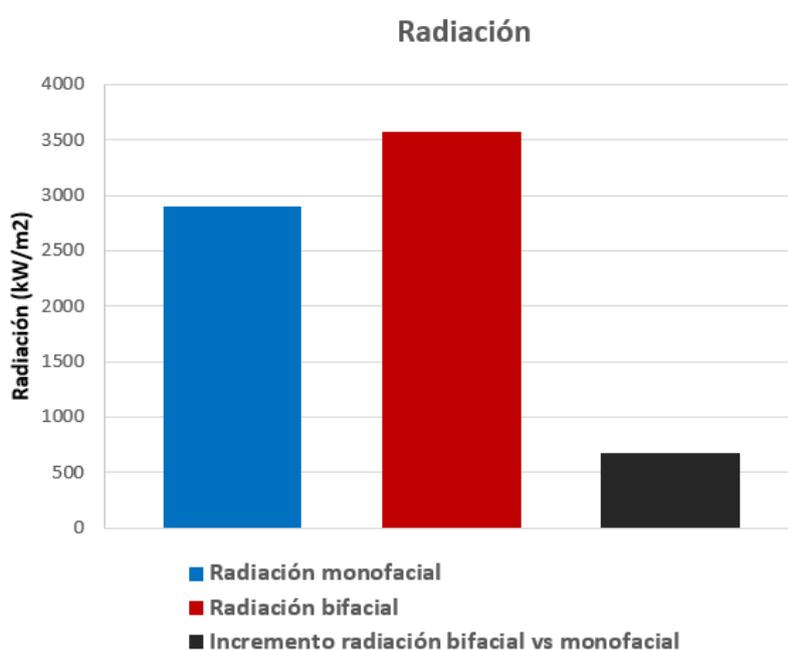
---

### SUPERFICIE DE LONA DE PLÁSTICO BLANCO

Los valores de radiación captada han sido (ver Gráfica 6.2.1.2.4):

- Panel monofacial: 2897.58 kW/m<sup>2</sup>
- Panel bifacial: 3569.03 kW/m<sup>2</sup>

La diferencia entre ellos es de 671.44 kW/m<sup>2</sup> (barra de color negro), lo que supone una ganancia del 23.17 % del panel bifacial frente al monofacial.



Gráfica 6.2.1.2.4 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para la superficie de lona de plástico blanco del último de los días (*Elaboración Propia*)

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

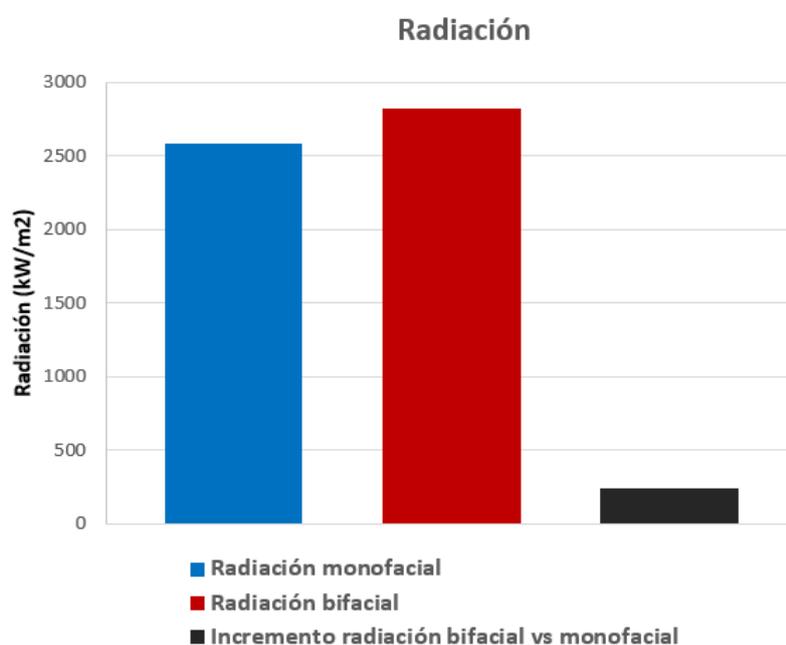
---

### SUPERFICIE DE CÉSPED ARTIFICIAL

Los valores de radiación captada han sido (ver Gráfica 6.2.1.2.5):

- Panel monofacial: 2586.74 kW/m<sup>2</sup>
- Panel bifacial: 2826.95 kW/m<sup>2</sup>

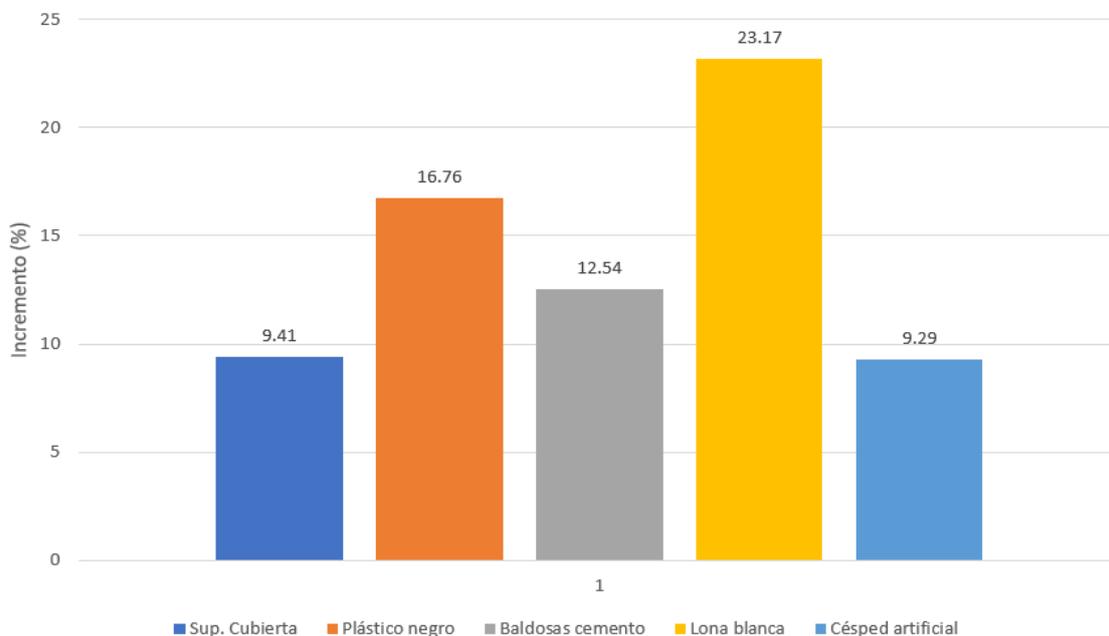
La diferencia entre ellos es de 240.21 kW/m<sup>2</sup> (barra de color negro), lo que supone una ganancia del 9.29 % del panel bifacial frente al monofacial.



Gráfica 6.2.1.2.5 1- Representación de los valores de radiación obtenidos para la superficie de césped artificial el primero de los días (*Elaboración Propia*)

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

En el siguiente gráfico de barras se representan los incrementos de radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial en tanto por ciento:



Gráfica 6.2.1.2.6 1- Representación de los incrementos de radiación captada por el panel bifacial frente al monofacial (*Elaboración Propia*)

Gracias a esta gráfica se puede apreciar claramente que, tal y como se esperaba, la superficie de lona blanca es la que más radiación refleja y, por ende, la que consigue que el panel bifacial capte un mayor porcentaje de radiación en comparación con el panel monofacial, lo cual repercutirá en una mayor producción energética para la citada superficie en comparación con el resto.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

### 6.2.2 ENERGÍA

En este apartado se presentan las medidas y resultados de la producción de energía del panel monofacial, del bifacial y el incremento de producción del bifacial frente al monofacial, en Wh. Este último dato también se presenta en tanto por ciento.

Junto con estos datos se van a presentar las horas equivalentes tanto del panel monofacial como del bifacial y el incremento de éstas que presenta el bifacial frente al monofacial, tanto en horas como en tanto por ciento.

En el apartado 6.2.1 se observaron los resultados de radiación para el primero y el último de los días del periodo establecido para realizar las mediciones y, de esos dos, se escogió el día en el que mayor radiación hubo para hacer el análisis. En este caso, se va a tomar ese mismo día tanto para la presentación como para el análisis.

Junto a cada una de las tablas que recogen los datos obtenidos se adjunta una gráfica donde se representan los valores que ha ido tomando la energía a lo largo del periodo de medición establecido. En casi todas ellas se observa que la parte superior de la curva se aplana, como consecuencia del efecto clipping. También conocido como recorte del inversor, éste se produce cuando la potencia pico de los paneles fotovoltaicos es superior a la potencia nominal del inversor.

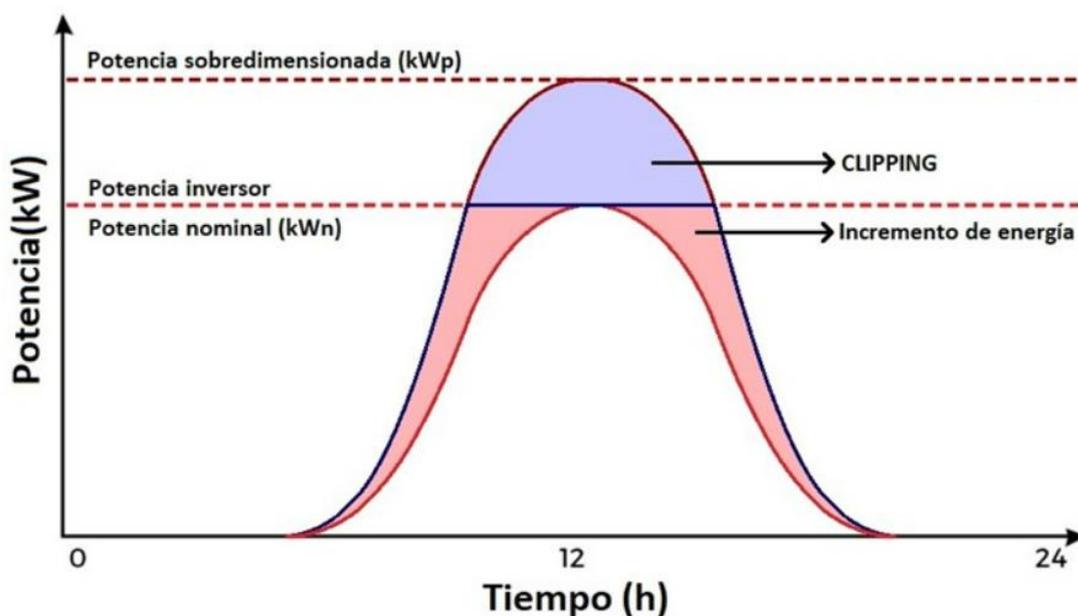


Figura 6.2.2.1 1 – Efecto clipping (Efecto clipping | Beneficios de sobredimensionar el inversor, 2023)

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

Observando la figura 6.2.2.1, el área sombreada en azul representa el recorte que el inversor provoca en la energía de salida, debido a que, al instalar más paneles (en nuestro caso no es que se hayan instalado más paneles de lo que se debería, sino que la potencia pico de cada uno supera la nominal del inversor), se está aumentando la potencia en corriente continua por encima de la potencia que el inversor puede transformar en corriente alterna, es lo que se denomina Efecto Clipping. La curva roja representa la potencia pico que es igual a la potencia nominal y, si se compara con la de color granate, se pueden ver las diferencias que existirían si se sobredimensionase el inversor, evitando la pérdida de energía que se produce.

(Efecto clipping | Beneficios de sobredimensionar el inversor, 2023)

### 6.2.2.1 MEDIDAS Y RESULTADOS

Se analizan estos datos para cada una de las superficies analizadas, tal como se expone a continuación:

#### SUPERFICIE DEL PROPIO SUELO DE LA CUBIERTA

<b>Energía</b>	<b>Producción TOTAL de energía panel Monofacial</b> durante el periodo de medida	1840.52 W·h
	<b>Producción TOTAL de energía panel Bifacial</b> durante el periodo de medida	2589.53 W·h
	<b>Incremento de Producción Bifacial vs Monofacial</b>	749.01 W·h <b>40.70%</b>

Tabla 6.2.2.1.1 1- Producción total de energía del panel monofacial y del bifacial e incremento de ésta del panel bifacial frente al monofacial para el suelo de la propia cubierta (*Elaboración Propia*)

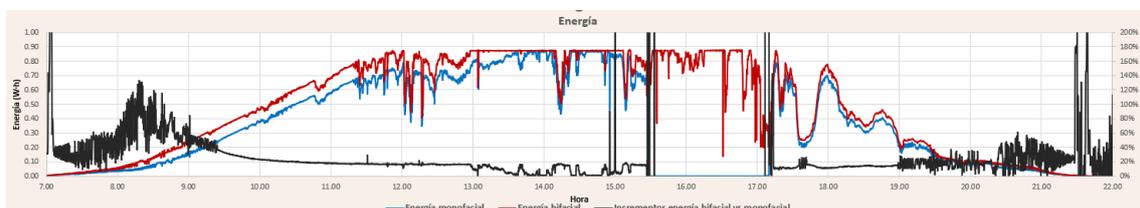
<b>Horas equivalentes</b>	<b>Horas equivalentes panel Monofacial</b> durante el periodo de medida	5.494 horas	<b>36.64%</b>
	<b>Horas equivalentes panel Bifacial</b> durante el periodo de medida	7.730 horas	<b>51.55%</b>
	<b>Incremento de Horas equivalentes Bifacial vs Monofacial</b>	2.236 horas <b>40.70%</b>	<b>14.91%</b>

Tabla 6.2.2.1.2 1- Horas equivalentes del panel monofacial y del bifacial total e incremento de éstas del panel bifacial frente al monofacial para el suelo de la propia cubierta (*Elaboración Propia*)

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

El valor total de la energía generada por el panel monofacial ha sido de 1840.52 W·h, en un tiempo de 5.494 horas equivalentes, que suponen un 36.64 % del tiempo total de medida, mientras que la producida por el panel bifacial ha sido de 2589.53 W·h en 7.73 horas equivalentes, es decir, el 51.55 % de las totales de medida<sup>2</sup>, por lo que el incremento de producción del panel bifacial frente al monofacial es de 749.01 W·h, o sea, un 40.70 % en cuanto a energía y horas equivalentes que, a su vez, representan un 14.91 % respecto del periodo total de medida.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la radiación a lo largo del periodo de medición.



Gráfica 6.2.2.1.1 1- Representación de los valores de energía producida para el suelo de la propia cubierta (*Elaboración Propia*)

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, aparece la escala de **energía en W·h**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** se pueden ver las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

Por gama de colores, se puede distinguir lo siguiente: en color azul se ha representado la evolución de los valores de la **energía generada por el panel monofacial**, en rojo la **del panel bifacial** y, en negro, el **incremento o ganancia de energía producida por el panel bifacial frente al monofacial**.

Se puede ver que la tendencia de la energía no es una línea recta, sino una curva, debido a que depende de la intensidad de la radiación captada por los paneles y ésta varía a lo largo del día. En la zona superior se aprecia claramente el efecto clipping ya descrito anteriormente.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

### SUPERFICIE DE PLÁSTICO NEGRO

<b>Energía</b>	<b>Producción TOTAL de energía panel Monofacial</b> durante el periodo de medida	1619.23	W·h
	<b>Producción TOTAL de energía panel Bifacial</b> durante el periodo de medida	1728.24	W·h
	<b>Incremento de Producción Bifacial vs Monofacial</b>	109.01	W·h
		<b>6.73%</b>	

Tabla 6.2.2.1.3 1- Producción total de energía del panel monofacial y del bifacial e incremento de ésta del panel bifacial frente al monofacial para la superficie de plástico negro (*Elaboración Propia*)

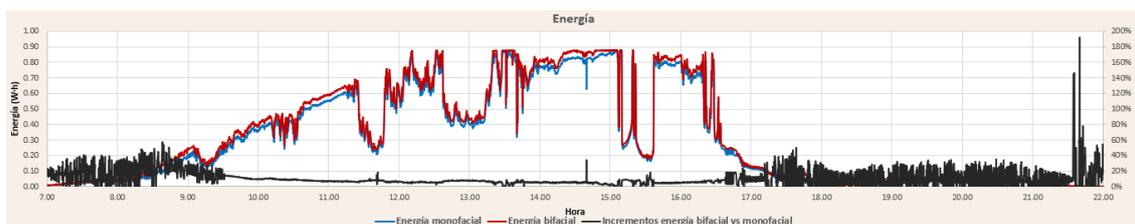
<b>Horas equivalentes</b>	<b>Horas equivalentes panel Monofacial</b> durante el periodo de medida	4.834 horas	<b>32.23%</b>
	<b>Horas equivalentes panel Bifacial</b> durante el periodo de medida	5.159 horas	<b>34.40%</b>
	<b>Incremento de Horas equivalentes Bifacial vs Monofacial</b>	0.325 horas	<b>2.17%</b>
		<b>6.73%</b>	

Tabla 6.2.2.1.4 1- Horas equivalentes del panel monofacial y del bifacial total e incremento de éstas del panel bifacial frente al monofacial para la superficie de plástico negro (*Elaboración Propia*)

Tal como se puede comprobar en las tablas 6.2.2.1.3 y 6.2.2.1.4 donde aparece un resumen de los resultados de las mediciones realizadas, durante el periodo de medición, el valor total de la energía generada por el panel monofacial ha sido de 1619.23 W·h, en un tiempo de 4.834 horas equivalentes, que suponen un 32.23 % del tiempo total de medida, mientras que la producida por el panel bifacial ha sido de 1728.24 W·h en 5.159 horas equivalentes, es decir, el 34.40 % de las totales de medida, por lo que el incremento de producción del panel bifacial frente al monofacial es de 109.01 W·h, esto es, un 6.73 % en cuanto a energía y horas equivalentes que, a su vez, representan un 2.17 % respecto del periodo total de medida.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la radiación a lo largo del periodo de medición.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS



Gráfica 6.2.2.1.2 1- Representación de los valores de energía producida para para la superficie de plástico negro (*Elaboración Propia*)

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, aparece la escala de **energía en Wh**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** se pueden ver las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

Si se verifica por colores, se puede distinguir lo siguiente: en color azul se ha representado la evolución de los valores de la **energía generada por el panel monofacial**, en rojo la **del panel bifacial** y, en negro, el **incremento o ganancia de energía producida por el panel bifacial frente al monofacial**.

Se puede ver que la tendencia de la energía no es una línea recta, sino una curva, debido a que depende de la intensidad de la radiación captada por los paneles y ésta varía a lo largo del día. En la zona superior se aprecia, pero en menor medida que en el caso anterior, el efecto clipping. También se aprecian picos de caída producidos por la presencia de nubes, que disminuyen el nivel de radiación y con ello la energía generada.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

### SUPERICIE DE BALDOSAS IMITACIÓN CEMENTO

<b>Energía</b>	<b>Producción TOTAL de energía panel Monofacial</b> durante el periodo de medida	1909.43 W·h
	<b>Producción TOTAL de energía panel Bifacial</b> durante el periodo de medida	2095.57 W·h
	<b>Incremento de Producción Bifacial vs Monofacial</b>	186.13 W·h <b>9.75%</b>

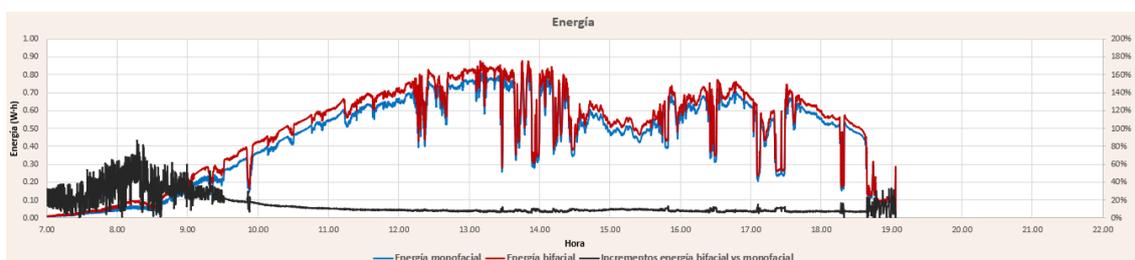
Tabla 6.2.2.1.5 1- Producción total de energía del panel monofacial y del bifacial e incremento de ésta del panel bifacial frente al monofacial para la superficie de baldosas imitación cemento (*Elaboración Propia*)

<b>Horas equivalentes</b>	<b>Horas equivalentes panel Monofacial</b> durante el periodo de medida	5.700 horas	<b>47.27%</b>
	<b>Horas equivalentes panel Bifacial</b> durante el periodo de medida	6.255 horas	<b>51.88%</b>
	<b>Incremento de Horas equivalentes Bifacial vs Monofacial</b>	0.556 horas <b>9.75%</b>	<b>4.61%</b>

Tabla 6.2.2.1.6 1- Horas equivalentes del panel monofacial y del bifacial total e incremento de éstas del panel bifacial frente al monofacial para la superficie de baldosas imitación cemento (*Elaboración Propia*)

Según las tablas 6.2.2.1.5 y 6.2.2.1.6, durante el periodo de medición, el valor total de la energía generada por el panel monofacial ha sido de 1909.43 W·h, en un tiempo de 5.700 horas equivalentes, que suponen un 47.27 % del tiempo total de medida, mientras que la producida por el panel bifacial ha sido de 2095.57 W·h en 6.255 horas equivalentes, es decir, el 51.88 % de las totales de medida, por lo que el incremento de producción del panel bifacial frente al monofacial es de 186.13 W·h, esto es, un 9.75 % en cuanto a energía y horas equivalentes que, a su vez, representan un 4.61 % respecto del periodo total de medida.

En la siguiente gráfica (Gráfica 6.2.2.1.3) se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la radiación a lo largo del periodo de medición.



Gráfica 6.2.2.1.3 1- Representación de los valores de energía producida para la superficie de baldosas de imitación cemento (*Elaboración Propia*)

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, aparece la escala de **energía en W·h**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** se pueden ver las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

En color azul se ha representado la evolución de los valores de la **energía generada por el panel monofacial**, en rojo la **del panel bifacial** y, en negro, el **incremento o ganancia de energía producida por el panel bifacial frente al monofacial**.

Observando la gráfica (Gráfica 6.2.2.1.3) se puede ver que la tendencia de la energía no es una línea recta, sino una curva, debido a que depende de la intensidad de la radiación captada por los paneles y ésta varía a lo largo del día. En la zona superior se aprecia nuevamente el efecto clipping descrito al inicio de este punto. También se aprecian de nuevo picos de caída producidos por la presencia de nubes, que disminuyen el nivel de radiación y con ello la energía generada.

### SUPERFICIE DE LONA DE PLÁSTICO BLANCO

<b>Energía</b>	<b>Producción TOTAL de energía panel Monofacial durante el periodo de medida</b>	2260.45	W·h
	<b>Producción TOTAL de energía panel Bifacial durante el periodo de medida</b>	2673.53	W·h
	<b>Incremento de Producción Bifacial vs Monofacial</b>	413.08	W·h <b>18.27%</b>

Tabla 6.2.2.1.7 1- Producción total de energía del panel monofacial y del bifacial e incremento de ésta del panel bifacial frente al monofacial para la superficie de lona de plástico blanco (*Elaboración Propia*)

<b>Horas equivalentes</b>	<b>Horas equivalentes panel Monofacial durante el periodo de medida</b>	6.748	horas	<b>44.99%</b>
	<b>Horas equivalentes panel Bifacial durante el periodo de medida</b>	7.981	horas	<b>53.21%</b>
	<b>Incremento de Horas equivalentes Bifacial vs Monofacial</b>	1.233	horas	<b>8.22%</b> <b>18.27%</b>

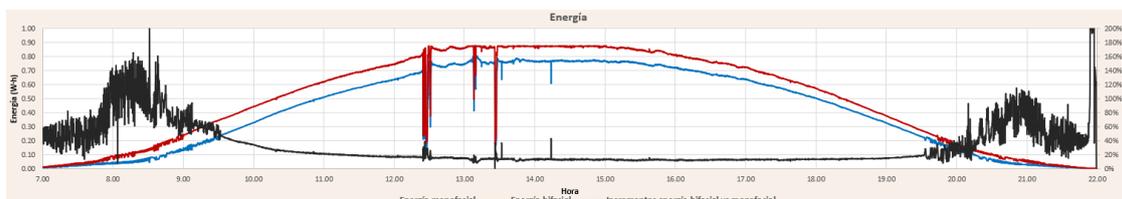
Tabla 6.2.2.1.8 1- Horas equivalentes del panel monofacial y del bifacial total e incremento de éstas del panel bifacial frente al monofacial para la superficie de lona de plástico blanco (*Elaboración Propia*)

En base a las tablas 6.2.2.1.7 y 6.2.2.1.8, durante el periodo de medición, el valor total de la energía generada por el panel monofacial ha sido de 2260.45 W·h, en un tiempo de 6.748 horas equivalentes, que suponen un 44.99 % del tiempo total de medida, mientras que la producida por el panel bifacial ha sido de 2673.53 W·h en 7.981 horas equivalentes, es decir, el 53.21 % de las totales de medida, por lo que el incremento de producción del panel bifacial frente al monofacial es de 413.08 W·h,

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

o sea, un 18.27 % en cuanto a energía y horas equivalentes que, a su vez, representan un 8.22 % respecto del periodo total de medida.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la radiación a lo largo del periodo de medición.



Gráfica 6.2.2.1.4 1- Representación de los valores de energía producida para la superficie de lona de plástico blanco (*Elaboración Propia*)

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, aparece la escala de **energía en Wh**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** se pueden ver las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

En color azul se ha representado la evolución de los valores de la **energía generada por el panel monofacial**, en rojo la **del panel bifacial** y, en negro, el **incremento o ganancia de energía producida por el panel bifacial frente al monofacial**.

En la gráfica (Gráfica 6.2.2.1.4) se puede ver que la tendencia de la energía no es una línea recta, sino una curva, debido a que depende de la intensidad de la radiación captada por los paneles y ésta varía a lo largo del día. En la zona superior se aprecia levemente el efecto clipping, en la franja de 13 a 15 horas. Apenas se aprecian picos de caída producidos por la presencia de nubes.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

### SUPERFICIE DE CÉSPED ARTIFICIAL

<b>Energía</b>	<b>Producción TOTAL de energía panel Monofacial</b> durante el periodo de medida	2087.27 W·h
	<b>Producción TOTAL de energía panel Bifacial</b> durante el periodo de medida	2184.04 W·h
	<b>Incremento de Producción Bifacial vs Monofacial</b>	96.77 W·h <b>4.64%</b>

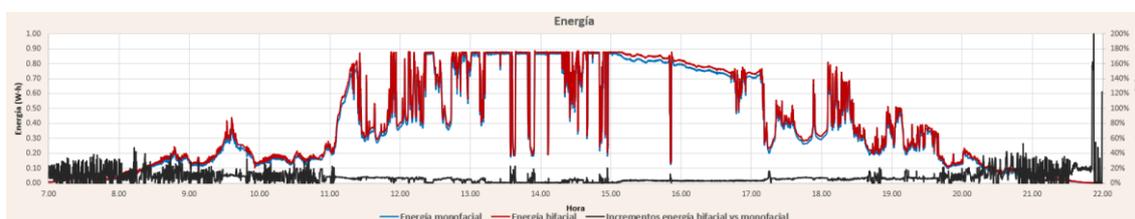
Tabla 6.2.2.1.9 1- Producción total de energía del panel monofacial y del bifacial e incremento de ésta del panel bifacial frente al monofacial para la superficie de césped artificial (*Elaboración Propia*)

<b>Horas equivalentes</b>	<b>Horas equivalentes panel Monofacial</b> durante el periodo de medida	6.231 horas	<b>41.55%</b>
	<b>Horas equivalentes panel Bifacial</b> durante el periodo de medida	6.520 horas	<b>43.47%</b>
	<b>Incremento de Horas equivalentes Bifacial vs Monofacial</b>	0.289 horas	<b>1.93%</b>

Tabla 6.2.2.1.10 1- Horas equivalentes del panel monofacial y del bifacial total e incremento de éstas del panel bifacial frente al monofacial para la superficie de césped artificial (*Elaboración Propia*)

Durante el periodo de medición, según las tablas 6.2.2.1.9 y 6.2.2.1.10, el valor total de la energía generada por el panel monofacial ha sido de 2087.27 W·h, en un tiempo de 6.231 horas equivalentes, que suponen un 41.55 % del tiempo total de medida, mientras que la producida por el panel bifacial ha sido de 2184.04 W·h en 6.520 horas equivalentes, es decir, el 43.47 % de las totales de medida, por lo que el incremento de producción del panel bifacial frente al monofacial es de 96.77 W·h, o sea, un 4.64 % en cuanto a energía y horas equivalentes que, a su vez, representan un 1.93 % respecto del periodo total de medida.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la radiación a lo largo del periodo de medición.



Gráfica 6.2.2.1.5 1- Representación de los valores de energía producida para la superficie de césped artificial (*Elaboración Propia*)

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, aparece la escala de **energía en Wh**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** se pueden ver las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

Por gama cromática, en color azul se ha representado la evolución de los valores de la **energía generada por el panel monofacial**, en rojo la **del panel bifacial** y, en negro, el **incremento o ganancia de energía producida por el panel bifacial frente al monofacial**.

En esta última gráfica se puede ver que la tendencia de la energía no es una línea recta, sino una curva, debido a que depende de la intensidad de la radiación captada por los paneles y ésta varía a lo largo del día. En la zona superior se aprecia de forma clara y muy pronunciada el efecto clipping, en la franja de 11 a 16 horas. Se aprecian numerosos picos de caída producidos por la presencia de nubes.

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

### 6.2.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

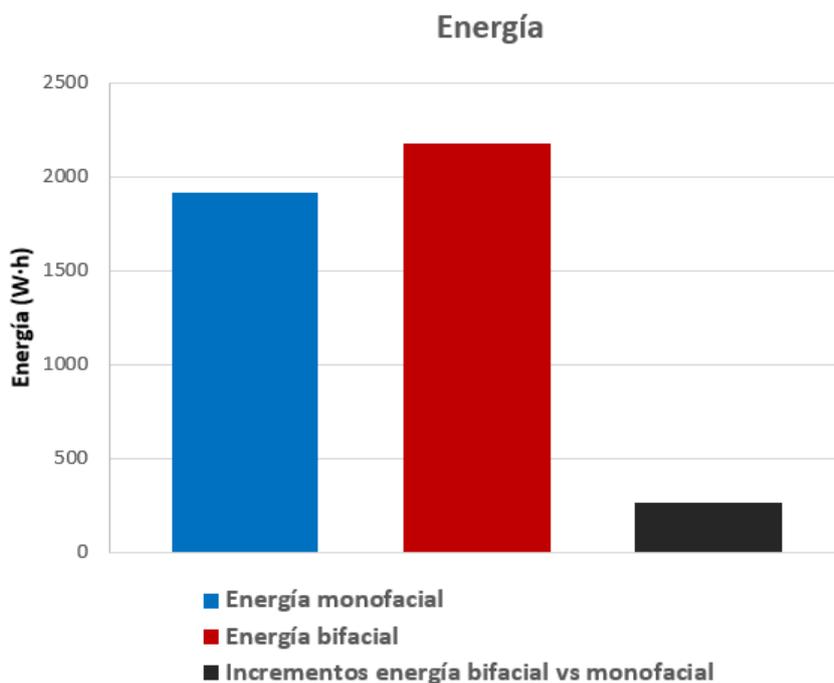
De manera análogo a como se ha procedido anteriormente, una vez se cuenta con las medidas, se procede al análisis de los resultados en cada una de las superficies.

#### SUPERFICIE DEL PROPIO SUELO DE LA CUBIERTA

Los valores de energía producida han sido (ver Gráfica 6.2.2.2.1):

- Panel monofacial: 1913.67 W-h
- Panel bifacial: 2177.22 W-h

La diferencia entre ellos es de 263.56 W-h (barra de color negro), lo que supone una ganancia del 13.77 % del panel bifacial frente al monofacial.



Gráfica 6.2.2.2.1 1- Representación de los valores de energía producida obtenidos para el suelo de la propia cubierta (*Elaboración Propia*)

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

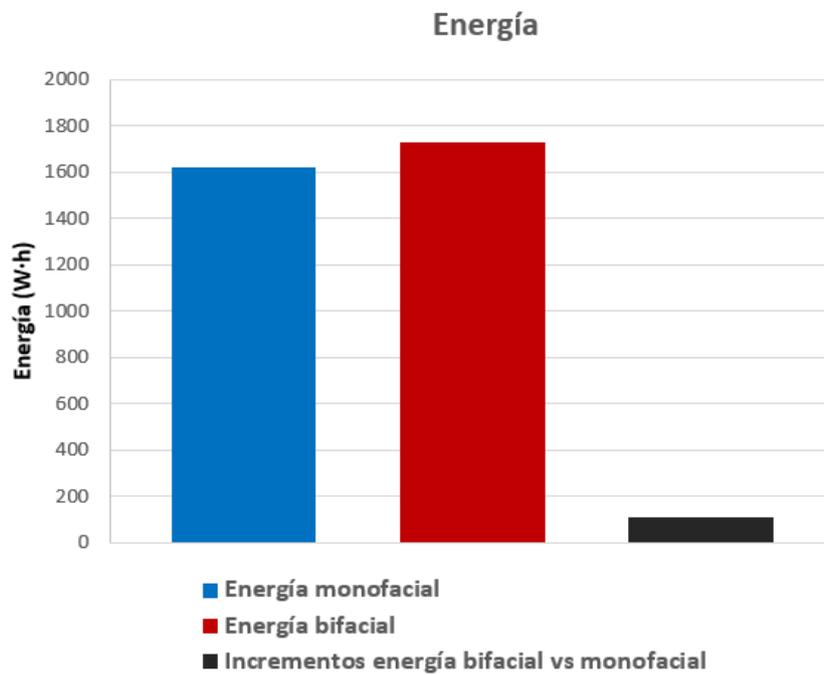
---

### SUPERFICIE DE PLÁSTICO NEGRO

Los valores de radiación captada han sido (ver Gráfica 6.2.2.2.2):

- Panel monofacial: 1619.23 W-h
- Panel bifacial: 1728.24 W-h

La diferencia entre ellos es de 109.21 W-h (barra de color negro), lo que supone una ganancia del 6.73 % del panel bifacial frente al monofacial.



Gráfica 6.2.2.2.2 1- Representación de los valores de energía producida obtenidos para la superficie de plástico negro (*Elaboración Propia*)

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

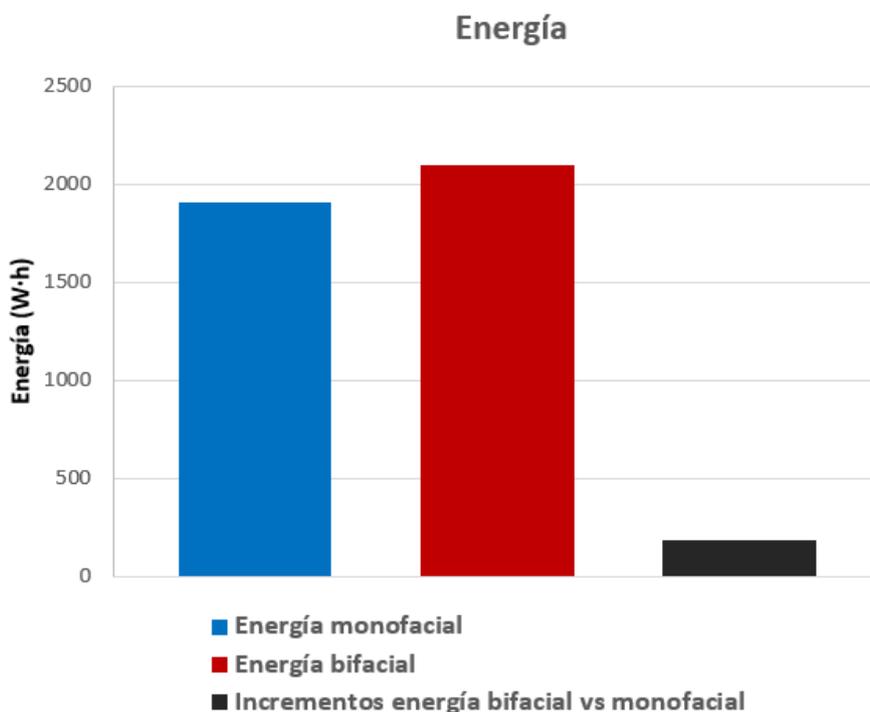
---

### SUPERICIE DE BALDOSAS IMITACIÓN CEMENTO

Los valores de radiación captada han sido (ver Gráfica 6.2.2.2.3):

- Panel monofacial: 1909.43 W·h
- Panel bifacial: 2095.57 W·h

La diferencia entre ellos es de 183.16 W·h (barra de color negro), lo que supone una ganancia del 9.75 % del panel bifacial frente al monofacial.



Gráfica 6.2.2.2.3 1- Representación de los valores de energía producida obtenidos para la superficie de baldosas imitación cemento (*Elaboración Propia*)

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

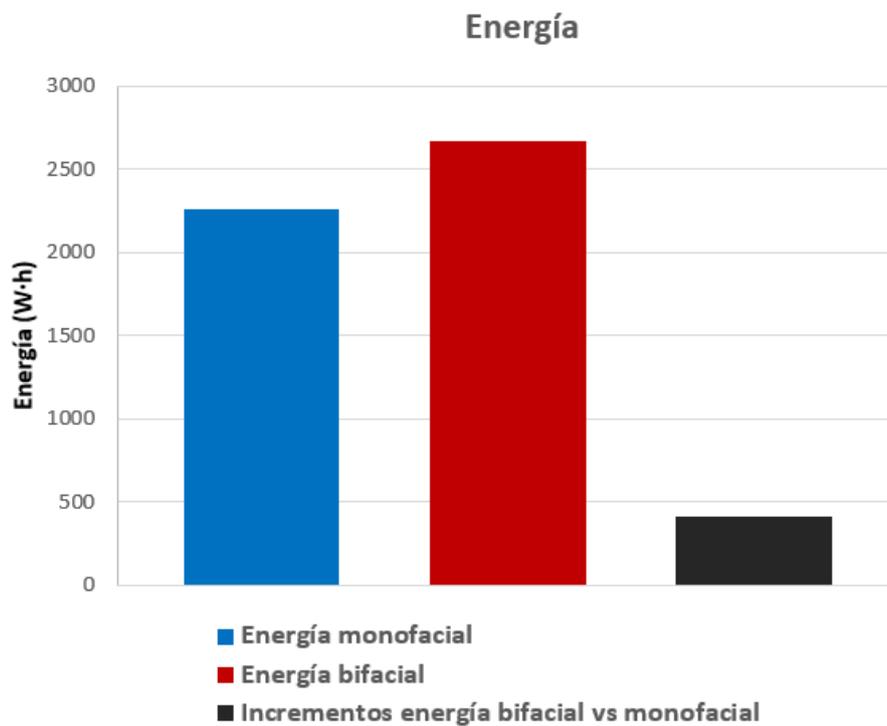
---

### SUPERFICIE DE LONA DE PLÁSTICO BLANCO

Los valores de radiación captada han sido (ver Gráfica 6.2.2.2.4):

- Panel monofacial: 2260.45 W·h
- Panel bifacial: 2673.53 W·h

La diferencia entre ellos es de 413.08 W·h (barra de color negro), lo que supone una ganancia del 18.27 % del panel bifacial frente al monofacial.



Gráfica 6.2.2.2.4 1- Representación de los valores de energía producida obtenidos para la superficie de lona de plástico blanco (*Elaboración Propia*)

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

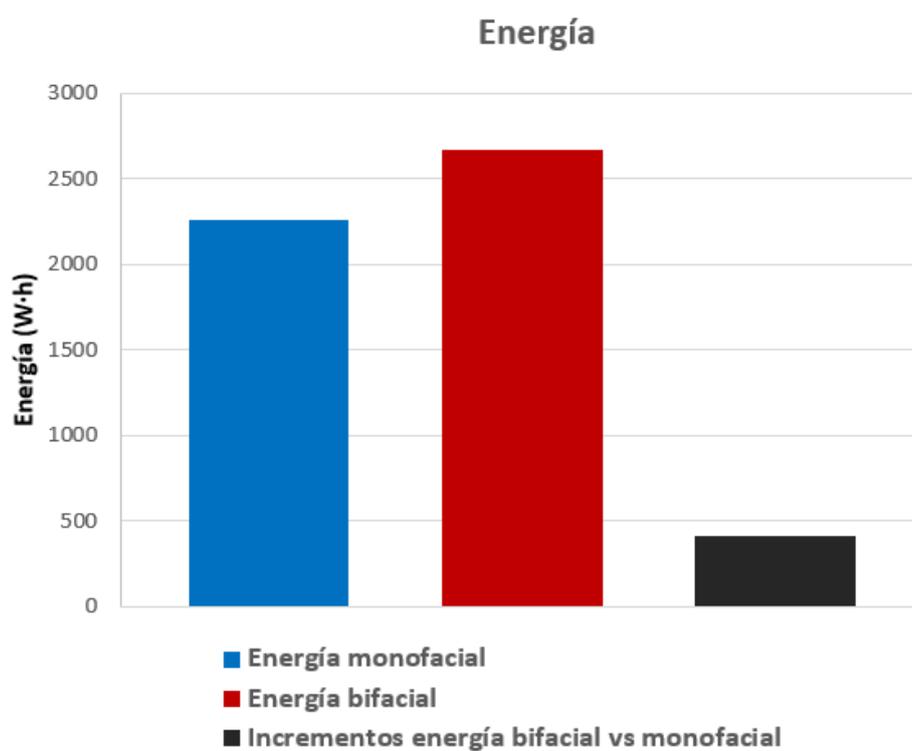
---

### SUPERFICIE DE CÉSPED ARTIFICIAL

Los valores de radiación captada han sido (ver Gráfica 6.2.2.2.5):

- Panel monofacial: 2087.27 W·h
- Panel bifacial: 2184.04 W·h

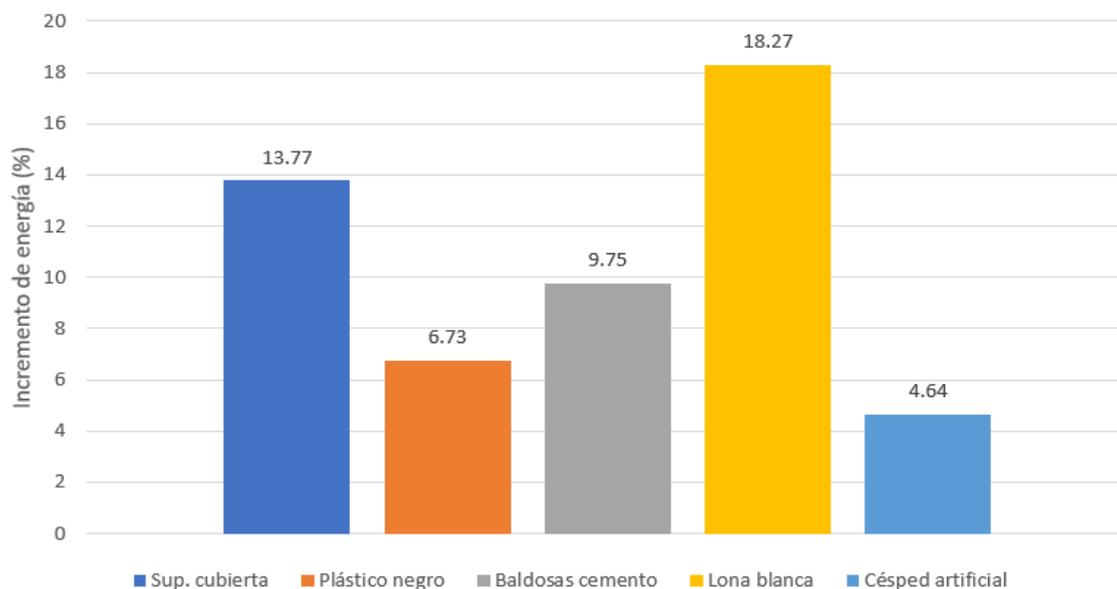
La diferencia entre ellos es de 96.77 W·h (barra de color negro), lo que supone una ganancia del 4.64 % del panel bifacial frente al monofacial.



Gráfica 6.2.2.2.5 1- Representación de los valores de energía producida obtenidos para la superficie de césped artificial (*Elaboración Propia*)

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

En el siguiente gráfico de barras se representan los incrementos de energía producida por el panel bifacial frente al monofacial en tanto por ciento:



Gráfica 6.2.2.2.6 1- Representación de los incrementos de energía generada por el panel bifacial frente al monofacial (*Elaboración Propia*)

Observando esta gráfica se llega a la clara conclusión de que, gracias a que la superficie de lona blanca posee el mayor coeficiente de albedo de todas las que se han estudiado, con esta misma es con la que mayor diferencia de producción hay entre el panel bifacial y el monofacial, tal y como ya se anunciaba al final del punto 6.2.1.2.

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

### 6.2.3 TEMPERATURA

La temperatura es el segundo factor en importancia en la producción de energía de un panel fotovoltaico, después de la radiación.

Para las mismas condiciones de radiación, el aumento de la temperatura en el panel conlleva una disminución en la producción energética de éste. Dado que un bifacial absorbe mayor radiación que uno monofacial, hemos querido comprobar específicamente si existen diferencias importantes en la temperatura de estos paneles.

Por ello, se van a presentar los valores promedio de las medidas y resultados de la temperatura, medidas en °C, de las caras del panel bifacial y la del monofacial y el incremento de éstas del panel bifacial frente al monofacial, en tanto por ciento.

También se van a mostrar el máximo y el mínimo incremento, en tanto por ciento, de la temperatura de la cara frontal del panel bifacial frente a la del monofacial, así como el valor promedio de la misma.

De igual manera se van a presentar el máximo y el mínimo incremento de la cara trasera del panel bifacial frente a la del monofacial.

En el apartado 6.2.1 se presentaron los resultados de radiación para el primero y el último de los días del periodo establecido para realizar las mediciones y, de esos dos, se escogió el día en el que mayor radiación hubo para hacer el análisis. En este caso, se va a tomar ese mismo día tanto para la presentación como para el análisis.

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

### 6.2.3.1 MEDIDAS Y RESULTADOS

Aparecen, a continuación, las medidas y resultados de temperatura, desde de cada una de las superficies.

#### SUPERFICIE DEL PROPIO SUELO DE LA CUBIERTA

<b>Temperatura</b>	<b>Promedio Frontal Bifacial</b>	<b>31.45 °C</b>
	<b>Promedio Trasera Bifacial</b>	<b>31.02 °C</b>
	<b>Promedio Frontal Monofacial</b>	<b>31.83 °C</b>
	<b>Promedio Incremento Frontal Bifacial vs monofacial</b>	<b>-1.49%</b>
	Máximo Incremento Frontal Bifacial vs monofacial	3.15%
	Mínimo Incremento Frontal Bifacial vs monofacial	-0.35%
	<b>Promedio Incremento Trasera Bifacial vs monofacial</b>	<b>-3.29%</b>
	Máximo Incremento Trasera Bifacial vs monofacial	7.56%
	Mínimo Incremento Trasera Bifacial vs monofacial	1.56%

Tabla 6.2.3.1.1 1– Promedios de las temperaturas de cada cara de los paneles y los máximos y mínimos incrementos en tanto por ciento de unas respecto a las otras para la superficie del propio suelo de la cubierta (*Elaboración Propia*)

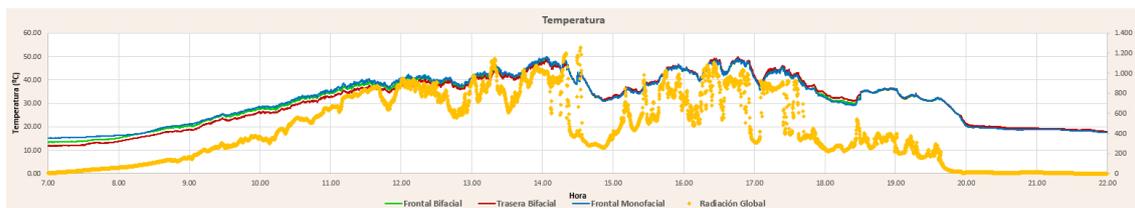
El valor promedio de la temperatura de la cara frontal del panel bifacial es 31.45 °C, la de su cara trasera 31.02 °C y la frontal del panel monofacial ha sido de 31.83 °C.

El promedio en tanto por ciento del incremento de la temperatura de la cara frontal del panel bifacial frente al monofacial es del -1.49%, lo que significa que, por lo general, la cara delantera del bifacial está más fría que la misma del monofacial.

Por otro lado, el incremento del promedio de la cara trasera del panel bifacial frente a la delantera y única del monofacial es de un -3.29%, que nuevamente, por ser negativo, quiere decir que la trasera del bifacial, en la mayoría de los casos, está más fría que la del monofacial.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la temperatura a lo largo del periodo de medición.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS



Gráfica 6.2.3.1.1 1- Representación de los valores de temperatura para el suelo de la propia cubierta (*Elaboración Propia*)

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, aparece la escala de **temperatura en °C**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** se pueden ver las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

Por gama de colores, se puede distinguir lo siguiente: en color verde la **temperatura de la cara frontal del panel bifacial**, en rojo los valores **de la cara trasera del panel bifacial**, en azul la **frontal del panel monofacial** y, en amarillo, la radiación global recibida a lo largo del periodo de medición.

Se puede ver (Gráfica 6.2.3.1.1) que la tendencia de la temperatura no es una línea recta, sino una curva, debido a que depende de la intensidad de la radiación captada por los paneles y ésta varía a lo largo del día.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

### SUPERFICIE DE PLÁSTICO NEGRO

<b>Temperatura</b>	<b>Promedio Frontal Bifacial</b>	<b>31.93 °C</b>
	<b>Promedio Trasera Bifacial</b>	<b>31.78 °C</b>
	<b>Promedio Frontal Monofacial</b>	<b>32.36 °C</b>
	<b>Promedio Incremento Frontal Bifacial vs monofacial</b>	<b>-0.50%</b>
	Máximo Incremento Frontal Bifacial vs monofacial	17.90%
	Mínimo Incremento Frontal Bifacial vs monofacial	-0.17%
	<b>Promedio Incremento Trasera Bifacial vs monofacial</b>	<b>-0.44%</b>
	Máximo Incremento Trasera Bifacial vs monofacial	17.05%
	Mínimo Incremento Trasera Bifacial vs monofacial	0.26%

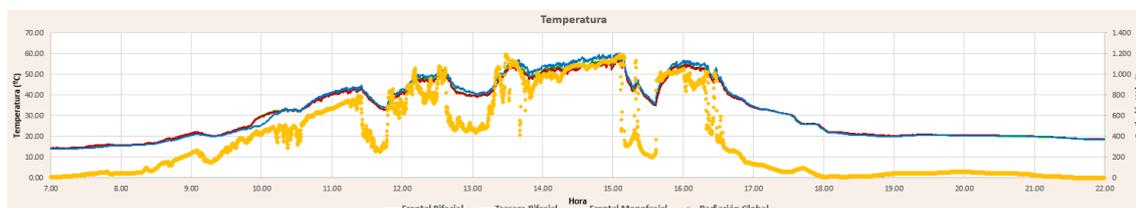
Tabla 6.2.3.1.2 1- Promedios de las temperaturas de cada cara de los paneles y los máximos y mínimos incrementos en tanto por ciento de unas respecto a las otras para la superficie del plástico negro (*Elaboración Propia*)

El valor promedio de la temperatura de la cara frontal del panel bifacial es 31.93 °C, la de su cara trasera 31.78 °C y la frontal del panel monofacial ha sido de 32.36 °C.

El promedio en tanto por ciento del incremento de la temperatura de la cara frontal del panel bifacial frente al monofacial es del -0.5%, lo que significa que, por lo general, la cara delantera del bifacial está ligeramente más fría que la misma del monofacial.

Por otro lado, el incremento del promedio de la cara trasera del panel bifacial frente a la delantera y única del monofacial es de un -0.44%, que nuevamente, por ser negativo, quiere decir que la trasera del bifacial, en la mayoría de los casos, está más fría que la del monofacial.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la temperatura a lo largo del periodo de medición.



Gráfica 6.2.3.1.2 1- Representación de los valores de temperatura para el plástico negro (*Elaboración Propia*)

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, aparece la escala de **temperatura en °C**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** se pueden ver las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

Por colores, se puede distinguir lo siguiente: en color verde la **temperatura de la cara frontal del panel bifacial**, en rojo los valores **de la cara trasera del panel bifacial**, en azul la **frontal del panel monofacial** y, en amarillo, la radiación global recibida a lo largo del periodo de medición.

Se puede observar (Gráfica 6.2.3.1.2) cómo la tendencia de la temperatura no es una línea recta, sino una curva, debido a que depende de la intensidad de la radiación captada por los paneles y ésta varía a lo largo del día.

### SUPERFICIE DE BALDOSAS IMITACIÓN CEMENTO

Temperatura	<b>Promedio Frontal Bifacial</b>	<b>40.58 °C</b>
	<b>Promedio Trasera Bifacial</b>	<b>40.35 °C</b>
	<b>Promedio Frontal Monofacial</b>	<b>40.21 °C</b>
	<b>Promedio Incremento Frontal Bifacial vs monofacial</b>	<b>1.48%</b>
	Máximo Incremento Frontal Bifacial vs monofacial	12.84%
	Mínimo Incremento Frontal Bifacial vs monofacial	-3.46%
	<b>Promedio Incremento Trasera Bifacial vs monofacial</b>	<b>1.19%</b>
	Máximo Incremento Trasera Bifacial vs monofacial	13.65%
	Mínimo Incremento Trasera Bifacial vs monofacial	-5.16%

Tabla 6.2.3.1.3 1- Promedios de las temperaturas de cada cara de los paneles y los máximos y mínimos incrementos en tanto por ciento de unas respecto a las otras para las baldosas de imitación cemento (*Elaboración Propia*)

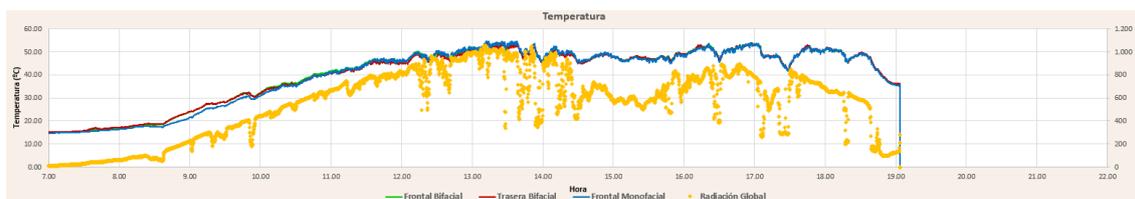
El valor promedio de la temperatura de la cara frontal del panel bifacial es 40.58 °C, la de su cara trasera 40.35 °C y la frontal del panel monofacial ha sido de 40.21 °C.

El promedio en tanto por ciento del incremento de la temperatura de la cara frontal del panel bifacial frente al monofacial es del 1.48%, lo cual quiere decir que, al contrario que en los casos anteriores, la cara delantera del bifacial está más caliente que la misma del monofacial.

Por otro lado, el incremento del promedio de la cara trasera del panel bifacial frente a la delantera y única del monofacial es de un 1.19% que, por ser positivo, quiere decir que la trasera del bifacial, en la mayoría de los casos, está más caliente que la del monofacial.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la temperatura a lo largo del periodo de medición.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS



Gráfica 6.2.3.1.3 1- Representación de los valores de temperatura para las baldosas imitación cemento (*Elaboración Propia*)

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, aparece la escala de **temperatura en °C**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** se pueden ver las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

Por gama cromática, se puede distinguir lo siguiente: en color verde la **temperatura de la cara frontal del panel bifacial**, en rojo los valores **de la cara trasera del panel bifacial**, en azul la **frontal del panel monofacial** y, en amarillo, la **radiación global** recibida a lo largo del periodo de medición.

Se puede ver que la tendencia de la temperatura no es una línea recta (Gráfica 6.2.3.1.3), sino una curva, debido a que depende de la intensidad de la radiación captada por los paneles y ésta varía a lo largo del día.

### SUPERFICIE DE LONA DE PLÁSTICO BLANCO

<b>Temperatura</b>	<b>Promedio Frontal Bifacial</b>	<b>43.44 °C</b>
	<b>Promedio Trasera Bifacial</b>	<b>43.45 °C</b>
	<b>Promedio Frontal Monofacial</b>	<b>43.57 °C</b>
	<b>Promedio Incremento Frontal Bifacial vs monofacial</b>	<b>0.62%</b>
	Máximo Incremento Frontal Bifacial vs monofacial	22.36%
	Mínimo Incremento Frontal Bifacial vs monofacial	-5.96%
	<b>Promedio Incremento Trasera Bifacial vs monofacial</b>	<b>0.98%</b>
	Máximo Incremento Trasera Bifacial vs monofacial	23.90%
	Mínimo Incremento Trasera Bifacial vs monofacial	-7.05%

Tabla 6.2.3.1.4 1- Promedios de las temperaturas de cada cara de los paneles y los máximos y mínimos incrementos en tanto por ciento de unas respecto a las otras para la superficie de lona de plástico blanco (*Elaboración Propia*)

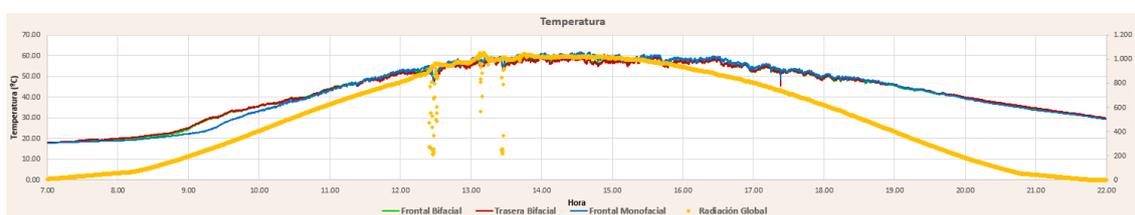
El valor promedio de la temperatura de la cara frontal del panel bifacial es 43.44 °C, la de su cara trasera 43.45 °C y la frontal del panel monofacial ha sido de 43.57 °C.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

El promedio en tanto por ciento del incremento de la temperatura de la cara frontal del panel bifacial frente al monofacial es del 98%, lo que significa que, por lo general, la cara delantera del bifacial está ligeramente más caliente que la misma del monofacial.

Por otro lado, el incremento del promedio de la cara trasera del panel bifacial frente a la delantera y única del monofacial es de un 0.98%, que viene a decir que la trasera del bifacial, en general, está más caliente que la del monofacial.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la temperatura a lo largo del periodo de medición.



Gráfica 6.2.3.1.4 1- Representación de los valores de temperatura para la lona de plástico blanco (*Elaboración Propia*)

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, aparece la escala de **temperatura en °C**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** se pueden ver las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

Por colores, se puede distinguir lo siguiente: en color verde la **temperatura de la cara frontal del panel bifacial**, en rojo los valores **de la cara trasera del panel bifacial**, en azul la **frontal del panel monofacial** y, en amarillo, la radiación global recibida a lo largo del periodo de medición.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

### SUPERFICIE DE CÉSPED ARTIFICIAL

<b>Temperatura</b>	<b>Promedio Frontal Bifacial</b>	<b>36.35 °C</b>
	<b>Promedio Trasera Bifacial</b>	<b>36.04 °C</b>
	<b>Promedio Frontal Monofacial</b>	<b>36.74 °C</b>
	<b>Promedio Incremento Frontal Bifacial vs monofacial</b>	<b>-0.74%</b>
	Máximo Incremento Frontal Bifacial vs monofacial	3.34%
	Mínimo Incremento Frontal Bifacial vs monofacial	0.62%
	<b>Promedio Incremento Trasera Bifacial vs monofacial</b>	<b>-1.36%</b>
	Máximo Incremento Trasera Bifacial vs monofacial	3.38%
	Mínimo Incremento Trasera Bifacial vs monofacial	1.66%

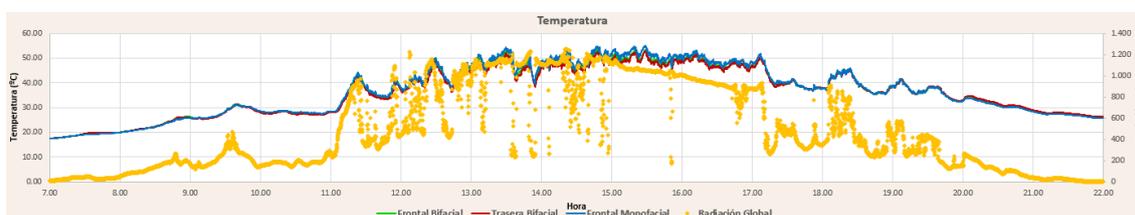
Tabla 6.2.3.1.5 1- Promedios de las temperaturas de cada cara de los paneles y los máximos y mínimos incrementos en tanto por ciento de unas respecto a las otras para la superficie de césped artificial (*Elaboración Propia*)

El valor promedio de la temperatura de la cara frontal del panel bifacial es 36.35 °C, la de su cara trasera 36.04 °C y la frontal del panel monofacial ha sido de 36.74 °C.

El promedio en tanto por ciento del incremento de la temperatura de la cara frontal del panel bifacial frente al monofacial es del -0.74%, lo que significa que, por lo general, la cara delantera del bifacial está ligeramente más fría que la misma del monofacial.

Por otro lado, el incremento del promedio de la cara trasera del panel bifacial frente a la delantera y única del monofacial es de un -1.36%, que nuevamente, por ser negativo, quiere decir que la trasera del bifacial, en la mayoría de los casos, está más fría que la del monofacial.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de los valores que ha ido tomando la temperatura a lo largo del periodo de medición.



Gráfica 6.2.3.1.5 1- Representación de los valores de temperatura para el césped artificial (*Elaboración Propia*)

En el **eje Y**, a la izquierda de la gráfica, aparece la escala de **temperatura en °C**, y en el mismo eje, al lado derecho el **incremento en tanto por ciento**, mientras que en el **eje X** se pueden ver las **horas del día** en las que se han recogido las medidas.

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

Por colores, se puede distinguir lo siguiente: en color verde la **temperatura de la cara frontal del panel bifacial**, en rojo los valores **de la cara trasera del panel bifacial**, en **azul la frontal del panel monofacial** y, en amarillo, la radiación global recibida a lo largo del periodo de medición.

Una vez analizadas todas las gráficas de temperatura, se puede observar que la tendencia de la temperatura no es una línea recta, sino una curva, debido a que depende de la intensidad de la radiación captada por los paneles y ésta varía a lo largo del día, de manera independiente a la superficie que se trate.

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

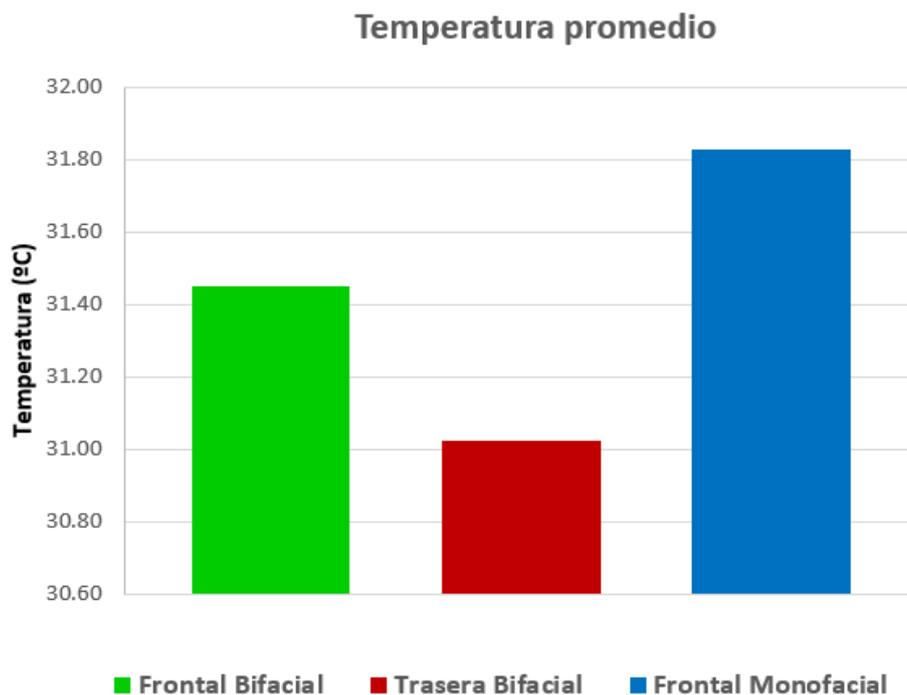
### 6.2.3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Obtenidas las medidas de temperatura, se pasa a valorar los resultados según el tipo de superficie.

#### SUPERFICIE DEL PROPIO SUELO DE LA CUBIERTA

Los valores promedio de temperatura de cada una de las caras de los paneles han sido (ver Gráfica 6.2.3.2.1):

- Cara frontal del panel bifacial: 31.45°C
- Cara trasera del panel bifacial: 31.02°C
- Cara frontal del panel monofacial: 31.83°C



Gráfica 6.2.3.2.1 1- Representación de los valores de temperatura de cada una de las caras de los paneles para la superficie del propio suelo de la cubierta (*Elaboración Propia*)

---

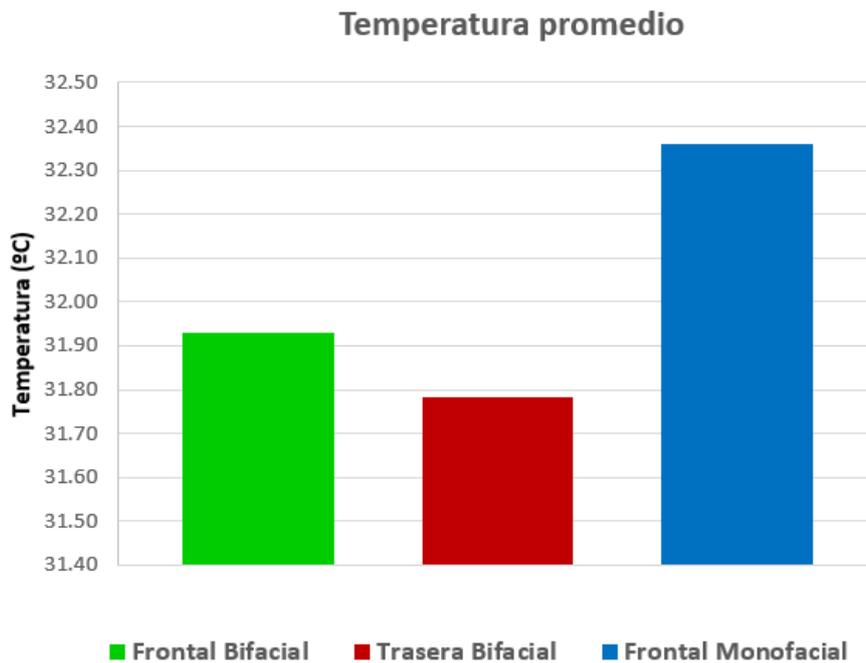
## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

### SUPERFICIE DE PLÁSTICO NEGRO

Los valores promedio de temperatura de cada una de las caras de los paneles han sido (ver Gráfica 6.2.3.2.2):

- Cara frontal del panel bifacial: 31.93°C
- Cara trasera del panel bifacial: 31.78°C
- Cara frontal del panel monofacial: 32.36°C



Gráfica 6.2.3.2.2 1- Representación de los valores de temperatura de cada una de las caras de los paneles para la superficie de plástico negro (*Elaboración Propia*)

---

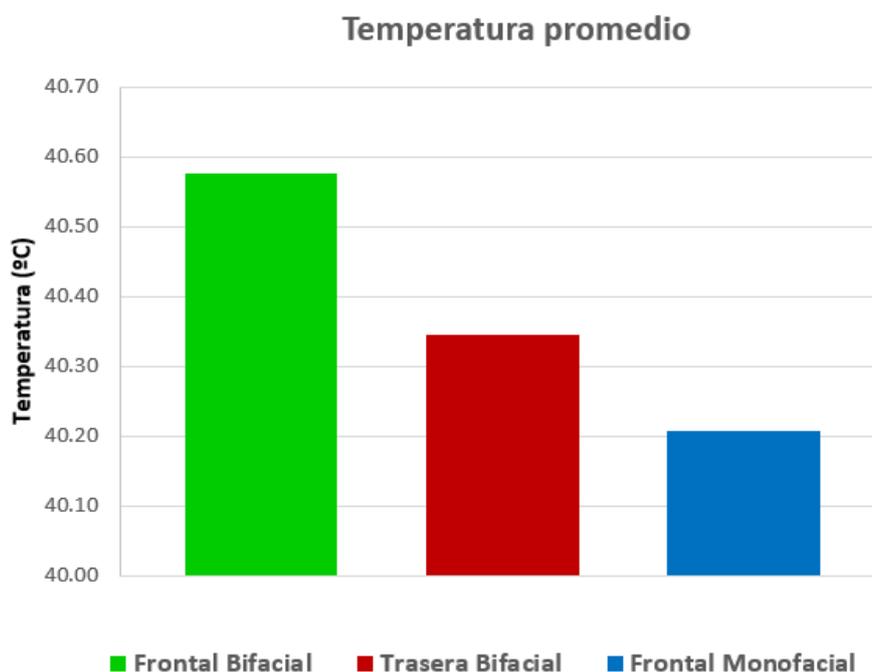
## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

### SUPERFICIE DE BALDOSAS IMITACIÓN CEMENTO

Los valores promedio de temperatura de cada una de las caras de los paneles han sido (ver Gráfica 6.2.3.2.3):

- Cara frontal del panel bifacial: 40.58 C
- Cara trasera del panel bifacial: 40.35 °C
- Cara frontal del panel monofacial: 40.21 °C



Gráfica 6.2.3.2.3 1- Representación de los valores de temperatura de cada una de las caras de los paneles para la superficie de baldosas imitación cemento (*Elaboración Propia*)

---

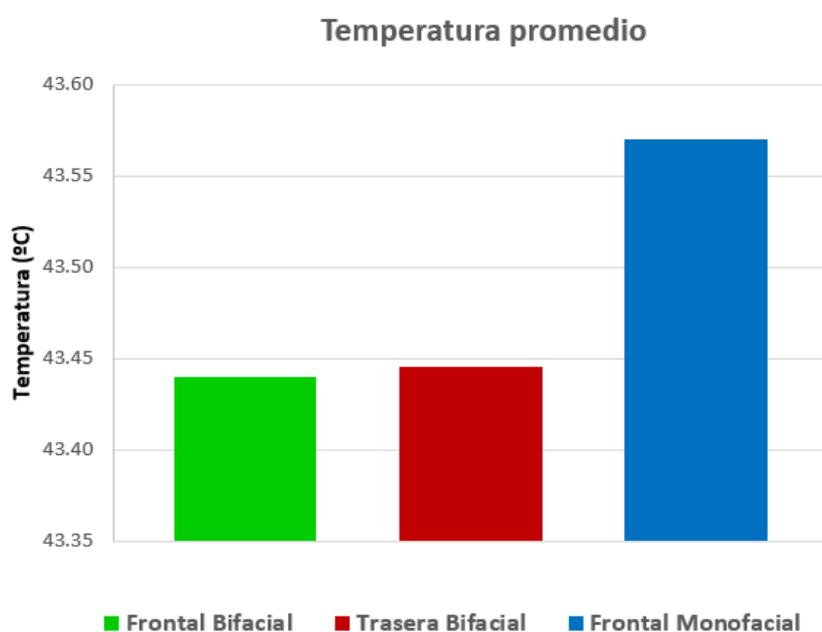
## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

### SUPERFICIE DE LONA DE PLÁSTICO BLANCO

Los valores promedio de temperatura de cada una de las caras de los paneles han sido (ver Gráfica 6.2.3.2.4):

- Cara frontal del panel bifacial: 43.44 °C
- Cara trasera del panel bifacial: 43.45 °C
- Cara frontal del panel monofacial: 43.57 °C



Gráfica 6.2.3.2.4 1- Representación de los valores de temperatura de cada una de las caras de los paneles para la superficie de lona de plástico blanco (*Elaboración Propia*)

---

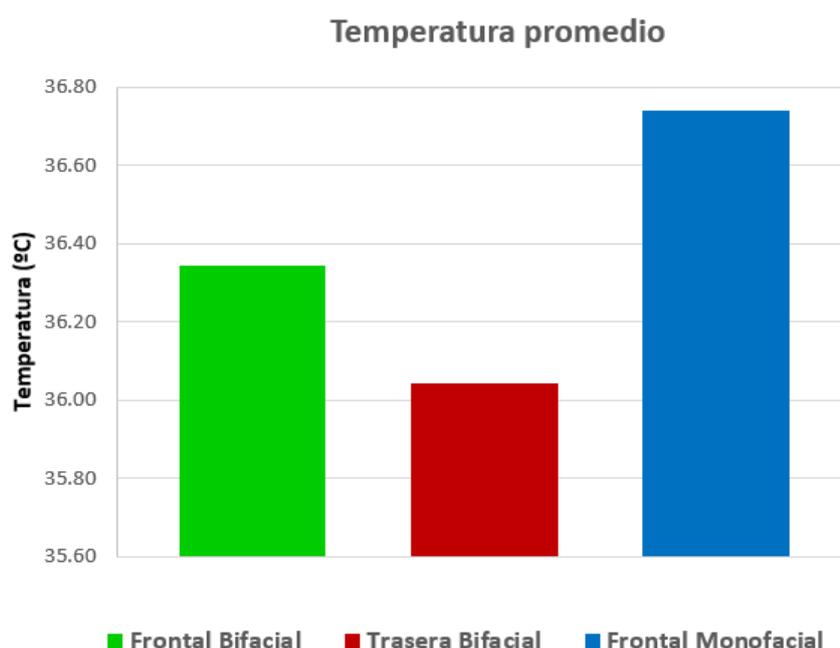
## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

### SUPERFICIE DE CÉSPED ARTIFICIAL

Los valores promedio de temperatura de cada una de las caras de los paneles han sido (ver Gráfica 6.2.3.2.5):

- Cara frontal del panel bifacial: 36.35 °C
- Cara trasera del panel bifacial: 36.04 °C
- Cara frontal del panel monofacial: 36.74 °C



Gráfica 6.2.3.2.5 1- Representación de los valores de temperatura de cada una de las caras de los paneles para la superficie de césped artificial (*Elaboración Propia*)

Podemos concluir que no existen grandes diferencias en cuanto a la temperatura, siendo éstas originadas por el montaje y disposición de los módulos no por su bifacialidad.

La cara que menor temperatura presenta, en general, es la trasera del bifacial, ya que es la que menos expuesta al sol se encuentra. Le sigue la cara frontal del panel bifacial, ya que al no estar sombreada por detrás, como es el caso del panel monofacial, la radiación traspasa el panel por los huecos transparentes que hay entre las células, estando además totalmente ventilado por detrás (Figuras 5.16 y 5.17) (en el caso del monofacial, al estar sombreado por detrás, aunque haya espacio entre el tablero y la placa, no está totalmente ventilado, por lo que retiene una pequeña cantidad de calor que marca la diferencia entre las caras de los paneles).

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

### 6.3 BIFACIAL RATIO, FACTOR DE BIFACIALIDAD Y GANANCIA BIFACIAL

Tras haber presentado y analizado todos los datos obtenidos para hallar el coeficiente de albedo, radiación captada, energía producida y temperatura de cada una de las caras de los paneles, se pueden hallar los índices y coeficientes que definen a un panel bifacial, para cada una de las superficies que se han estudiado, y que ya han sido explicados en el apartado 4.3 del marco teórico.

#### SUPERFICIE DEL PROPIO SUELO DE LA CUBIERTA

- Bifacial ratio del panel:

$$\text{Bifacial ratio} = \frac{G \text{ trasera}}{G \text{ delantera}} = \frac{482.04}{2875.77} * 100 = 16.76 \% \quad (Ec. 1)$$

- Factor de bifacialidad del panel:

$$\text{Factor de bifacialidad} = \frac{P_{\text{mmp}} \text{ trasera}}{P_{\text{mmp}} \text{ delantera}} = \frac{20}{335} * 100 = 5.97\% \quad (Ec. 2)$$

- Ganancia bifacial del panel:

$$\text{Ganancia bifacial} = \frac{E \text{ trasera}}{E \text{ delantera}} = \frac{749.01}{1840.52} * 100 = 40.70\% \quad (Ec. 3)$$

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

### SUPERFICIE DE PLÁSTICO NEGRO

- Bifacial ratio del panel:

$$\text{Bifacial ratio} = \frac{G \text{ trasera}}{G \text{ delantera}} = \frac{185.41}{2006.03} * 100 = 9.24 \% \quad (\text{Ec. 1})$$

- Factor de bifacialidad del panel:

$$\text{Factor de bifacialidad} = \frac{P_{\text{mmp}} \text{ trasera}}{P_{\text{mmp}} \text{ delantera}} = \frac{20}{335} * 100 = 5.97\% \quad (\text{Ec. 2})$$

- Ganancia bifacial del panel:

$$\text{Ganancia bifacial} = \frac{E \text{ trasera}}{E \text{ delantera}} = \frac{109.01}{1616.23} * 100 = 6.73\% \quad (\text{Ec. 3})$$

### SUPERFICIE DE BALDOSAS IMITACIÓN CEMENTO

- Bifacial ratio del panel:

$$\text{Bifacial ratio} = \frac{G \text{ trasera}}{G \text{ delantera}} = \frac{299}{2384.65} * 100 = 12.54 \% \quad (\text{Ec. 1})$$

- Factor de bifacialidad del panel:

$$\text{Factor de bifacialidad} = \frac{P_{\text{mmp}} \text{ trasera}}{P_{\text{mmp}} \text{ delantera}} = \frac{20}{335} * 100 = 5.97\% \quad (\text{Ec. 2})$$

- Ganancia bifacial del panel:

$$\text{Ganancia bifacial} = \frac{E \text{ trasera}}{E \text{ delantera}} = \frac{186.15}{1909.45} * 100 = 9.75\% \quad (\text{Ec. 3})$$

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

### SUPERFICIE DE LONA BLANCA

- Bifacial ratio del panel:

$$\text{Bifacial ratio} = \frac{G \text{ trasera}}{G \text{ delantera}} = \frac{671.44}{2897.58} * 100 = 23.17 \% \quad (\text{Ec. 1})$$

- Factor de bifacialidad del panel:

$$\text{Factor de bifacialidad} = \frac{P_{\text{mmp}} \text{ trasera}}{P_{\text{mmp}} \text{ delantera}} = \frac{20}{335} * 100 = 5.97\% \quad (\text{Ec. 2})$$

- Ganancia bifacial del panel:

$$\text{Ganancia bifacial} = \frac{E \text{ trasera}}{E \text{ delantera}} = \frac{413.08}{2260.45} * 100 = 18.27\% \quad (\text{Ec. 3})$$

### SUPERFICIE DE CÉSPED ARTIFICIAL

- Bifacial ratio del panel:

$$\text{Bifacial ratio} = \frac{G \text{ trasera}}{G \text{ delantera}} = \frac{240.21}{2586.74} * 100 = 9.29 \% \quad (\text{Ec. 1})$$

- Factor de bifacialidad del panel:

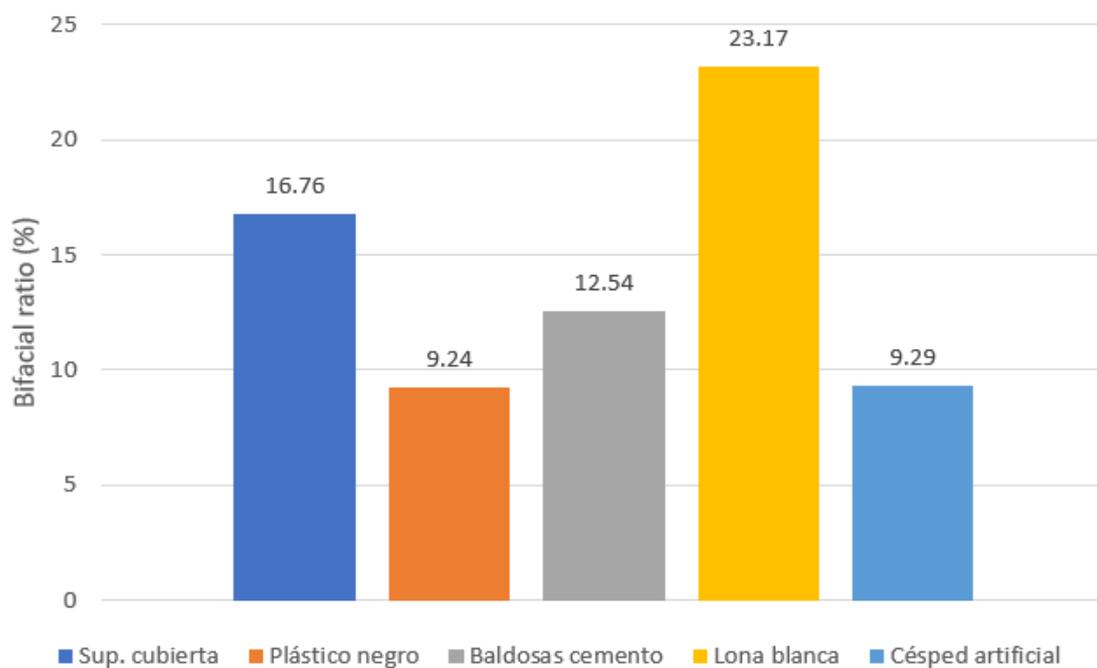
$$\text{Factor de bifacialidad} = \frac{P_{\text{mmp}} \text{ trasera}}{P_{\text{mmp}} \text{ delantera}} = \frac{20}{335} * 100 = 5.97\% \quad (\text{Ec. 2})$$

- Ganancia bifacial del panel:

$$\text{Ganancia bifacial} = \frac{E \text{ trasera}}{E \text{ delantera}} = \frac{96.77}{2087.24} * 100 = 4.64\% \quad (\text{Ec. 3})$$

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

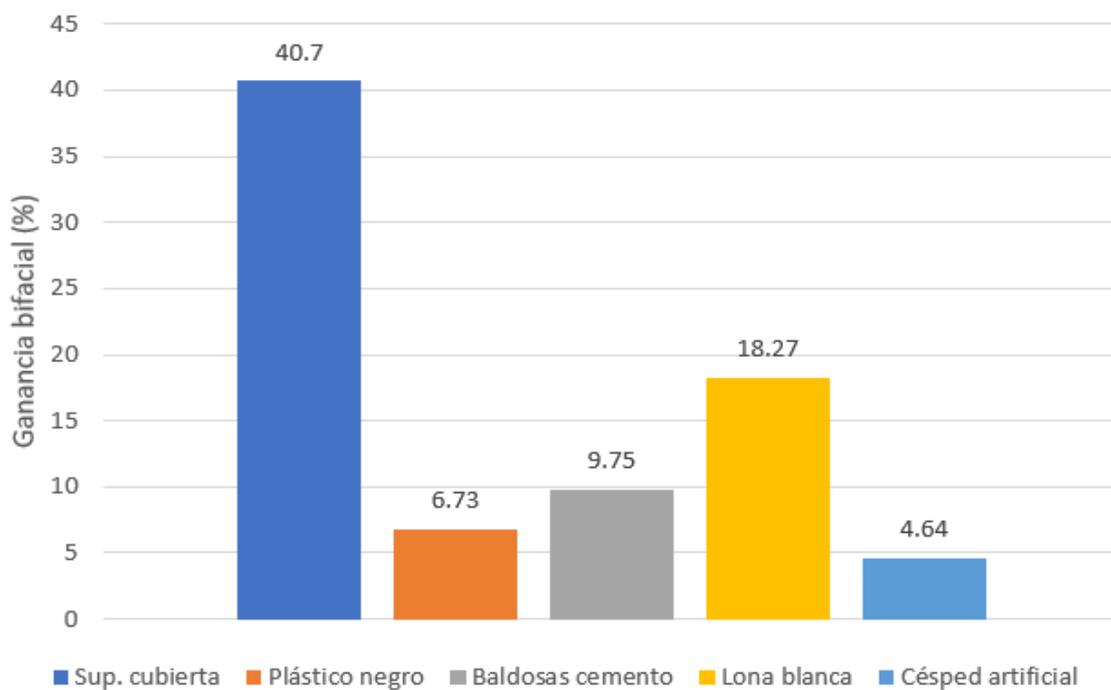
A continuación, se van a representar los ratios obtenidos en gráficos de barras para facilitar su análisis:



Gráfica 6.3.1 1 - Bifacial ratio para cada una de las superficies de estudio  
(Elaboración propia)

Para el factor de bifacialidad no se van a representar los valores obtenidos, ya que son iguales para todas las superficies de estudio por tratarse de una característica intrínseca del panel.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS



Gráfica 6.3.2 1- Ganancia bifacial para cada una de las superficies de estudio  
(Elaboración propia)

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

### 6.4 ANÁLISIS DE PRECIOS DE LOS PANELES, DEL PRECIO MEDIO DE LA ENERGÍA Y VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PANEL BIFACIAL FRENTE AL MONOFACIAL

En este punto se va a analizar el precio de mercado de dos modelos comerciales de paneles fotovoltaicos, uno monofacial y otro bifacial, con características técnicas lo más similares posibles. La diferencia de precios que exista entre ellos se comparará con la ganancia económica que se obtenga con el incremento de producción energética del panel bifacial frente al monofacial, para saber si resulta viable asumir el incremento de precio de los bifaciales en base al beneficio económico que generarán con respecto al monofacial.

Cabe destacar que en el momento en el que se ha realizado esta comparativa, el fabricante de los paneles que se han utilizado, LG, ha dado por cesada su actividad en el mundo de la tecnología fotovoltaica y, con ella, la producción y comercialización de paneles, por lo que no ha sido posible encontrar el precio de éstos. Por ello, se va a realizar dicha comparativa analizando otro fabricante. Dentro de las múltiples opciones de fabricantes que hay en el mercado se ha optado por el fabricante chino Jinko, ya que cuenta en su catálogo tanto como paneles fotovoltaicos bifaciales como monofaciales, con potencias pico similares.

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

Los modelos seleccionados han sido:

- **Panel monofacial:** Jinko Tiger Pro 550 Wp

**Jinko**<sup>Solar</sup>

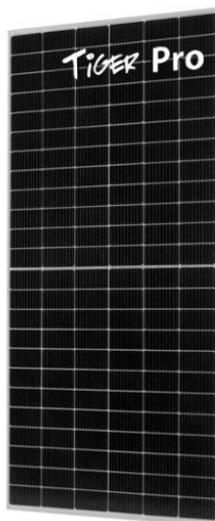


Figura 6.4.1 1 – Panel monofacial Jinko Tiger Pro 550 Wp (Placa Solar Jinko 550W, s. f.)

Según el proveedor consultado, su precio es de **162 euros**

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

- **Panel bifacial:** Jinko Tiger NEO 565W Bifacial SILVER Frame

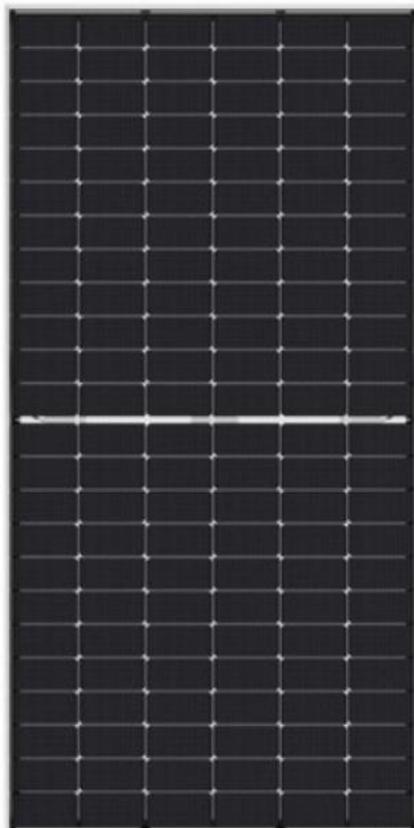


Figura 6.4.2 1- Panel Bifacial Jinko Tiger NEO 565W Bifacial SILVER Frame (Comprar panel solar Jinko Tiger NEO 565W Bifacial SILVER Frame | TS, s. f.)

Según el proveedor consultado, su precio es de **179.50 euros**

La diferencia de precio entre ambos paneles, habiendo consultado los proveedores que menor precio ofrecían para cada producto respectivamente, ya que no se han podido encontrar los dos productos en el mismo fabricante, es de 17.50 euros, siendo más cara la variante bifacial. Porcentualmente supone un 10.80% más.

Según el informe anual del año 2022 de OMIE, el precio medio del mercado diario para la zona española fue de 167.52 €/MWh, es decir, 0.16752 €/kWh.

(Publicaciones | OMIE, s. f.)

---

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

---

En base a estos precios y a la ganancia de producción energética del panel bifacial frente al monofacial, se va a analizar si es rentable pagar la diferencia de precio entre ambos paneles en función de dicha ganancia para cada una de las superficies de estudio, teniendo en cuenta que la vida útil de un panel fotovoltaico es de 25 años.

### SUPERFICIE DEL PROPIO SUELO DE LA CUBIERTA

$$0.74901 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{día}} * \frac{0.16752 \text{ €}}{1 \text{ kW} \cdot \text{h}} * \frac{365 \text{ días}}{\text{año}} * 25 \text{ años} = 1144.95 \text{ € (Ec. 4)}$$

### SUPERFICIE DE PLÁSTICO NEGRO

$$0.10901 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{día}} * \frac{0.16752 \text{ €}}{1 \text{ kW} \cdot \text{h}} * \frac{365 \text{ días}}{\text{año}} * 25 \text{ años} = 166.63 \text{ € (Ec. 5)}$$

### SUPERFICIE DE BALDOSAS IMITACIÓN CEMENTO

$$0.18613 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{día}} * \frac{0.16752 \text{ €}}{1 \text{ kW} \cdot \text{h}} * \frac{365 \text{ días}}{\text{año}} * 25 \text{ años} = 284.52 \text{ € (Ec. 6)}$$

### SUPERFICIE DE LONA BLANCA

$$0.41308 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{día}} * \frac{0.16752 \text{ €}}{1 \text{ kW} \cdot \text{h}} * \frac{365 \text{ días}}{\text{año}} * 25 \text{ años} = 6131.44 \text{ € (Ec. 7)}$$

### SUPERFICIE DE CÉSPED ARTIFICIAL

$$0.09677 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{día}} * \frac{0.16752 \text{ €}}{1 \text{ kW} \cdot \text{h}} * \frac{365 \text{ días}}{\text{año}} * 25 \text{ años} = 147.92 \text{ € (Ec. 8)}$$

De estos valores, a priori, se deduce que, a pesar del incremento del costo de los paneles bifaciales, su instalación es rentable debido al incremento de las ganancias económicas que generan. Esto se analizará con profundidad en el apartado de conclusiones.

# CAPÍTULO 7.

# CONCLUSIONES



## CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

### 7.1 COEFICIENTE DE ALBEDO

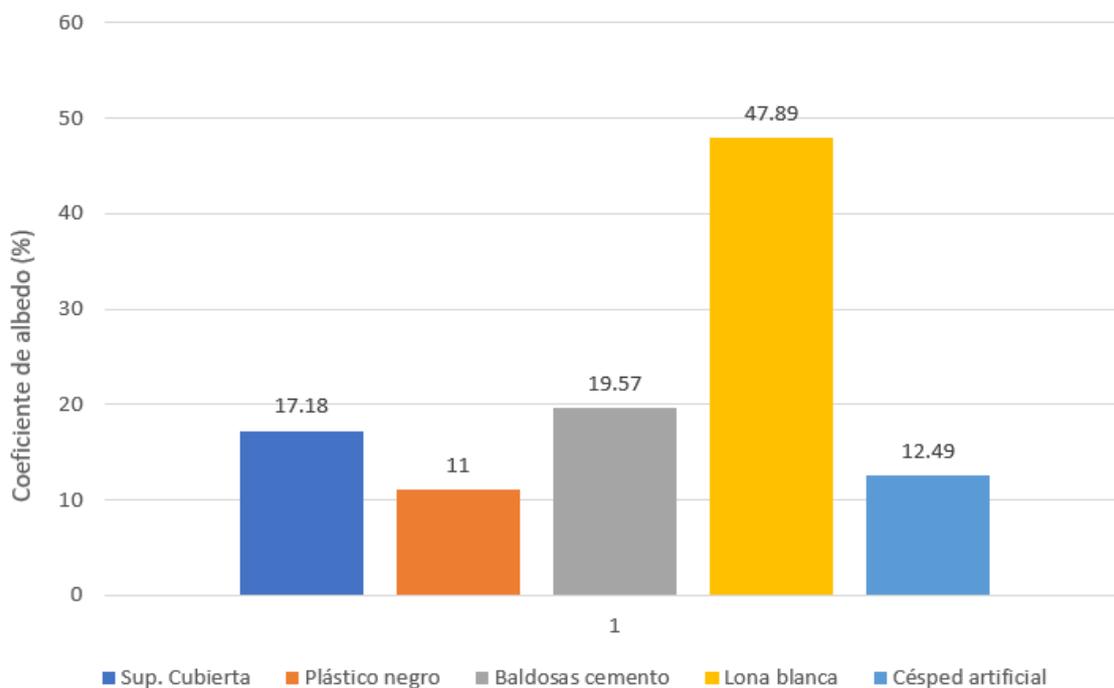
Tras realizar la parte experimental para hallar el coeficiente de albedo de las diferentes superficies que se han estudiado, se puede concluir, que tal y como cabía esperar, la superficie que **mayor coeficiente** posee es la **lona de plástico blanco**, con un valor porcentual promedio del 47.89 %, habiendo llegado a alcanzar un pico del 51.24 %.

Por el contrario, la superficie que **menor coeficiente** de albedo tiene y que nuevamente ha sido la que se esperaba que fuese, ha sido el **plástico negro**, con un valor promedio del 11 % y un máximo del 11.81 %.

A éstas le han seguido el césped artificial con un promedio del 12.49% y un máximo de 14.96% y la superficie del propio suelo de la cubierta con una media de 17.18% y un pico de 21.99%.

En el medio de las mencionadas está la superficie construida a base de baldosas imitación cemento, con un valor medio del 19.57 % y un máximo de 25.86%.

En el siguiente gráfico de barras aparecen reflejadas las diferentes superficies que se han estudiado con sus correspondientes coeficientes de albedo



Gráfica 7.2.1 1- Superficies estudiadas y sus correspondientes coeficientes de albedo  
(Elaboración Propia)

---

## CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

---

### 7.2 RADIACIÓN

La radiación ha sido medida por tratarse de la magnitud básica y esencial para la realización de todo el experimento, pues de ella dependen el resto de las magnitudes de estudio. Según el nivel de radiación reflejada por las superficies será el coeficiente de albedo. En base a ella los paneles fotovoltaicos generarán mayor o menor cantidad de energía y, de igual modo, la temperatura de sus caras, respectivamente, serán mayores o menores que, a su vez, influirá en la producción energética, pues como ya se ha comentado en el marco teórico, la temperatura es inversamente proporcional a ella: a mayor temperatura menor rendimiento del panel.

Echando un vistazo a la gráfica 6.3.1, en la que se ha representado el ratio bifacial para cada una de las superficies, se puede ver el mayor porcentaje de radiación recibida por la cara delantera frente a la trasera tiene lugar con la superficie de lona blanca (23.17%), seguida de la del propio suelo de la cubierta (16.76%). En último lugar se encuentra la superficie de plástico negro (9.29%), seguida muy de cerca por el césped artificial (9.24%).

Por todo ello, el panel bifacial saca ventaja al monofacial cuando mayor nivel de radiación hay en las horas centrales del día. Si el periodo de medición consta de pocas horas y hay presencia de nubes, o que este tenga lugar a primeras o últimas horas del día, la diferencia entre ambos paneles es pequeña. Es decir, si se mide durante pocas horas, pero con mucho sol, la diferencia será grande.

---

## CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

---

### 7.3 PRODUCCIÓN ENERGÉTICA

Para sacar conclusiones de la parte de producción energética de los paneles para cada una de las superficies de estudio, se va a emplear el gráfico 6.3.2 en el que se han representado las ganancias bifaciales de los paneles para cada una de ellas, es decir, el incremento de energía producida debido a la aportación de la cara trasera respecto a la delantera.

En base a esto, la superficie con la que mayor ganancia se ha tenido ha sido la del propio suelo de la cubierta (40.7 %). En este aspecto se esperaba que la que mayor resultado proporcionase fuese la de lona blanca (18.27 %). Esto puede ser debido a que cuando se realizaron las medidas para el suelo de la cubierta hubiese más cantidad de pasto y más amarillo, pues conforme iba pasando el tiempo, la cantidad que había de éste se iba reduciendo notablemente, pasando a estar al descubierto la tierra del suelo, que era de tonos oscuros. También pudo influir la meteorología, pues coincidió que en el periodo de medición los días fueron muy soleados.

A éstas le siguieron la superficie de baldosas de cemento, con un 9.75 % de ganancia. Y, en penúltimo y último lugar, nuevamente en contra de lo que cabría esperar, están la superficie de plástico negro (6.73 %) y la de césped artificial (4.64 %). Este resultado se achaca de nuevo a las condiciones meteorológicas en las que se tomaron las medidas de producción energética, pues la parte del coeficiente de albedo sí que arrojó los resultados esperados, es decir, que el plástico de color negro fuese el que menor cantidad de radiación reflejase en función de la que le llegaba. Por todo ello, queda totalmente demostrado que el panel bifacial tiene una ganancia de producción energética frente al panel monofacial, y ésta es más notable cuanto más clara sea la superficie (mayor coeficiente de albedo) en la que se monte la instalación fotovoltaica.

### 7.4 TEMPERATURA

Los valores de temperatura medidos son directamente proporcionales a la radiación que hubiese en el periodo en el que se realizaron las medidas, es decir, a mayor radiación mayor temperatura, por lo que la temperatura no va a depender del material de la superficie de estudio.

---

## CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

---

Lo que sí va a depender del tipo de superficie analizada, más concretamente de su coeficiente albedo, es el promedio incremento de temperatura entre la cara trasera del panel bifacial y la del monofacial. En base a esto, el mayor incremento ha tenido lugar con superficie de baldosas imitación cemento, siendo generalmente un 1.19 % superior la temperatura de la cara trasera del bifacial que la frontal del monofacial.

Por el contrario, el menor incremento se ha dado con el propio suelo de la cubierta, que ha generado una diferencia del -3.29%, es decir, estaba más fría la cara trasera del panel bifacial que la delantera y única del monofacial.

### 7.5 ANÁLISIS ECONÓMICO

Finalmente, para saber si económicamente resulta favorable montar paneles fotovoltaicos bifaciales frente a monofaciales, en el apartado 6.4 se ha realizado un estudio económico de los precios de los paneles fotovoltaicos y el precio medio de la energía en el año 2022.

En base a dicho estudio, según los tipos de superficie, con la que menor beneficio económico se obtiene por instalar paneles fotovoltaicos bifaciales en lugar de monofaciales, ha sido con la superficie de césped artificial, con un beneficio extra de 147.92 €, mientras que el mayor de los beneficios se alcanza con la superficie de lona blanca, con un valor de 6131.44 €. Si se comparan estos valores con los 17.50 € que cuesta de más el bifacial que el monofacial, podemos concluir que es más rentable montar paneles fotovoltaicos bifaciales frente a monofaciales.

Hay que tener en cuenta que el análisis económico se ha realizado con los datos de producción energética que se establecieron al principio del experimento. Para que los resultados obtenidos fuesen más veraces, dicho estudio debería realizarse con la producción energética de todo un año, ya que en invierno el incremento de producción será menor debido al número de horas de sol diarias y al resto de condiciones climatológicas propias de esa estación, pero evidentemente es imposible debido al tiempo del que se dispone para hacer un trabajo de fin de grado.

# LÍNEAS A FUTURO



---

## LÍNEAS A FUTURO

---

### LÍNEAS A FUTURO

Una vez finalizado este Trabajo Final de Grado, se establecen una serie de líneas a futuro, que están enfocadas a perfeccionar y evolucionar el montaje realizado.

Una de estas líneas está enfocada a **automatizar el sistema**, de forma que tome las medidas por sí sólo, sin necesidad de tener que acceder diariamente a él de forma remota para programar el equipo de adquisición de datos para que empiece a medir a la hora deseada del día siguiente, o que directamente mida de forma continua, evitando tener que preocuparse por la capacidad de la memoria de almacenamiento. Otro de los inconvenientes del actual sistema es que hay que acceder a él una vez finalizado el periodo de medición para recoger los datos recogidos durante dicho periodo.

Otra capacidad para añadir y que dotaría a la instalación de una comodidad extra, sería contar con **acceso remoto** a ella desde cualquier lugar para verificar su correcto funcionamiento a través de una App para teléfonos móviles, sin necesidad de tener que disponer de un ordenador.

Para conseguirlo, lo más adecuado sería **renovar** el aparato de adquisición de datos HP Benchlink 34970A, ya que se trata de una unidad muy antigua que permite un nivel de automatización muy limitado. Con un equipo actual, apoyado en un software basado en LabView (por la versatilidad que ofrece en cuanto a programación se refiere) y el diseño de la mencionada App para teléfonos móviles, todo lo descrito anteriormente se haría efectivo.

En cuanto a seguridad y protección, sería conveniente **poner a tierra** la estructura soporte de los paneles fotovoltaicos y la tarjeta multiplexora del aparato de adquisición de datos, al igual que se hizo con el armario metálico en el que está centralizada la instalación, a través de la base de tomas schuko que se instaló su interior (apreciable en la parte izquierda de la Figura 5.8) para dar alimentación a los equipos que así lo requerían, y que además sirve para evacuar la energía generada por las placas fotovoltaicas. De este modo se evitaría que cualquiera de los componentes pueda sufrir daños en caso de que se produzca una sobretensión.

En vista a dar más solvencia a los coeficientes de albedo calculados, una opción sería **ampliar el área de los materiales empleados** para las medidas tomadas de las distintas superficies (plástico negro, lona blanca, etc.). Se estima que estas áreas debieran tener un tamaño 4 veces mayor que las utilizadas.

Como se comentaba al final del apartado 7, para que las conclusiones obtenidas fuesen más veraces, el periodo de medición debiera ser de un año para cada una de

---

## LÍNEAS A FUTURO

---

las superficies obtenidas, de cara a hacer el estudio económico, ya que éste se ha realizado para los 25 años de vida útil media de los paneles fotovoltaicos que hay en el mercado actual. Con este TFG se ha puesto en marcha la instalación y se han marcado las directrices principales a seguir, por lo que se podría tener en cuenta la posibilidad de realizar otro TFG en el que los periodos de mediciones sean más largos y con los equipos de medida, principalmente el data logger, ya renovados.

# BIBLIOGRAFÍA



---

## BIBLIOGRAFÍA

---

### BIBLIOGRAFÍA

1.4.2.- *Ángulos de posicionamiento solar y orientación fotovoltaica.* | ISF02.- *Principios*

*básicos de la Energía Solar Fotovoltaica.* (s. f.). Recuperado 17 de febrero de 2023,

de

[https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/IEA/ISF/ISF02/es\\_IEA\\_ISF02\\_Contenidos/website\\_142\\_ngulos\\_de\\_posicionamiento\\_solar\\_y\\_orientacin\\_fotovoltaica.html](https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/IEA/ISF/ISF02/es_IEA_ISF02_Contenidos/website_142_ngulos_de_posicionamiento_solar_y_orientacin_fotovoltaica.html)

Alfaro, A. (2022, diciembre 29). La perovskita, ¿Qué es? *Univergy Solar*.

<https://univergysolar.com/la-perovskita-que-es/>

*Almacenamiento energético* | *Red Eléctrica*. (s. f.). Recuperado 19 de febrero de 2023, de

<https://www.ree.es/es/red21/almacenamiento-energetico>

André, T. (2019, agosto 1). Who we are—REN21 Renewable energy for the 21st Century.

*REN21*. <https://www.ren21.net/about-us/who-we-are/>

*Auge de la energía fotovoltaica, ¿Clave para la transición energética?* (s. f.). Recuperado 18

de febrero de 2023, de [https://www.miwenergia.com/auge-de-la-energia-](https://www.miwenergia.com/auge-de-la-energia-fotovoltaica-clave-para-la-transicion-energetica/)

[fotovoltaica-clave-para-la-transicion-energetica/](https://www.miwenergia.com/auge-de-la-energia-fotovoltaica-clave-para-la-transicion-energetica/)

*Ayudas al autoconsumo con fuentes de energía renovables.* (s. f.). Next Generation EU.

Recuperado 16 de febrero de 2023, de [https://nexteugeneration.com/ayudas-al-](https://nexteugeneration.com/ayudas-al-autoconsumo-con-fuentes-de-energia-renovables/)

[autoconsumo-con-fuentes-de-energia-renovables/](https://nexteugeneration.com/ayudas-al-autoconsumo-con-fuentes-de-energia-renovables/)

*Cenit* | *Sociedad española de astronomía*. (s. f.). Recuperado 17 de febrero de 2023, de

<https://www.sea-astronomia.es/glosario/cenit-o-cenit>

*CMP3 second class pyranometer—Kipp & Zonen.* (s. f.). Recuperado 17 de febrero de

2023, de [https://www.kippzonen.es/Product/213/CMP3-Piranometro#.Y-](https://www.kippzonen.es/Product/213/CMP3-Piranometro#.Y-_hh3bMIdV)

[\\_hh3bMIdV](https://www.kippzonen.es/Product/213/CMP3-Piranometro#.Y-_hh3bMIdV)

---

# BIBLIOGRAFÍA

---

CORPORATIVA, I. (s. f.). *Paneles bifaciales: ¿Qué los hace diferentes?* Iberdrola. Recuperado 17 de febrero de 2023, de <https://www.iberdrola.com/innovacion/paneles-solares-bifaciales>

Eduardo Lorenzo Pigueiras. (2006). *ELECTRICIDAD SOLAR FOTOVOLTAICA. RADIACION SOLAR Y DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS (VOL. II): Vol. II* (Primera). Promotora General de Estudios, S.A.  
[https://almena.uva.es/permalink/34BUC\\_UVA/12tq2h1/alma991006495899705774](https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991006495899705774)

*El autoconsumo se duplica en España en 2021 con 1.151 MW, según APPA.* (2022, enero 25). pv magazine España. <https://www.pv-magazine.es/2022/01/25/el-autoconsumo-se-duplica-en-espana-en-2021-con-1-151-mw-segun-appa/>

Fariza, I. (2023, enero 19). *España aspira a copar más de la quinta parte de la producción europea de hidrógeno verde en 2030.* El País. <https://elpais.com/economia/2023-01-19/espana-aspira-a-copar-mas-de-la-quinta-parte-de-la-produccion-europea-de-hidrogeno-verde-en-2030.html>

Fernández, P. P.-B. (2022, abril 21). *¿Cuál es el futuro de la Energía Solar Fotovoltaica?* POWEN. <https://powen.es/futuro-energia-solar-fotovoltaica/>

Gestor. (2022, octubre 24). La importancia de la orientación de los paneles solares: Seguidores solares. *Greening-e*. <https://greening-e.com/seguidores-solares/>

*HelioSol.* (s. f.). Heliatek GmbH. Recuperado 21 de febrero de 2023, de <https://www.heliatek.com/de/produkte/heliosol/>

HelioEsfera. (2021a, abril 29). *Comportamiento del panel de célula partida.* HelioEsfera. <https://www.helioesfera.com/panel-de-celula-partida/>

HelioEsfera. (2021b, julio 7). *Tecnología PERC en módulos fotovoltaicos.* HelioEsfera. <https://www.helioesfera.com/tecnologia-perc-en-modulos-fotovoltaicos/>

Hidrógeno verde, ¿qué es y por qué es importante? (2022, noviembre 14). *Velatia*. <https://www.velatia.com/es/blog/que-es-el-hidrogeno-verde/>

---

# BIBLIOGRAFÍA

---

IEA – *International Energy Agency*. (s. f.). IEA. Recuperado 20 de febrero de 2023, de

<https://www.iea.org>

Javier Martín Jiménez. (2008). *SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS: FUNDAMENTOS, TECNOLOGIAS Y APLICACIONES: Vol. II* (Antonio Madrid Vicente). AMV ediciones.

José A. Roca. (2023, enero 17). Risen Energy inicia la producción en masa de su módulo solar de heterounión de 700W. *El Periódico de la Energía*.

<https://elperiodicodelaenergia.com/risen-energy-inicia-la-produccion-en-masa-de-su-modulo-solar-de-heterounion-de-700w/>

José M. Fernández Salgado. (2007). *GUÍA COMPLETA DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA* (ANTONIO MADRID VICENTE). AMV ediciones.

[https://almena.uva.es/permalink/34BUC\\_UVA/12tq2h1/alma991006144549705774](https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991006144549705774)

*Krannich Solar España: Tecnología de paneles fotovoltaicos bifaciales*. (2020, septiembre 7). <https://krannich-solar.com/es-es/blog/tecnologia-de-paneles-fotovoltaicos-bifaciales-caracteristicas-principales-como-sacar-un-mayor-rendimiento-y-aspectos-tecnicos-a-tener-en-cuenta-a-la-hora-de-elegir-el-inversor-adecuado/>

*La tecnología para paneles bifaciales*. (2021, marzo 23). Techno Sun, SLU.

<https://b2b.technosun.com/blog/area-fotovoltaica-profesional-1/post/tecnologia-para-paneles-bifaciales-66>

*Longitud y Latitud. Museo Virtual de la Ciencia del CSIC*. (s. f.). Recuperado 16 de febrero de 2023, de <https://museovirtual.csic.es/salas/universo/astro3.htm>

*Masa de aire | PVEducation*. (s. f.). Recuperado 16 de febrero de 2023, de

<https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/masa-de-aire>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). *Hoja de Ruta del Autoconsumo* (Hoja de ruta N.º 665-21-076-0; p. 104). MITECO.

---

# BIBLIOGRAFÍA

---

- [https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/hoja-ruta-autoconsumo/hojaderutaautoconsumo\\_tcm30-534411.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/hoja-ruta-autoconsumo/hojaderutaautoconsumo_tcm30-534411.pdf)
- Murias, D. (2022, diciembre 13). *El siguiente paso en las renovables son los vinilos solares para convertir cualquier edificio o estructura en inmensos paneles solares.*
- Motorpasión. <https://www.motorpasion.com/futuro-movimiento/siguiente-paso-renovables-vinilos-solares-para-convertir-cualquier-edificio-estructura-inmensos-paneles-solares>
- Naciones Unidas. (s. f.). *El Acuerdo de París | Naciones Unidas.* United Nations; United Nations. Recuperado 20 de febrero de 2023, de <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>
- Organización Meteorológica Mundial. (2014). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos.* 1302. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=3664](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3664)
- Pedro Francisco Garcia Martin. (2022). *Energía solar fotovoltaica para todos 2ed* (Segunda). Marcombo. [https://almena.uva.es/permalink/34BUC\\_UVA/12tq2h1/alma991008206851905774](https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008206851905774)
- Piranómetro | Guías Prácticas.* (2014, febrero 28). <https://www.guiaspracticas.com/estaciones-meteorologicas/piranometro>
- Piranómetro de Silicio. (s. f.). *Darrera.* Recuperado 22 de febrero de 2023, de <https://www.darrera.com/wp/es/producto/lpsilicon-pyra04-piranometro-silicio/>
- PLACAS SOLARES BIFACIALES*». (2019, agosto 1). Tu blog de Autoconsumo fotovoltaico y energía renovable. <https://www.cambioenergetico.com/blog/placas-solares-bifaciales/>
- Publicaciones | OMIE. (s. f.). Recuperado 11 de julio de 2023, de <https://www.omie.es/es/publicaciones/informe-anual?year=2022>

---

# BIBLIOGRAFÍA

---

- ¿Qué es el autoconsumo?* | *Idae*. (s. f.). Recuperado 16 de febrero de 2023, de <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/oficina-de-autoconsumo/que-es-el-autoconsumo>
- ¿Qué es un termopar? Guía completa sobre sondas termopar*. (s. f.). Recuperado 17 de febrero de 2023, de <https://es.omega.com/prodinfo/termopares.html>
- RAE. (2022, noviembre 6). *Acimut* | *Diccionario panhispánico de dudas*. «Diccionario panhispánico de dudas». <https://www.rae.es/dpd/acimut>
- REData—Estructura generación* | *Red Eléctrica*. (s. f.). Recuperado 18 de febrero de 2023, de <https://www.ree.es/es/datos/generacion/estructura-generacion>
- REData—Potencia instalada* | *Red Eléctrica*. (s. f.). Recuperado 18 de febrero de 2023, de <https://www.ree.es/es/datos/generacion/potencia-instalada>
- Renewables 2022 Global Status Report*. (2022). REN 21. [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf)
- revistapq.com*. (s. f.). *Estado actual del autoconsumo fotovoltaico en España*. Revista PQ | Publicación decana del sector industrial. Recuperado 18 de febrero de 2023, de <https://www.revistapq.com/texto-diario/mostrar/3779343/estado-actual-autoconsumo-fotovoltaico-espana>
- Semiconductores—Qué son, tipos, aplicaciones y ejemplos. (s. f.). *Concepto*. Recuperado 16 de febrero de 2023, de <https://concepto.de/semiconductores/>
- Solar Fotovoltaica* | *Idae*. (s. f.). Recuperado 7 de febrero de 2023, de <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-electrico/solar-fotovoltaica>
- Technical Application Papers No.10—Photovoltaic plants*. (s. f.). Recuperado 17 de febrero de 2023, de <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1SDC007109G0202&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

---

# BIBLIOGRAFÍA

---

Technology. (s. f.). *Saule Technologies*. Recuperado 22 de febrero de 2023, de

<https://sauletech.com/technology/>

UNEF. (s. f.-a). *Energía solar. Apuesta para la recuperación económica*. UNEF. Recuperado

18 de febrero de 2023, de <https://www.unef.es/es/recursos-informes>

UNEF. (s. f.-b). *Impulso al I+D+I*. UNEF. Recuperado 18 de febrero de 2023, de

<https://www.unef.es/es/impulso-idi>

UNEF. (s. f.-c). *Marco regulatorio*. UNEF. Recuperado 18 de febrero de 2023, de

<https://www.unef.es/es/marco-regulatorio>

Vector energético. (s. f.). *Felipe Benjumea Llorente*. Recuperado 21 de febrero de 2023, de

<https://felipebenjumeallorete.com/glosario/vector-energetico/>

Zorita Lamadrid, Ángel Luis (curso 2022/2023). Los sistemas de energía eléctrica.

Centrales eléctricas. 4º curso grado en Ingeniería Eléctrica. Universidad de

Valladolid.

# GLOSARIO DE TÉRMINOS



### GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Acimut:** ángulo que con el meridiano forma el círculo vertical que pasa por un punto de la esfera celeste o del globo terráqueo.

(RAE, 2022)

- **Acuerdos de París:** es un tratado internacional legalmente vinculante. Entró en vigor el 4 de noviembre de 2016. En la actualidad, 194 partes (193 países más la Unión Europea) han firmado el Acuerdo de París.

El Acuerdo incluye compromisos de todos los países para reducir sus emisiones y colaborar juntos a fin de adaptarse a los impactos del cambio climático, así como llamamientos a estos países para que aumenten sus compromisos con el tiempo. El Acuerdo proporciona a los países desarrollados una ruta para que ayuden a las naciones en desarrollo a mitigar y adaptarse al cambio climático, creando un marco para un control y una información transparentes sobre los objetivos climáticos de estos países.

El Acuerdo de París proporciona un marco duradero con afán de dirigir el esfuerzo global durante las próximas décadas. Señala el comienzo de un cambio hacia un mundo con emisiones cero. La puesta en práctica del Acuerdo también es esencial para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ya que ofrece una hoja de ruta para las medidas climáticas que reducirán las emisiones y aumentarán la resiliencia al clima.

(Naciones Unidas, s. f.)

- **Autoconsumo eléctrico:** es el proceso que permite a cualquier persona o empresa producir electricidad renovable para su propio consumo, instalando en su vivienda o local paneles solares fotovoltaicos u otros sistemas de generación renovable.

Parte del consumo eléctrico se cubre con la energía generada por dicha instalación, lo que supone un ahorro directo en la factura eléctrica, y un menor consumo de energía proveniente de combustibles fósiles, contribuyendo así a reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera.

(¿Qué es el autoconsumo? | Idae, s. f.)

---

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

---

- **Cenit:** es el punto que ese encuentra justo por encima de nuestras cabezas. Para un observador es el punto más alto de la esfera celeste, con una altura de 90°.

(cenit | Sociedad española de astronomía, s. f.)

- **Horas equivalentes:** hacen referencia al periodo de tiempo en el que la radiación solar toma un valor igual a 1 kW/m<sup>2</sup>. Con este nº de horas se puede calcular aproximadamente la producción energética de una planta, multiplicando las horas equivalentes por los kWp de la misma.

(Horas solares, s. f.)

- **Latitud:** posición de los paralelos respecto del ecuador, medida en grados, sobre el correspondiente meridiano. Para ello, la porción de meridiano entre el ecuador y cada uno de los polos se divide en 90°. Al ecuador se le asigna una latitud de 0° y a los demás paralelos una latitud, expresada en grados (Norte o Sur).

(Longitud y Latitud. Museo Virtual de la Ciencia del CSIC, s. f.)

- **Fondos Next Generation:** Next Generation EU son fondos europeos que suponen una inyección para España de 140.000 millones de euros para pymes y empresas. El Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, traza la hoja de ruta para la modernización de la economía española, la recuperación del crecimiento económico y la creación de empleo, para la reconstrucción económica sólida, inclusiva y resiliente tras la crisis de la COVID, y para responder a los retos de la próxima década.

En el ámbito que nos ocupa, estos fondos incluyen Programas de incentivos para la ejecución de instalaciones ligadas al autoconsumo y al almacenamiento, con fuentes de energías renovables, así como a la implantación de sistemas térmicos renovables en el sector residencial, en el marco del Plan de Recuperación.

(Ayudas al autoconsumo con fuentes de energía renovables, s. f.)

---

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

---

- **Masa de aire:** longitud del camino tomado por la luz a través de la atmósfera normalizado a la ruta más corta posible (es decir, cuando el sol está directamente vertical). La masa de aire cuantifica la reducción en la potencia de la luz a medida que pasa a través de la atmósfera y es absorbido por el aire y el polvo.

(Masa de aire | PVEducation, s. f.)

- **Material semiconductor:** material capaz de actuar como conductor o como aislante eléctrico dependiendo de las condiciones físicas de presión y temperatura en que se encuentren. También influyen la incidencia de radiaciones o las intensidades del campo eléctrico o campo magnético a las que se encuentre sometido dicho material.

(«Semiconductores - Qué son, tipos, aplicaciones y ejemplos», s. f.)

- **Perovskita:** (óxido de titanio y de calcio,  $\text{CaTiO}_3$ ) es un mineral relativamente raro en la corteza terrestre. Su interés radica en la producción de paneles solares como material revolucionario debido a sus características. Su principal inconveniente es su escasa vida útil.

(Alfaro, 2022)

- **Radiaciones electromagnéticas:** son aquellos procesos en los que se emite energía en forma de ondas o partículas materiales y pueden propagarse tanto a través de un medio material como en el vacío. Se diferencian unas de otras en el valor de su frecuencia. Cuanto mayor es la frecuencia de una radiación, mayor es su energía.

(Eduardo Lorenzo Pigueiras, 2006)

- **REN21:** es la única comunidad global de energía renovable que agrupa miembros la ciencia, los gobiernos, las ONG y la industria. Proporcionan datos, cifras y análisis actualizados y revisados sobre desarrollos globales en tecnología, políticas y mercados. Su objetivo es permitir que los responsables de la toma de decisiones hagan realidad el cambio a las energías renovables.

(André, 2019)

---

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

---

- **Termopar:** sensor que sirve para medir la temperatura. Está compuesto por dos metales diferentes que se unen por un extremo. Cuando esa unión se calienta o se enfría, origina una tensión cuyo valor es proporcional a la temperatura.

(¿Qué es un termopar? Guía completa sobre sondas termopar, s. f.)

- **Vector energético:** sustancias o dispositivos capaces de almacenar energía de tal manera que esta pueda ser liberada en otro lugar o momento posterior de forma controlada. Su principal diferencia con respecto a las fuentes de energía primarias es que se trata de elementos en los que previamente se ha invertido para su elaboración una cantidad de energía mayor.

(«Vector energético», s. f.)

# ANEXOS



### ANEXO 1. NORMATIVA QUE REGULA LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA

- Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica
- Real Decreto-ley 17/2019, de 22 de noviembre, por el que se adoptan medidas urgentes para la necesaria adaptación de parámetros retributivos que afectan al sistema eléctrico y por el que se da respuesta al proceso de cese de actividad de centrales térmicas de generación.
- Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico
- Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética
- Ley 3/2013, de 4 de junio, de creación de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico
- Real Decreto-ley 9/2013, de 12 de julio, por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico
- Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores
- Real Decreto-ley 1/2019, de 11 de enero, de medidas urgentes para adecuar las competencias de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia a las exigencias derivadas del derecho comunitario en relación a las Directivas 2009/72/CE y 2009/73/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de julio de 2009, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y del gas natural
- Real Decreto 2019/1997, de 26 de diciembre, por el que se organiza y regula el mercado de producción de energía eléctrica
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica
- Real Decreto 1164/2001, de 26 de octubre, por el que se establecen tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica
- Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico
- Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia
- Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos

---

## ANEXOS

---

- Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica
- Orden ETU/130/2017, de 17 de febrero, por la que se actualizan los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos, a efectos de su aplicación al semiperiodo regulatorio que tiene su inicio el 1 de enero de 2017
- Orden ETU/315/2017, de 6 de abril, por la que se regula el procedimiento de asignación del régimen retributivo específico en la convocatoria para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, convocada al amparo del Real Decreto 359/2017, de 31 de marzo, y se aprueban sus parámetros retributivos
- Orden TEC/1366/2018, de 20 de diciembre, por la que se establecen los peajes de acceso de energía eléctrica para 2019
- Orden TEC/406/2019, de 5 de abril, por la que se establecen orientaciones de política energética a la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia
- Orden TEC/1258/2019, de 20 de diciembre, por la que se establecen diversos costes regulados del sistema eléctrico para el ejercicio 2020 y se prorrogan los peajes de acceso de energía eléctrica a partir del 1 de enero de 2020
- Orden TED/171/2020, de 24 de febrero, por la que se actualizan los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos, a efectos de su aplicación al periodo regulatorio que tiene su inicio el 1 de enero de 2020.
- Circular 1/2018, de 18 de abril, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, por la que se regula la gestión del sistema de garantía de origen de la electricidad procedente de fuentes de energía renovables y de cogeneración de alta eficiencia
- Circular 3/2020, de 15 de enero, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, por la que se establece la metodología para el cálculo de los peajes de transporte y distribución de electricidad

(UNEF, s. f.-c)

### ANEXO 2. GUÍA Y MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN

#### Instalación y mantenimiento de los piranómetros

El emplazamiento elegido para colocar un piranómetro debería estar libre de obstáculos por encima del plano del sensor y, al mismo tiempo, ser fácilmente accesible. Si no es posible reunir esas condiciones, el emplazamiento debería estar lo más libre posible de obstáculos que pudieran arrojar sombra en algún momento del año. El piranómetro no debería estar situado cerca de paredes de color claro o de otros objetos que pudieran reflejar sobre él la energía solar; tampoco se debería exponer a fuentes de radiación artificial.

En la mayoría de los lugares, una azotea plana constituye un buen lugar para instalar el soporte del radiómetro. Si ello no fuera posible, se debería utilizar un soporte instalado a cierta distancia de los edificios o de otros obstáculos. Cuando resulte posible, el emplazamiento debería estar libre de obstáculos cuya elevación sobrepase los  $5^\circ$ , particularmente en la horquilla de valores acimutales del amanecer y del ocaso a lo largo del año. Los demás obstáculos no deberían reducir el ángulo solar total en más de 0,5 sr. En los casos en que ello no sea posible, deberían incluirse en la descripción de la estación datos pormenorizados sobre el horizonte y el ángulo sólido subtendido.

Antes de empezar a instalar un piranómetro debería efectuarse un reconocimiento del lugar cada vez que se modifique la ubicación de aquel o se produzca algún cambio apreciable en relación con los obstáculos de los alrededores. Un excelente método para efectuar este estudio consiste en utilizar una cámara topográfica que expone sobre el negativo un entramado de líneas del acimut y la elevación. Debería tomarse una serie de instantáneas para representar en su totalidad la distribución angular ( $360^\circ$ ), tanto de altura como de acimut, de los obstáculos que sobrepasen el plano de la superficie receptora alrededor del piranómetro. Si no se dispone de una cámara de este tipo, se pueden representar en un mapa los objetos que arrojan sombra, utilizando un teodolito o una combinación de brújula y clinómetro.

En la descripción de la estación debería figurar la altitud del piranómetro sobre el nivel del mar (es decir, la altitud de la estación más la altura del piranómetro sobre el suelo), así como su longitud y latitud geográficas. Es también muy útil disponer de un plano del lugar, dibujado a escala, en el que figure la posición del registrador, del piranómetro y de todos los cables de conexión.

La posibilidad de acceder a los instrumentos para inspeccionarlos con frecuencia es probablemente la consideración más importante a la hora de seleccionar un

emplazamiento. Se recomienda encarecidamente inspeccionar los piranómetros y los registradores como mínimo una vez al día y, preferiblemente, con mayor frecuencia.

### ***Instalación de piranómetros para medir la radiación global***

El piranómetro debería estar sujeto firmemente al soporte que se utilice, valiéndose para ello de los orificios practicados en las patas del trípode o en la placa de sustentación. Se deberían adoptar siempre las precauciones necesarias para evitar que el instrumento esté sometido a golpes o vibraciones mecánicas durante la instalación. Esta operación ha de efectuarse como se indica a continuación. En primer lugar, debería orientarse el piranómetro de manera que los cables que emergen o el conector estén situados al norte de la superficie receptora en el hemisferio norte (y al sur de la misma en el hemisferio austral). Con esto se reducirá al mínimo el calentamiento de las conexiones eléctricas por el Sol. Los instrumentos con termopilas Moll-Gorcynski deberían orientarse de modo que la línea de los termopares (el lado mayor de la termopila rectangular) apunte en dirección este-oeste. Según el tipo de instrumento, esta exigencia resulta a veces incompatible con la primera, pero debería ser prioritaria, ya que permitirá sombrear el conector en caso necesario. Si hay torres en las inmediaciones, el instrumento debería situarse en el lado de la torre que mira al ecuador, y lo más lejos posible de ella.

No debería permitirse que la radiación reflejada del suelo o de la base irradie el cuerpo del instrumento desde abajo. Puede utilizarse un dispositivo cilíndrico que proporcione sombra, pero hay que tener cuidado de no perturbar la ventilación natural, que deberá ser suficiente para mantener el cuerpo del instrumento a la temperatura ambiente.

A continuación, debería asegurarse ligeramente el piranómetro con tornillos o clavijas de sujeción, y nivelarlo con ayuda de los tornillos niveladores y del nivel de burbuja proporcionados con el instrumento. Después habría que apretar los tornillos de sujeción, procurando no alterar el montaje para que, conforme a las indicaciones del nivel de burbuja, la superficie receptora se mantenga en posición horizontal.

### ***Instalación de piranómetros para medir la radiación reflejada***

La altura sobre la superficie debería estar comprendida entre 1 y 2 m. En verano, el suelo debería estar cubierto de hierba segada regularmente. En regiones donde nieva durante el invierno, sería preciso disponer de un mecanismo que ajuste la altura del piranómetro con el fin de mantener una separación constante entre la nieve y el instrumento. Aunque la montura se encuentra en el campo visual del

---

## ANEXOS

---

instrumento, debería estar diseñada de modo que arroje un error inferior al 2% en la medición. Habría que proporcionar un acceso fácil al piranómetro a fin de nivelarlo sin necesidad de mover la superficie situada bajo él, especialmente si es de nieve.

### ***Mantenimiento de los piranómetros***

Los piranómetros de funcionamiento continuo deberían inspeccionarse como mínimo una vez al día, y posiblemente con mayor frecuencia, por ejemplo, cuando se efectúen observaciones meteorológicas. Durante esas inspecciones, debería limpiarse y secarse la cúpula de vidrio del instrumento (teniendo cuidado para no alterar las mediciones de rutina durante el período diurno). Si se aprecia la presencia de nieve helada, hielo liso, escarcha o cencellada blanca, se deberían eliminar con mucho cuidado del depósito (al menos con carácter temporal), utilizando también con moderación un fluido anticongelante, y secar luego el vidrio. Una comprobación diaria debería permitir asegurarse de que el instrumento esté nivelado, de que no se haya formado condensación en el interior de la cúpula, y de que las superficies del detector se mantengan negras.

En ciertas redes, la cúpula expuesta del piranómetro se ventila continuamente por medio de un ventilador para evitar o reducir al mínimo los depósitos en épocas de frío, y para minimizar la diferencia de temperatura entre la cúpula y la caja. La diferencia de temperatura entre el aire del ventilador y el aire ambiente no debería superar 1 K aproximadamente. Si sobre la cúpula se forma un depósito de arena o de suciedad debido a la contaminación local, la limpieza debería efectuarse con mucha suavidad, preferiblemente después de haber soplado la mayor parte del material menos adherido o tras humedecerlo un poco, para evitar que se raye la superficie, ya que esta acción abrasiva puede alterar apreciablemente las propiedades originales de transmisión del material. Los desecantes deberían estar cargados de material activo (por lo general, un gel de sílice que cambia de color) en todo momento.

*(Organización Meteorológica Mundial, 2014)*

# ANEXO 3.

## HOJAS DE CARACTERÍSTICAS



HOJA DE CARACTERÍSTICAS DEL PANEL FOTOVOLTAICO

EN

THE NEXT  
EVOLUTION  
LEAP

LG NeON<sup>2</sup> BiFacial

BIFACIAL MODULE  
TRANSPARENT  
BACKSHEET

25  
YEARS  
50 Years of Performance Excellence

LG Life's Good

LG NeON<sup>2</sup> BiFacial

HOJA DE CARACTERÍSTICAS DEL PANEL FOTOVOLTAICO

**LG NeON<sup>®</sup> 2 BiFacial**

**LG NeON<sup>®</sup> 2 BiFacial – UNLEASH THE POWER!**

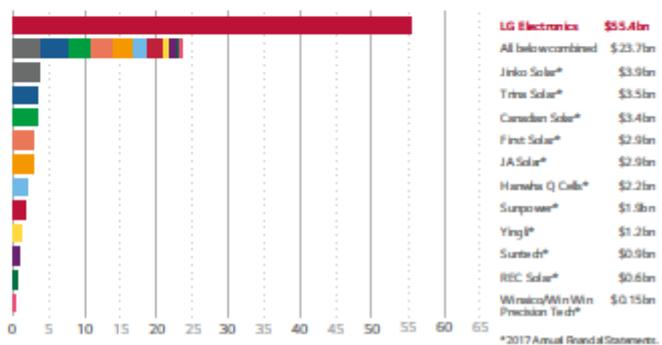
The LG NeON<sup>®</sup> 2 BiFacial is based on the well-known high-performance module LG NeON<sup>®</sup> 2. Already on the front side, the LG340N1T-V5 module reaches with its 60 highly efficient, mono-crystalline cells a basic power of 340 Watt peak (Wp). Through the use of bi-facial cells and a transparent back sheet, the power of the LG NeON<sup>®</sup> 2 solar modules with CELLO technology can now be fully exploited. Thanks to the additional yield from the back side of the module ("bifacial bonus") the overall performance of the LG NeON<sup>®</sup> 2 BiFacial module increases under optimal conditions.

**LOCAL GUARANTOR,  
GLOBAL SECURITY**

LG Solar is part of LG Electronics, a global and financially strong company, with over 50 years of experience.

Good to know: LG Electronics is the warrantor for your solar modules. LG Electronics has been present in Europe with many local subsidiaries for decades.

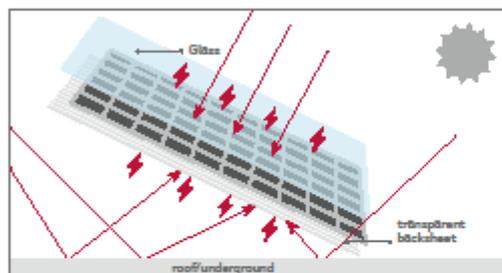
The Warrantor's 2017 Global Sales in Billions of US Dollars



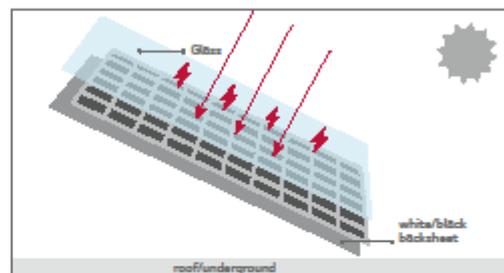
**LG NeON<sup>®</sup> 2 BiFacial – BONUS!**

Traditional, single-sided active cells and modules can absorb incident light only on the front side and convert it to electricity. The LG NeON<sup>®</sup> 2 BiFacial, however, has double-sided active cells and a translucent foil on the back. This enables to use both the light falling on the front side and on the back side, and increase energy yield under optimal conditions by up to 30 % compared to a monofacial module of equal nominal power.

**Bifacial module**



**Monofacial module**



**HIGHER YIELD WITH 25-YEARS OF LG PRODUCT AND PERFORMANCE GUARANTEE**

Extended Product Warranty

**25 yrs**

Linear Warranty: 25yrs\*

\* Under BF100 conditions, 1st year: 104.4%, after 1st year: 0.35% annual degradation, 95.4% for 25 years \*\* Based on SiTC, mkr power



HOJA DE CARACTERÍSTICAS DEL PANEL FOTOVOLTAICO

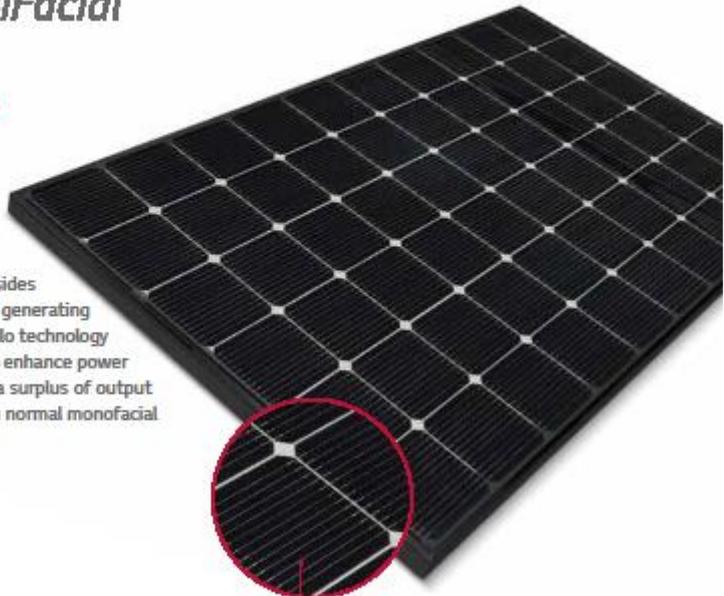
LG NeON<sup>2</sup> BiFacial

LG NeON<sup>2</sup> BiFacial

LG340N1T-V5 | LG335N1T-V5

60 cell

LG NeON<sup>2</sup> BiFacial is designed to utilize both sides of the PV module for absorbing more light and generating more energy. It also adopts the prizewinning Cello technology which replaces 4 busbars with 12 thin wires to enhance power output and reliability. It is possible to produce a surplus of output energy with LG NeON<sup>2</sup> BiFacial compared with normal monofacial modules.



- CELLO technology  
- transparent backsheet



KEY FEATURES



25-year product warranty

In addition to the extended performance warranty, LG has also extended the product warranty for LG NeON<sup>2</sup> BiFacial modules to a strong 25 years.



Bifacial Energy Yield

It is possible to produce 30 % more energy than with conventional modules under optimal conditions.



Better Performance on a Sunny Day

LG NeON<sup>2</sup> BiFacial now performs better than many other modules on sunny days thanks to its improved temperature coefficient.



More Power also on a Cloudy Day

LG NeON<sup>2</sup> BiFacial gives good performance even on a cloudy day due to its very good weak sunlight performance.



High Power Output

LG NeON<sup>2</sup> BiFacial has been designed using LG's new CELLO technology. The cell efficiency on the rear side is only slightly lower than on the front side.



Almost Zero LID (Light Induced Degradation)

The n-type cells used in LG NeON<sup>2</sup> BiFacial have almost no boron, which often causes the initial efficiency drop of conventional modules.

About LG Electronics

LG Electronics is a global big player, committed to expanding its operations with the solar market. The company first embarked on its solar energy source research program in 1985, supported by LG Group's vast experience in the semi-conductor, LCD, chemistry and materials industries. In 2010, LG Solar successfully released its first Mono<sup>2</sup> series to the market, which is now available in 32 countries. The LG NeON<sup>2</sup> (previous Mono<sup>2</sup> NeON), NeON<sup>2</sup>, NeON<sup>2</sup> BiFacial won the "Innovator AWARD" in 2013, 2015 and 2016, which demonstrates LG Solar's leadership, innovation and commitment to the industry.



HOJA DE CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA PARA LA INSTALACIÓN DE LOS PANELES

**Despliegue del triángulo preensamblado y anclaje al suelo**

Triángulo plegado

Se deben atornillar los dos puntos de anclaje.

Tomillería de anclaje no incluida

Distancia de anclaje en hoja 2/2

Apriete de las uniones y anclaje al suelo mediante tornillo de hasta M10.

Montaje del perfil guía sobre el triángulo

1. Insertar la fijación de perfil en interior de la guía
2. Levantar la fijación de perfil y colocar el perfil guía.
3. Insertar el perfil en la fijación por la guía lateral.
4. Soltar la fijación de perfil
5. Apriete la tuerca y repite en el otro lado del perfil (son necesarias 2 fijaciones por perfil, 1 por cada lado)

**11V**

**SUNFER**

Soporte inclinado cerrado para cubierta metálica. Vertical.

Fijar arbotantes

2

\*Consultar hoja 2/2

Figura Métrica 4.3 (2 por arbotamiento)

Ubicar los módulos sobre los perfiles

Distribuir los módulos para que su colocación sea simétrica a lo largo del soporte, dejando la misma distancia de sobranje en los extremos.

Dejar una separación entre módulos de 20 mm para poner el presor central que fijará los módulos al perfil.

Fijación de los módulos con los presores y colocación de las tapas G1

FIJACIÓN LATERAL

FIJACIÓN CENTRAL

Introducir los perfiles dentro del canal del elemento de unión UG1 a través de las ranuras laterales.

Una vez dentro, fijar la unión con los tornillos de bloqueo, siempre a la altura de la ranura lateral.

Métrica 4.2 / 4.8 (4 por unión)

1) Alinear presor con el perfil  
2) Bajar hasta hacer clic  
3) Roscar el tornillo.

Introducir tapas G1 (+4) en los 4 perfiles externos del kit

Tamaño máx. 2279x1150

UNIVERSAL

Marcado CE EST/MS204

1/2

**PLANO DE MONTAJE**

81 - 01 / 21

Nuestros productos pueden sufrir modificaciones sin previo aviso. Reservados todos los derechos. Los dibujos pueden ser sólo ejemplos y, por tanto, siempre que aparezca para el efecto el símbolo sustituido.



## HOJA DE CARACTERÍSTICAS DE LOS INVERSORES

### Microinversores Enphase

# Microinversores IQ 7, IQ 7+ e IQ 7X de Enphase

Los microinversores de alto rendimiento Enphase IQ 7™, Enphase IQ 7+™ y Enphase IQ 7X™ están preparados para la red eléctrica inteligente.

Como componente esencial del sistema Enphase IQ, el IQ 7, el IQ 7+ y el IQ 7X se integran perfectamente en el Envoy-S™ y el software de supervisión y análisis Enphase Enlighten™.

Los microinversores IQ 7, IQ 7+ e IQ 7X superan los estándares de fiabilidad y solidez establecidos por generaciones anteriores de microinversores y han sido sometidos a más de un millón de horas de pruebas de carga, lo que permite a Enphase ofrecer una garantía excepcional.



#### Fáciles de instalar

- Ligeros y sencillos
- Instalación más rápida gracias a un cableado de dos conductores mejorado y ligero

#### Rentables y fiables

- Optimizados para todos los módulos de alta potencia
- Acumulan más de un millón de horas de pruebas
- Cubierta con doble aislamiento de clase II

#### Preparados para la red eléctrica inteligente

- Cumplen con requisitos complejos de red en lo relativo a la gestión de la tensión y la frecuencia de desconexión
- Actualizaciones a distancia para responder a las fluctuaciones en las restricciones de la red
- Configurables para distintos perfiles de red



# ANEXOS

## HOJA DE CARACTERÍSTICAS DE LOS INVERSORES

### Microinversores IQ 7, IQ 7+ e IQ 7X de Enphase

INFORMACIÓN DE ENTRADA (CC)	IQ7-60-2-INT	IQ7PLUS-72-2-INT	IQ7X-96-2-INT
Potencia de módulo recomendada (CEM) <sup>1</sup>	235 W - 350 W + <sup>1</sup>	235 W - 440 W + <sup>1</sup>	320 W - 460 W + <sup>1</sup>
Compatibilidad de módulos, consultar herramienta en línea <sup>2</sup>	Únicamente 60 celdas	60 y 72 celdas	96 celdas
Tensión máx. de CC de entrada	48 V	60 V	79,5 V
Rango de tensión MPP	27 V - 37 V	27 V - 45 V	53 V - 64 V
Rango de tensión de funcionamiento	16 V - 48 V	16 V - 60 V	25 V - 79,5 V
Tensión mín./máx. de Inicio	22 V / 48 V	22 V / 60 V	33 V / 79,5 V
Tensión máx. de CC de cortocircuito	15 A	15 A	10 A
Puerto de CC de clase de sobretensión	II	II	II
Realimentación del puerto de CC con una sola avería	0 A	0 A	0 A
Configuración en red FV	Protección lateral de CA que requiere un máximo de 20 A por circuito de derivación.		
INFORMACIÓN DE SALIDA (CA)	IQ 7	IQ 7+	IQ 7X
Potencia máx. de salida	250 VA	295 VA	320 VA
Potencia nominal máx. de salida	240 VA	290 VA	315 VA
Tensión/Rango de tensión nominal (L-N) <sup>3</sup>	230 V / 184-276 V	230 V / 184-276 V	230 V / 184-276 V
Tensión máxima de salida	1,04 A	1,26 A	1,37 A
Frecuencia nominal	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Rango de frecuencia	45 - 55 Hz	45 - 55 Hz	45 - 55 Hz
Número máximo de unidades por ramificación de 20 A <sup>3</sup>	15 (Ph + N) 45 (3 Ph + N)	12 (Ph + N) 36 (3 Ph + N)	11 (Ph + N) 33 (3 Ph + N)
Número máximo de unidades por cable	15 (Ph + N), 24 (3 Ph + N)	12 (Ph + N), 21 (3 Ph + N)	11 (Ph + N), 21 (3 Ph + N)
Clase de protección frente a las sobretensiones	III	III	III
Tensión de realimentación del puerto de CA	0 A	0 A	0 A
Factor de potencia fijo	1,0	1,0	1,0
Factor de potencia (regulable)	0,7 inductivo a 0,7 capacitivo	0,7 inductivo a 0,7 capacitivo	0,7 inductivo a 0,7 capacitivo
RENDIMIENTO	A 230 V	A 230 V	A 230 V
Rendimiento EN 50530 (UE)	96,5 %	96,5 %	96,5 %
INFORMACIÓN MECÁNICA			
Rango de temperatura ambiente de funcionamiento	-40 °C a 65 °C	-40 °C a 65 °C	-40 °C a 60 °C
Rango admisible de humedad relativa del aire	4 % a 100 % (condensación)		
Tipo de conector de CC	MC4 o Amphenol H4 UTX (con adaptador Q-DCC-5)		
Dimensiones (L x W x D)	212 mm x 175 mm x 30,2 mm (sin soporte)		
Peso	1,08 kg		
Refrigeración	Convección natural, sin ventilador		
Uso en entornos húmedos	Sí		
Nivel de contaminación	3		
Cubierta	Carcasa de polímero resistente a la corrosión, con doble aislamiento de clase II.		
Índice de protección IP	Exterior- IP67		
CARACTERÍSTICAS			
Comunicación con el Envoy-S	PLC (comunicación por línea eléctrica)		
Supervisión	Opciones de supervisión Enlighten Manager y MyEnlighten compatibles con Envoy-S de Enphase		
Conformidad	AS 4777.2, RCM, IEC/EN 61000-6-3, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2		
Garantía	25 años		

1. Sin limitación de la relación CC/CA. Consultar la calculadora de compatibilidad en línea: [enphase.com/fr-fr/support-client/modules-compatibles](http://enphase.com/fr-fr/support-client/modules-compatibles).
2. El rango de tensión nominal puede ampliarse por encima de estos valores nominales para cumplir con las exigencias del operador de red.
3. En función del país de instalación, comprobar con la legislación local la tensión máxima admisible por interruptor 20 A.



