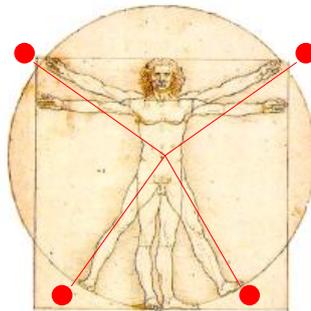


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

VOLUMEN XII. AÑO 2014

SEPARATA



RENDIMIENTO GLOBAL DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED ELÉCTRICA

**Luis Vilariño García, Javier Vilariño García, Cristina Arenas Rayo, Germán
Núñez Rodríguez e Higinio F. Menéndez Milanés**



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO
Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

"
"
"
"

© Del texto: Luis Vilariño García, Javier Vilariño García, Cristina Arenas Rayo, Germán Núñez Rodríguez e Higinio F. Menéndez Milanés. Julio, 2014. ""

"j wr <ly y 0wz0gult wdrkecekp ltgpf lo kpvq/i nqdcn f g/ukungo cu/hqvxqnclequ/eqpgevcf qu/c/n/tgf/grgetlec0 fh
"

© De la edición: Revista *Tecnología@* y desarrollo
Escuela Politécnica Superior.
Universidad Alfonso X el Sabio.
28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).
ISSN: 1696-8085
Editor: Javier Morales Pérez – tecnologia@uax.es

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

RENDIMIENTO GLOBAL DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED ELÉCTRICA

Luis Vilarino García(a), Javier Vilarino García(b), Cristina Arenas Rayo(c), Germán Núñez Rodríguez(d) e Higinio F. Menéndez Milanés(e)

(a) Master Universitario en Ingeniería Ambiental. Ingeniero Industrial. Presidente de Antalsis.
email: vilarino@antalsis.com

(b) Máster universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Ingeniero de caminos, canales y puertos.

(c) Estudiante de GCA, Universidad Alfonso X el Sabio. E.mail: carenray@myuax.es.

(d) Ingeniero industrial por la UAX..

(e) Doctor Ingeniero industrial. E.mail: hmenemil@uax.es. Tlf: 918109771.

RESUMEN: En el trabajo se determina el coeficiente global de rendimiento (PR) de sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (SFCR), ubicados en diferentes zonas climáticas (III, IV y V) con distintas tecnologías de instalación (seguimiento solar de un eje sobre el terreno y fijas sobre el tejado), así como con niveles de producción fotovoltaica bastante diferenciados, desde 2,84kWp hasta 23.300kWp, pasando por 500kWp. Se demuestra que el coeficiente global de rendimiento es un factor de mérito que sirve para comparar la productividad de instalaciones fotovoltaicas ubicadas en diferentes zonas climáticas de irradiación solar global media diaria anual y tipologías distintas, así como para evaluar cuantitativamente de forma integral el comportamiento dinámico de los sistemas fotovoltaicos, en función de la calidad de los componentes del sistema, el cumplimiento de los requisitos básicos de instalación y un adecuado mantenimiento preventivo planificado..

PALABRAS CLAVE: rendimiento global, productividad final, productividad de referencia, seguimiento solar, módulo fotovoltaico.

ABSTRACT: In this paper, it has been determined the overall coefficient of performance (PR) of photovoltaic systems connected to the grid (SFCR), located in different climatic zones (III, IV and V) with different technologies (solar tracking an axis fixed on the ground and on the roof is determined) and photovoltaic production levels quite distinct from 2,84kWp to 23.300kWp, through 500kWp. It has shown that the overall coefficient of performance is a figure of merit used to compare the productivity of photovoltaic systems located in different climatic zones of global average annual daily isolation and different types as well as to comprehensively assess quantitatively the dynamic behavior of photovoltaic systems, depending on the quality of the system components, compliance with the basic requirements for proper installation and planned preventative maintenance.

KEY-WORDS: performance ratio, final yield, reference yield, solar tracking, photovoltaic module.

SUMARIO: 1. Introducción. 2. Rendimiento global anual de sistemas fotovoltaicos conectados a la red en zonas climáticas III, IV y V. 3. Influencia de la temperatura ambiente en el rendimiento global. 4. Rendimiento global en el plano Y_R - Y_F . 5. Conclusiones. 6. Bibliografía. 7. Listado de acrónimos

SUMMARY: 1. Introduction. 2. Annual overall performance of photovoltaic systems connected to the grid in climatic zones III, IV and V. 3. Influence of ambient temperature on the performance ratio. 4. Performance ratio on the Y_R - Y_F plane. 5. Conclusions. 6. Bibliography. 7. List of acronyms

1. INTRODUCCIÓN

La fiabilidad a largo plazo de los paneles solares fotovoltaicos es esencial para garantizar su factibilidad técnica y económica, y con ello asegurar el éxito futuro de esta tecnología y su implementación como fuente de energía eléctrica. Los periodos de garantía dados por los fabricantes deben corresponderse con la vida útil y la producción real de los módulos solares fotovoltaicos.

El coeficiente global de rendimiento PR de un sistema fotovoltaico conectado a red (SFCR) es un parámetro que tuvo su origen conceptual en la norma IES 61724 (1998) para ser utilizado como indicador de calidad en la evaluación del comportamiento dinámico de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Esta figura de mérito relaciona la energía producida realmente por el sistema con la energía que se obtendría hipotéticamente si hubiera trabajado durante todo el tiempo analizado en condiciones estándar de referencia: irradiancia de 1.000W/m^2 , características espectrales de radiación correspondientes a una masa de aire AM 1,5; incidencia normal, temperatura de 25°C de las celdas del módulo y exento de todas las pérdidas derivadas del uso en condiciones reales de operación, tales como: pérdidas debidas al incremento de temperatura de la célula por encima de 25°C , el no cumplimiento de la potencia nominal de los módulos, pérdidas por desacoplamiento en el conexionado, sombra, polvo y suciedad, pérdidas angulares y espectrales, pérdidas por el rendimiento del inversor, así como por el seguimiento del punto de máxima potencia del generador, por caídas óhmicas en el cableado, por falta de mantenimiento preventivo planificado y por falta de disponibilidad del sistema, entre otras. Por su propia definición, el valor del PR ofrece una respuesta global del comportamiento del sistema que permite compararlo con otros SFCRs, pero no identifica explícitamente los puntos sobre los que se debe actuar para optimizar su producción eléctrica.

2. RENDIMIENTO GLOBAL ANUAL DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED EN ZONAS CLIMÁTICAS III, IV, V.

En los meses correspondientes a los años 2010, 2011 y 2012 se toman los valores de producción real mensual en el punto de evacuación a la red eléctrica, así como la potencia pico de la instalación y la irradiación solar total media mensual y anual para 3 tipos de sistemas fotovoltaicos conectados a red.

El primer sistema está formado por un conjunto de 98 instalaciones fijas de 3 kWp, aproximadamente cada una, sobre el tejado de viviendas ubicadas en Francia, en una zona de irradiación solar global media diaria anual entre 4,2 y 4,6 kWh/m², correspondiente a una zona climática III en España. Los datos de producción real de energía eléctrica entregada a la red fueron obtenidos del banco de datos de sistemas fotovoltaicos suministrados por la página web de internet http://www.bdpv.es/index_es.php

El segundo sistema, de una potencia pico de 500kWp, ubicado en una zona climática IV de España (irradiación solar global media diaria anual entre 4,6 y 5,0 kWh/m²), se encuentra superpuesto sobre el tejado de una nave de la planta de compostaje de Villanueva de la Cañada, con una inclinación de los paneles solares muy por debajo de la óptima, y por tanto con pérdidas asociadas a la suciedad por polvo y al incremento de temperatura, debido a la dificultad de la evacuación del calor acumulado en los paneles por falta de ventilación en la parte trasera. Los datos de producción real de energía eléctrica fueron suministrados por la Empresa Gestión y Desarrollo del Medio Ambiente de Madrid, S.A (GEDESMA), que es una empresa pública dependiente de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid, dedicada al desarrollo, construcción, gestión y explotación de las instalaciones de tratamiento de residuos y que cuenta con varios sistemas fotovoltaicos conectados a la red en la provincia de Madrid.

El tercer sistema, de una potencia pico de 23.300 kWp está en una zona de máxima irradiación, correspondiente a zona climática V de irradiación solar global media diaria anual por encima de 5 kWh/m², localizado en Magascona, término municipal de Trujillo, Cáceres. Se encuentra sobre el terreno y cuenta con sistema de seguimiento solar de 1 eje. Los datos se facilitaron por la Empresa Fotowatio Energía Solar, S.L., dedicada al desarrollo y promoción de proyectos energéticos para la producción de electricidad a partir de la energía solar térmica y fotovoltaica.

Para todos los casos, se dispone de información de producción real mensual y anual en el punto de evacuación, irradiación solar mensual y anual incidente sobre el plano de los paneles solares, así como la potencia nominal de la instalación. Es importante destacar que sólo el SFCR de Cáceres cuenta con un sistema de monitorización, por lo que dispone de datos medidos in situ sobre radiación solar (irradiancia solar global, irradiancia solar total a 30⁰ e irradiancia solar sobre el plano seguidor), temperatura ambiente diurna, temperatura de los paneles, humedad relativa, voltaje y corriente de entrada y salida de los inversores, así como resultados de otros parámetros por vía software, tales como la facturación eléctrica, el valor del PR mensual y horas equivalentes de Sol, entre otros, todos ellos con sus valores estimados y reales. En los demás casos, los valores de irradiación solar media mensual y anual sobre el plano de los paneles solares fotovoltaicos se obtienen del modelo PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System).

La base de datos de la página de la comisión europea, PVGIS, está desarrollada a partir de datos homogeneizados para toda Europa. El algoritmo realiza el cálculo estimado de valores de irradiancia en superficies horizontales e inclinadas. La irradiación total diaria (kWh/m²) se determina mediante la integración de valores de irradiancia solar (kW/m²), pre-calculados a intervalos regulares durante el día. Para cada uno de los cálculos realizados diariamente, el modelo tiene en cuenta, además de los parámetros atmosféricos influyentes, niveles de sombreado que pueden ejercer los elementos terrestres, como colinas o montañas, calculados mediante un modelo digital

de elevación. La base de datos consiste en mapas sobre los que se representa, para valores anuales, mensuales y diarios los valores de irradiación solar sobre superficie horizontal, y posteriormente un algoritmo calcula su valor para cualquier inclinación de la superficie receptora. Utilizando esta herramienta se han determinado los datos de irradiación esperados en las localizaciones de las plantas seleccionadas (zonas III y IV), sobre superficie horizontal y sobre superficie inclinada.

2.1 Instalaciones francesas ubicadas en una zona de irradiación equivalente a una zona III de España, según la clasificación realizada por el Código Técnico de la Edificación.

2.1.1. Análisis de datos de producción de una instalación tipo en la zona III de Francia

INSTALACIÓN N° 1: ach31

Fecha conexión: 11/2009

Región: Midi-Pyrénées

Potencia pico: 3.000 Wp

Producción anual: 3.300 kWh/año

Inversor: Danfoss - UNILYNX 3000

Superficie: 23 m²

Paneles: 25xPhotowatt - PW-BIPV / 120W Integrado

Tipo de instalación: Tejado individual.



Fig. 2.1 Foto de los paneles solares sobre el tejado

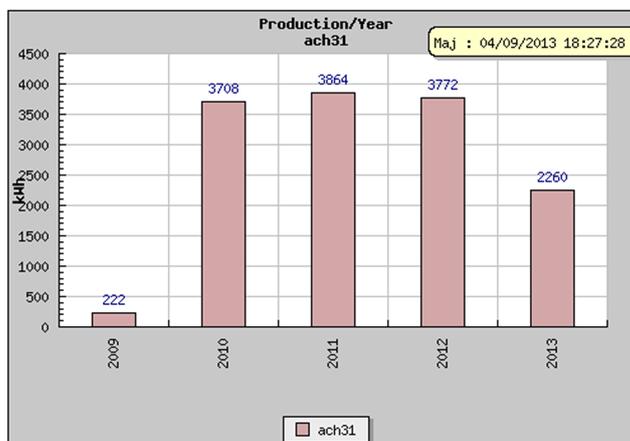


Fig 2.2 Producción anual (2009-2013) del SFCR ach31

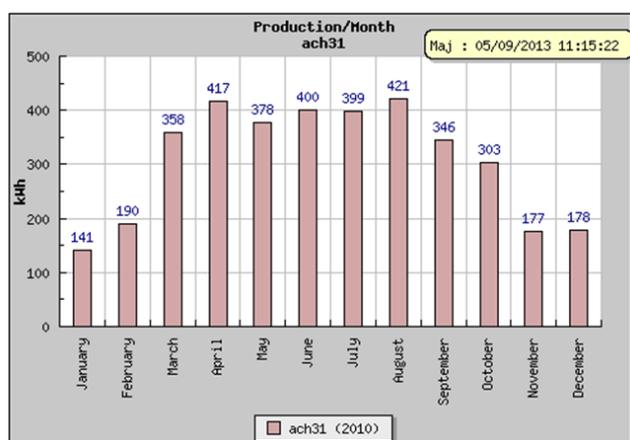


Fig 2.3. Producción mensual en el año 2010 del SFCR ach31

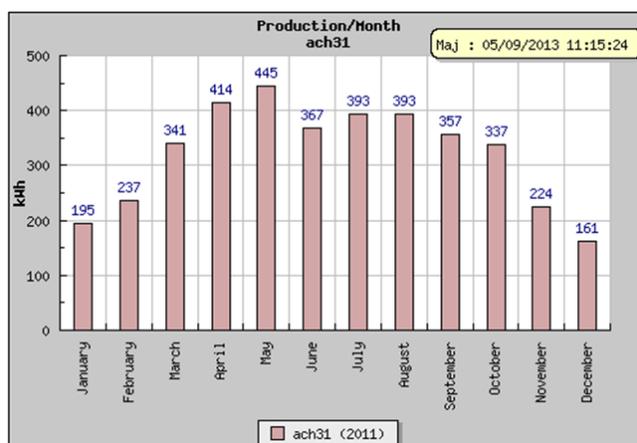


Fig 2.4. Producción mensual en el año 2011 del SFCR ach31

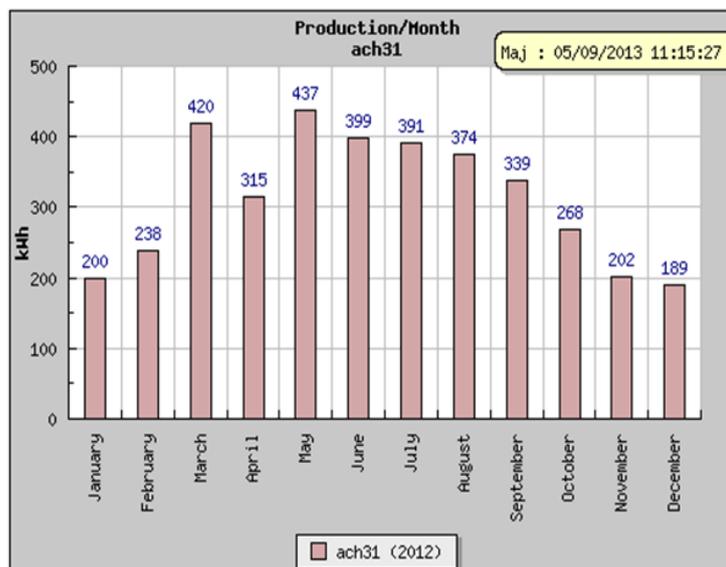


Fig 2.5. Producción mensual en el año 2012 del SFCR ach31

EUROPA > CE > CCI > IET > RE > SOLAREC > PVGIS > Mapa interactivo > Europa

Por ejemplo, "Ispra, Italy" "45.256N, 16.9589E" posición del cursor: 42.703, 2.631
 haute-garonne Buscar posición elegida: 43.401, 1.135

Estimación FV Radiación mensual Radiación diaria FV autónoma

Rendimiento del sistema FV conectado a red

Base de datos de radiación: Classic PVGIS [¿Qué es esto?]

Tecnología FV: Silicio cristalino

Potencia FV pico instalada 3000 kWp

Pérdidas estimadas del sistema [0;100] 10 %

Opciones de montaje fijo:

Posición de montaje: Integrado en el edificio

Inclin. [0;90] 25 grados Optimizar la inclinación

Acimut [-180;180] 0 grados Optimizar también el acimut

(Ángulo de acimut de -180 a 180. Este=-90, sur=0)

Opciones del sistema de seguimiento:

Eje vertical Inclin. [0;90] 0 grados Optimizar

Eje inclinado Inclin. [0;90] 0 grados Optimizar

Seguidor solar a dos ejes

Fichero del horizonte Examinar... No se ha seleccionado ningún archivo

Formatos de salida

Mostrar gráficas Mostrar el horizonte

Página web Fichero de texto PDF

Calcular [ayuda]

Fig 2.6. Uso del modelo PVGIS para estimar la irradiación solar total mensual y anual en el SFCR elegido

1.1.2 Ejemplo de cálculo del coeficiente de rendimiento global anual de la instalación ach31 para los años 2010, 2011 y 2012.

Se utiliza la herramienta PVGIS para calcular la irradiación total anual (kWh/m^2). Para este cálculo tenemos que fijar una serie de parámetros que nos solicita el programa:

- Situación geográfica de la instalación.
- Potencia FV pico instalada.
- Fijar unas pérdidas aproximadas del sistema (14-20%).
- Tipo de montaje.
- Ángulo de inclinación de los módulos.
- Ángulo de acimut.
- Formatos de salida.

Los valores obtenidos se muestran para los años 2010, 2011 y 2012:

Año 2010

Productividad Final: $Y_F=3708/3=1.236 \text{ kWh/kWp}$

Productividad de referencia: $Y_R=1.550 \text{ kWh/kW}$

Coeficiente de rendimiento global: $PR= Y_F/Y_R=1.236/1.550= 0,80$

Año 2011

Productividad Final: $Y_F=3864/3=1.288 \text{ kWh/kWp}$

Productividad de referencia: $Y_R=1.550 \text{ kWh/kW}$

Coeficiente de rendimiento global $PR= Y_F/Y_R=1.288/1.550= 0,83$

Año 2012

Productividad Final: $Y_F=3772/3=1.257 \text{ kWh/kWp}$

Productividad de referencia: $Y_R=1.550 \text{ kWh/ kW}$

Coeficiente de rendimiento global $PR= Y_F/Y_R=1.257/1.550=0,81$

Este proceso se repite para el resto de instalaciones, ubicadas en la zona III, hasta completar un total de 98 instalaciones. Se construye la siguiente tabla:

Nombre	Potencia instalada [kW _p]	Producción anual Real (kWh)			Y _R kWh/m ² kW/m ²	Y _F [kWh/kW _p]			PR anual		
		2010	2011	2012		2010	2011	2012	2010	2011	2012
ach31	3,00	3708	3864	3772	1550	1236	1288	1257	0,80	0,83	0,81
ALAINDU65	2,94	3722	3875	3618	1560	1266	1318	1231	0,81	0,84	0,79
ALCHAMBO	2,80	2804	2766	2622	1180	1001	988	936	0,85	0,84	0,79
ALPACA11	3,00	3051	2969	3110	1100	1017	990	1037	0,92	0,90	0,94
ANTHIB	2,94	2769	2757	2648	1300	942	938	901	0,72	0,72	0,69
BALOU	3,00	3203	3271	2997	1670	1068	1090	999	0,64	0,65	0,60
BELETTE	2,88	3133	3082	3021	1320	1088	1070	1049	0,82	0,81	0,79
BELTZA	2,94	3749	3816	3799	1750	1275	1298	1292	0,73	0,74	0,74
BENAT	2,86	3557	3612	3569	1750	1244	1263	1248	0,71	0,72	0,71
BIG_AL	3,00	3313	3363	3360	1310	1104	1121	1120	0,84	0,86	0,85
BONDURAND66	2,94	4236	4214	4217	1690	1441	1433	1434	0,85	0,85	0,85
BOULADOU	2,94	3530	3440	3556	1590	1201	1170	1210	0,76	0,74	0,76
CABALLE	2,94	3713	3822	3707	1490	1263	1300	1261	0,85	0,87	0,85
CEPET	2,94	3652	3718	3597	1690	1242	1265	1223	0,74	0,75	0,72
CHRISTIAN88	2,99	3095	3685	3484	1490	1035	1232	1165	0,69	0,83	0,78
CIBERICK	3,00	3295	3293	3111	1250	1098	1098	1037	0,88	0,88	0,83
CONCEPTI	2,94	2960	3068	2875	1410	1007	1044	978	0,71	0,74	0,69
DANY5347	2,70	3172	3047	2905	1350	1175	1129	1076	0,87	0,84	0,80
DAVID65	2,80	2446	2437	2510	1400	874	870	896	0,62	0,62	0,64
DELHI09	2,88	3054	2912	2842	1340	1060	1011	987	0,79	0,75	0,74
DIDIER51	2,96	2823	2973	2764	1450	954	1004	934	0,66	0,69	0,64
DJEANNOT	2,94	4072	4097	4112	1720	1385	1394	1399	0,81	0,81	0,81
DNLY95	2,88	2539	2987	2805	1140	882	1037	974	0,77	0,91	0,85
DOMI40	3,00	3442	3612	3609	1430	1147	1204	1203	0,80	0,84	0,84
DUBOISCL	2,88	2829	2726	2486	1570	982	947	863	0,63	0,60	0,55
ECOLO	2,94	3162	3157	3041	1250	1076	1074	1034	0,86	0,86	0,83
FCOULIER	3,00	3619	3625	3519	1500	1206	1208	1173	0,80	0,81	0,78
FERNANDEZ	2,97	3372	3730	3769	1530	1135	1256	1269	0,74	0,82	0,83

Tabla 2.1. Datos de potencia instalada y producción anual (2010, 2011 y 2012) valores.bdpv.fr/ calculados Y_F, Y_R y PR de 98 instalaciones francesas.

Fuente: BDPV [<http://www.connexion.php>]

Nombre	Potencia instalada [kW _p]	Producción anual Real (kWh)			Y _R kWh/m ² / kW/m ²	Y _F [kWh/kW _p]			PR anual		
		2010	2011	2012		2010	2011	2012	2010	2011	2012
GAEL	2,52	2731	2861	2652	1340	1084	1135	1052	0,81	0,85	0,79
GERRY	2,93	2902	2985	2440	1390	992	1021	834	0,71	0,73	0,60
GIROU	2,85	3130	3030	3180	1590	1098	1063	1116	0,69	0,67	0,70
GOPATRICK80	2,56	2806	2761	2656	1770	1096	1079	1038	0,62	0,61	0,59
GWEL	2,85	3288	3470	3296	1310	1154	1218	1156	0,88	0,93	0,88
HUBERT31	2,94	3459	3555	3459	1290	1177	1209	1177	0,91	0,94	0,91
HUPPE	2,97	3526	3604	3364	1350	1187	1213	1133	0,88	0,90	0,84
JACKY13	2,76	3878	3710	3529	1670	1405	1344	1279	0,84	0,80	0,77
JACQUES55	2,94	2862	3184	2834	1460	973	1083	964	0,67	0,74	0,66
JC78	2,94	3400	3392	3250	1230	1156	1154	1105	0,94	0,94	0,90
JEANLOUIS	2,94	3707	3784	3689	1540	1261	1287	1255	0,82	0,84	0,81
JEANMICHEL66	2,88	3702	3665	3795	1710	1285	1273	1318	0,75	0,74	0,77
JM35	2,94	3360	3232	3170	1330	1143	1099	1078	0,86	0,83	0,81
JMP02220	2,56	2574	2684	2514	1460	1005	1048	982	0,69	0,72	0,67
JOCE13	2,97	4119	4379	4419	1760	1387	1474	1488	0,79	0,84	0,85
JOZ66	2,88	3926	3949	3958	1540	1363	1371	1374	0,89	0,89	0,89
LAURENTM	2,80	2721	2768	2274	1590	972	989	812	0,61	0,62	0,51
LAURENTMAUD	1,96	1653	1660	1600	1160	843	847	816	0,73	0,73	0,70
LE113	2,96	2551	3092	2800	1230	862	1045	946	0,70	0,85	0,77
LEMICH13	2,97	4268	4166	4470	1760	1437	1403	1505	0,82	0,80	0,86
LESOMMER35	2,80	2930	2841	2748	1350	1046	1015	981	0,78	0,75	0,73
LEVERT	2,80	3728	3725	3755	1690	1331	1330	1341	0,79	0,79	0,79
LTPÉLOUQUE	2,80	3816	3832	3856	1600	1363	1369	1377	0,85	0,86	0,86
MACHU	2,88	2334	2467	2259	1100	810	857	784	0,74	0,78	0,71
MAISONBLEUE	2,88	3023	3099	3045	1140	1050	1076	1057	0,92	0,94	0,93
MARMOTTES32	2,57	2716	3063	3043	1530	1057	1192	1184	0,69	0,78	0,77
MARTIAL732	2,94	2852	2801	2569	1560	970	953	874	0,62	0,61	0,56
MICHELVIT	2,82	3539	3546	3589	1570	1255	1257	1273	0,80	0,80	0,81
MILARE	2,94	3674	3976	3772	1540	1250	1352	1283	0,81	0,88	0,83
MILLET	2,94	3231	3366	3327	1470	1099	1145	1132	0,75	0,78	0,77
MIMA32POUR2640 KWC	2,64	3156	3371	3328	2226	1195	1277	1261	0,54	0,57	0,57
MJCHOPCOR	2,22	2441	2461	2295	1220	1100	1109	1034	0,90	0,91	0,85
MODELISME	3,00	3150	3051	2993	1250	1050	1017	998	0,84	0,81	0,80
MONTEL	2,80	2845	2973	2640	1200	1016	1062	943	0,85	0,88	0,79
NATHARMEL	2,94	3520	3473	3343	1350	1197	1181	1137	0,89	0,88	0,84
NICOLAS35	2,99	3500	3366	3342	1340	1171	1126	1118	0,87	0,84	0,83
NICOLAS51	2,94	3325	3541	3292	1250	1131	1204	1120	0,90	0,96	0,90
NINO02	3,00	3045	3081	2849	1420	1015	1027	950	0,71	0,72	0,67
OCOR13	2,88	3887	3891	3843	1720	1350	1351	1334	0,78	0,79	0,78
OLAVERA	2,96	3436	3506	3333	1740	1161	1184	1126	0,67	0,68	0,65
PAC66	2,97	3801	3780	3767	1450	1280	1273	1268	0,88	0,88	0,87
PARA	3,00	3018	2999	2938	1170	1006	1000	979	0,86	0,85	0,84
PASCAL13	2,94	4149	4158	4075	1720	1411	1414	1386	0,82	0,82	0,81
PATRICKD4741	2,76	3925	3830	3974	1720	1422	1388	1440	0,83	0,81	0,84
PELEPOL	2,96	2776	3001	3010	1270	938	1014	1017	0,74	0,80	0,80
PEPE31	2,94	3700	3735	3611	1430	1259	1270	1228	0,88	0,89	0,86
PI1968	2,94	3542	3575	3449	1510	1205	1216	1173	0,80	0,81	0,78
PIERREDAWAN	2,16	2876	2916	2901	1680	1331	1350	1343	0,79	0,80	0,80
PIPO31	3,01	3543	3575	3569	1270	1177	1188	1186	0,93	0,94	0,93
POUSSEPAS31770	2,94	3945	3974	3778	1440	1342	1352	1285	0,93	0,94	0,89
PROFESSEURT	2,94	2715	2969	2876	1080	923	1010	978	0,86	0,94	0,91
RAYON31	2,59	3320	3341	3119	1460	1284	1292	1207	0,88	0,89	0,83
RCO13127	2,99	3797	4362	4268	1710	1270	1459	1427	0,74	0,85	0,83
RENAUD	3,00	3736	3999	3878	1370	1247	1335	1294	0,91	0,97	0,94
REVERSAM	2,73	2983	2920	2755	1240	1093	1070	1009	0,88	0,86	0,81
ROBIN	2,52	3170	3291	3069	1440	1258	1306	1218	0,87	0,91	0,85

Tabla 2.2. Datos de potencia instalada y producción anual (2010, 2011 y 2012) valores.bdpv.fr/ calculados Y_F, Y_R y PR de 98 instalaciones francesas.

Fuente: BDPV [<http://www.connexion.php>]

Nombre	Potencia instalada [kW _p]	Producción anual Real (kWh)			Y _R kWh/m ² kW/m ²	Y _F [kWh/kW _p]			PR anual		
		2010	2011	2012		2010	2011	2012	2010	2011	2012
SAMIFLY51	2,04	2842	2857	2772	1770	1393	1400	1359	0,79	0,79	0,77
SATURNAIN	2,76	3207	3236	2994	1400	1162	1172	1085	0,83	0,84	0,77
SMANACH	2,80	2593	2566	2486	1170	926	916	888	0,79	0,78	0,76
SOLEIL31	3,00	3636	3655	3554	1760	1212	1218	1185	0,69	0,69	0,67
SOLUNTO35	2,85	3197	3147	3013	1340	1122	1104	1057	0,84	0,82	0,79
TAOLHEOL35	2,94	3584	3467	3295	1320	1219	1179	1121	0,92	0,89	0,85
TCHOUP13	2,80	4059	4309	4307	1780	1450	1539	1538	0,81	0,86	0,86
THIBERT	2,10	2428	2359	2215	1370	1156	1123	1055	0,84	0,82	0,77
THIERRY35	3,04	3610	3449	3294	1300	1188	1135	1084	0,91	0,87	0,83
THIERRY60	3,00	2997	3017	2828	1140	999	1006	943	0,88	0,88	0,83
TOUFFU	2,94	3210	3268	3095	1310	1092	1112	1053	0,83	0,85	0,80
UNAM31	2,94	3669	3725	3635	1420	1248	1267	1236	0,88	0,89	0,87
VICTOR	2,24	2047	2053	1935	1180	914	917	864	0,77	0,78	0,73
XAVIER62630	2,94	3230	3236	3038	1460	1099	1101	1033	0,75	0,75	0,71

Tabla 2.3. Datos de potencia instalada y producción anual (2010, 2011 y 2012) valores.bdpv.fr/ calculados Y_F, Y_R y PR de 98 instalaciones francesas.

Fuente: BDPV [<http://www.connexion.php>]

2.2 Sistema fotovoltaico conectado a la red en zona IV (VILLANUEVA DE LA CAÑADA)

La Empresa GEDESMA de la Comunidad de Madrid, propietaria del sistema fotovoltaico de 500 kW_p conectado a la red en la planta de compostaje de Villanueva de la Cañada (Figura 2.7), ha suministrado los datos de producción eléctrica real mensual en el punto de evacuación durante los años 2010, 2011 y 2012, que figuran en las tablas 2.4, 2.5 y 2.6, respectivamente. A partir de estos valores y de los datos de irradiación solar medios mensuales y anuales incidentes sobre los paneles solares, suministrados por el programa PVGIS, se calculan los valores mensuales y anuales de productividad final Y_F, productividad de referencia Y_R y el coeficiente de rendimiento global PR.



Fig 2.7. SFCR de 500 kW_p en Villanueva de la Cañada, Madrid

2010					
Mes	Producción real en pto. de evacuación	Y _F = Producción real / Potencia pico	Y _R = Rad. Solar real / 1 kW/m ²	PR = Y _F / Y _R	
				(kWh)	[kWh/kW _p]
Enero	4006	8,01	101	0,08	7,93
Febrero	5997	11,99	107	0,11	11,21
Marzo	24986	49,97	177	0,28	28,23
Abril	40176	80,35	166	0,48	48,40
Mayo	57818	115,64	197	0,59	58,70
Junio	58588	117,18	203	0,58	57,72
Julio	66473	132,95	216	0,62	61,55
Agosto	54945	109,89	208	0,53	52,83
Septiembre	28645	57,29	176	0,33	32,55
Octubre	31441	62,88	142	0,44	44,28
Noviembre	19284	38,57	97	0,40	39,76
Diciembre	18346	36,69	80	0,46	45,98
ANUAL	410705	821,41	1870	0,41	40,76
Promedio	34225	68,45	156	0,41	40,76

Tabla 2.4. Datos de producción real mensual (2010) y valores calculados Y_F, Y_R y PR de SFCR en Villanueva de la Cañada.

2011					
Mes	Producción real en pto. de evacuación	Y _F = Producción real / Potencia pico	Y _R = Rad. Solar real / 1 kW/m ²	PR = Y _F / Y _R	
				(kWh)	[kWh/kW _p]
Enero	20445	40,89	101	0,40	40,49
Febrero	31652	63,30	107	0,59	59,16
Marzo	34974	69,95	177	0,40	39,52
Abril	52917	105,83	166	0,64	63,76
Mayo	62295	124,59	197	0,63	63,24
Junio	58182	116,36	203	0,57	57,32
Julio	61220	122,44	216	0,57	56,69
Agosto	36022	72,04	208	0,35	34,64
Septiembre	40259	80,52	176	0,46	45,75
Octubre	30484	60,97	142	0,43	42,94
Noviembre	13242	26,48	97	0,27	27,30
Diciembre	15424	30,85	80	0,39	38,66
ANUAL	457116	914,23	1870	0,47	47,45
Promedio	38093	76,19	156	0,47	47,45

Tabla 2.5. Datos de producción real mensual (2011) y valores calculados Y_F, Y_R y PR de SFCR en Villanueva de la Cañada.

2012					
Mes	Producción real en pto. de evacuación	$Y_F =$ Producción real / Potencia pico	$Y_R =$ Rad. Solar real / 1 kW/m ²	PR = Y_F / Y_R	
	(kWh)	[kWh/kW _p]	[(kWh/m ²) / (kW/m ²)]		(%)
Enero	22459	44,92	101	0,44	44,47
Febrero	22182	44,36	107	0,41	41,46
Marzo	25014	50,03	177	0,28	28,26
Abril	28256	56,51	166	0,34	34,04
Mayo	37153	74,31	197	0,38	37,72
Junio	41010	82,02	203	0,40	40,40
Julio	41750	83,50	216	0,39	38,66
Agosto	47370	94,74	208	0,46	45,55
Septiembre	42529	85,06	176	0,48	48,33
Octubre	34598	69,2	142	0,49	48,73
Noviembre	20052	40,1	97	0,41	41,34
Diciembre	18181	36,36	80	0,46	45,57
ANUAL	380554	761,11	1870	0,41	41,21
Promedio	31713	63,43	156	0,41	41,21

Tabla 2.6. Datos de producción real mensual (2012) y valores calculados Y_F , Y_R y PR de SFCR en Villanueva de la Cañada.

2.3 Sistema fotovoltaico conectado a la red en zona V (MAGASCONA)



Fig 2.8. Foto del SFCR de 23.300 kWp en Magascona, Cáceres

La Empresa FOTOWATIO Energía Solar, S.L. es la propietaria del sistema fotovoltaico de 23.300 kWp conectado a la red en la parcela localizada en un paraje conocido como "Dehesa la Magascona", en la zona natural de "Los Llanos de Trujillo", a unos 5 km al suroeste de la población de Trujillo y dentro de su término municipal. Ha suministrado los datos de producción eléctrica real mensual en el punto de evacuación, la irradiación solar media mensual a 300 de inclinación y sobre el plano del seguidor solar de 1 eje, así como la temperatura media ambiente diurna durante los años 2010, 2011 y 2012. Este conjunto de datos figuran en las tablas 2.7, 2.8 y 2.9, respectivamente. A partir de estos valores, se calculan los valores mensuales y anuales de productividad final Y_F , productividad de referencia Y_R y coeficiente de rendimiento global PR.

Año 2010									
Mes	Producción Real en punto de evacuación	Rad. Real a 30°	Rad. Plano seguidor Real	Temperatura Real (T ambiente diurna)	PR real pto de evacuacion	$Y_F = \text{Prod. Real/Pot. Pico}$	$Y_R = \text{Rad. Solar plano seg. Real}/1 \text{ (kW/m}^2\text{)}$	$PR = Y_F/Y_R$	
	(kWh)	kWh/m ²	kWh/m ²	(°C)	%	(kWh/kW _{pico})	[(kWh/m ²)/(kW/m ²)]		(%)
enero	1.523.481	87	72	8,5	89,93	65	72	0,90	90,29
febrero	1.745.625	91	84	9,0	88,95	75	84	0,89	89,30
marzo	3.001.643	141	147	11,8	87,23	129	147	0,88	87,58
abril	4.351.278	185	223	16,8	83,42	187	223	0,84	83,74
mayo	5.381.904	206	285	18,6	80,87	231	285	0,81	81,19
junio	4.987.208	192	269	24,2	79,17	214	269	0,79	79,48
julio	5.882.963	230	325	30,8	77,38	252	325	0,78	77,69
agosto	4.994.199	215	274	30,5	77,95	214	274	0,78	78,26
septiembre	4.122.579	192	218	25,1	80,73	177	218	0,81	81,05
octubre	2.968.655	156	152	17,9	83,66	127	152	0,84	83,99
noviembre	1.868.112	107	92	11,8	86,81	80	92	0,87	87,15
diciembre	1.244.784	76	60	9,3	89,14	53	60	0,89	89,49
ANUAL	42.072.432	1.877	2.201	17,9	81,72	1.806	2.201	0,82	82,05

Tabla 2.7. Datos de producción real mensual (2010) y valores calculados Y_F , Y_R y PR de SFCR en Magascona.

Año 2011									
Mes	Producción Real en punto de evacuación	Rad. Real a 30°	Rad. Plano seguidor Real	Temperatura Real (T ambiente diaria)	PR real pto de evacuacion	Y _F =Prod. Real/Pot. Pico	Y _R =Rad. Solar plano seg. Real/1 (kW/m ²)	PR=Y _F /Y _R	
	(kWh)	kWh/m ²	kWh/m ²	(°C)	%	(kWh/kW _{pico})	[(kWh/m ²)/(kW/m ²)]		(%)
enero	1.682.191	99	80	9,0	89,56	72	80	0,90	89,91
febrero	2.615.087	139	127	11,3	88,30	112	127	0,89	88,65
marzo	3.013.640	142	152	13,5	84,87	129	152	0,85	85,20
abril	4.100.433	180	219	18,9	80,12	176	219	0,80	80,43
mayo	4.984.775	204	272	21,6	78,40	214	272	0,79	78,71
junio	5.625.084	213	312	25,5	77,02	241	312	0,77	77,33
julio	5.880.952	232	336	27,8	74,78	252	336	0,75	75,07
agosto	4.932.998	209	276	27,8	76,49	212	276	0,77	76,79
septiembre	4.177.739	198	228	25,6	78,47	179	228	0,79	78,78
octubre	3.291.848	177	175	22,5	80,28	141	175	0,81	80,59
noviembre	1.677.025	98	84	13,7	85,86	72	84	0,86	86,20
diciembre	1.819.591	115	89	9,1	87,70	78	89	0,88	88,04
ANUAL	43.801.363	2.005	2.349	18,9	79,73	1880	2349	0,80	80,05

Tabla 2.8. Datos de producción real mensual (2011) y valores calculados Y_F, Y_R y PR de SFCR en Magascona.

Año 2012									
Mes	Producción Real en punto de evacuación	Rad. Real a 30°	Rad. Plano seguidor Real	Temperatura Real (T ambiente diaria)	PR real pto de evacuacion	Y _F =Prod. Real/Pot. Pico	Y _R =Rad. Solar plano seg. Real/1 (kW/m ²)	PR=Y _F /Y _R	
	(kWh)	kWh/m ²	kWh/m ²	(°C)	(%)	(kWh/kW _{pico})	[(kWh/m ²)/(kW/m ²)]		(%)
enero	2436876,2	148	119	9,77	87,76	105	119	0,88	88,11
febrero	3394312,4	180	167	9,2	86,79	146	167	0,87	87,13
marzo	3747851,2	191	203	14,35	79,05	161	203	0,79	79,37
abril	3436804,3	150	178	13,22	82,42	148	178	0,83	82,75
mayo	5038373,7	203	273	21,73	78,75	216	273	0,79	79,06
junio	5264508,4	210	300	26,01	74,90	226	300	0,75	75,20
julio	6122891,8	238	346	28,76	75,71	263	346	0,76	76,01
agosto	5264133,5	226	298	29,12	75,60	226	298	0,76	75,90
septiembre	3663661,4	174	200	25,15	78,14	157	200	0,78	78,45
octubre	3071052,1	159	159	18,48	82,62	132	159	0,83	82,94
noviembre	1694904,2	99	84	12,95	85,93	73	84	0,86	86,27
diciembre	1388030,1	85	69	9,6	86,50	60	69	0,87	86,84
ANUAL	44523399,4	2064	2396	18,2	80,00	1911	2396	0,80	79,74

Tabla 2.9. Datos de producción real mensual (2012) y valores calculados Y_F, Y_R y PR de SFCR en Magascona.

Los datos requeridos para el cálculo del coeficiente global del rendimiento anual se muestran en la tabla 2.10 para los años 2010, 2011 y 2012. Este factor de rendimiento es el cociente entre la productividad final Y_F y la productividad de referencia Y_R. La productividad final, también conocida como Horas Equivalentes de Sol, HES, se define como la energía útil producida por el sistema en un cierto período de tiempo, respecto de la potencia nominal de la instalación, expresada en kWh/kWp. La productividad de referencia se define como la irradiación solar incidente en el plano del generador fotovoltaico en un período de tiempo, expresada en kWh/m², respecto de la irradiancia solar en condiciones estándar de 1kW/m².

Central fotovoltaica (Potencia pico)	Año	Producción Real en pto. de evacuación kWh	Y_F (Producción Real / Potencia pico) kWh/kW _p	Y_R (kWh/m ²)/(kW/m ²)	PR
98 Instalaciones francesas en zona III 2,84 kW _p	2010	3266	1150	1450	0,79
	2011	3327	1171	1450	0,81
	2012	3219	1134	1450	0,78
Villanueva de la Cañada en zona IV, España, 500 kW _p	2010	410705	821	1870	0,44
	2011	457116	914	1870	0,49
	2012	380554	761	1870	0,41
Magascona en zona V, España, 23.300 kW _p	2010	42072432	1806	2201	0,82
	2011	43801363	1880	2349	0,8
	2012	44523399	1911	2396	0,79

Tabla 2.10. Datos de producción real, productividad final Y_F , productividad real Y_R y rendimiento global anual PR de centrales fotovoltaicas conectadas a red (años 2010, 2011, 2012)

Con los datos suministrados por la tabla anterior se confecciona un diagrama de barras del rendimiento global anual de los 3 tipos de sistemas fotovoltaicos conectados a la red (Figura 2.9). En ella se puede apreciar el sustancial bajo rendimiento del sistema ubicado en la zona IV. Los valores de producción se ven grandemente afectados por la falta de un sistema de monitorización, que refleje sistemáticamente el comportamiento dinámico de las variables de interés de las diferentes partes del sistema, sumado a la falta de un mantenimiento sistemático a la instalación. La gran cantidad de polvo de los alrededores que se deposita en la cubierta de vidrio de los paneles solares, por las características propias del lugar, así como la presencia de aves que constantemente se colocan sobre los paneles, reducen drásticamente la transmisividad óptica del vidrio e incrementan la suciedad del panel con sus excretas. Todo ello contribuye a las pérdidas del sistema. Por otro lado, la orientación e inclinación de los paneles sobre el tejado dificultan el aireamiento de los paneles, con lo que se incrementa la temperatura y se reduce la producción fotovoltaica.

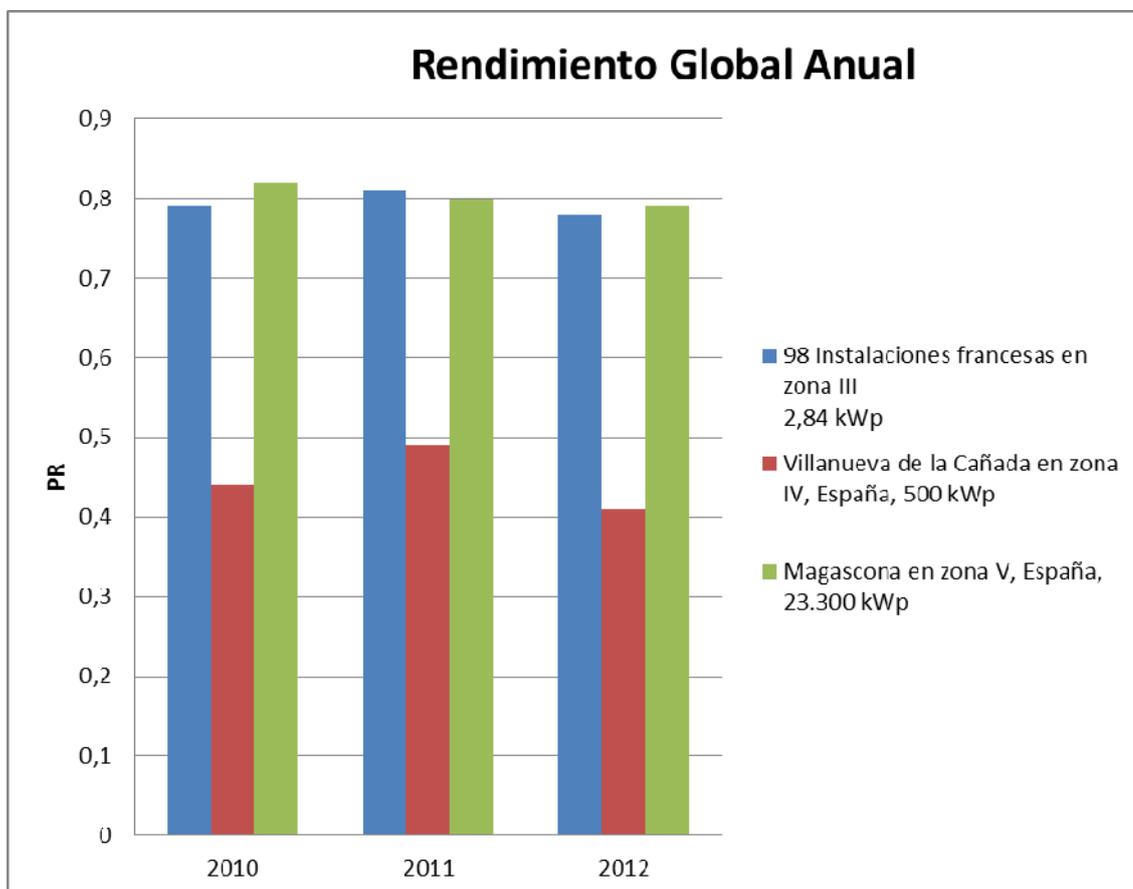


Fig 2.9. Comparación del rendimiento de centrales FV en zonas climáticas III, IV y V (años 2010, 2011, 2012)

3. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE EN EL RENDIMIENTO GLOBAL

La estimación de la producción de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica en baja tensión se puede realizar partiendo de los datos de temperatura ambiente y de irradiancia solar incidente en el plano del generador fotovoltaico de un año meteorológico típico. Se requiere conocer la temperatura de trabajo u operación que alcanza el generador fotovoltaico. Esta obedece a una relación lineal dada por la expresión:

$$T_c = T_a + k.H \quad (\text{Ec. 3.1})$$

donde:

T_c es la temperatura de operación del panel

T_a es la temperatura ambiente

H es la irradiancia solar total sobre el plano del panel solar en W/m^2

k es un parámetro que varía según la tipología del panel y la velocidad del viento. Es del orden de $0,04 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$

Conocido el valor de T_c , se puede conocer la potencia de salida P_t a través de la expresión:

$$P_t = P_p - (P_p \cdot \delta \cdot \Delta T) \quad (\text{Ec. 3.2})$$

donde:

P_t es la potencia de salida a la temperatura de trabajo

P_p es la potencia pico del panel

δ es el coeficiente de degradación de la célula

ΔT es el incremento de la temperatura del panel respecto de la temperatura en condiciones estándar de referencia ($T_p=25^\circ\text{C}$)

El valor de la potencia de salida P_t , para cada valor de irradiancia solar H y temperatura ambiente T_a se puede calcular a partir de la potencia en el punto de máxima potencia P_p a través de la siguiente expresión:

$$P_t = P_p \cdot \frac{H}{H_s} (1 - \delta \cdot \Delta T) = P_p \frac{H}{H_s} [1 - \delta (T_a + k \cdot H - T_p)] \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Donde H_s es la irradiancia solar en condiciones estándar de referencia ($H_s = 1\text{kW/m}^2$)

A partir de los datos suministrados por el sistema de monitorización y resumidos en las tablas 3.1, 3.2 y 3.3, correspondientes a la instalación fotovoltaica ubicada en la zona V y conectada a red de 23,3 MW, se toman los valores medios mensuales de la temperatura ambiente de los años 2010, 2011 y 2012, y se contrastan con los coeficientes de rendimiento global mensual. Como no se cuenta con datos fiables in situ de las restantes instalaciones, sólo se valora la correspondencia entre el PR y la temperatura ambiente para esta instalación.

Las figuras 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, y 3.6 reflejan la correspondencia de las expresiones planteadas anteriormente con el coeficiente de rendimiento global mensual, que se ve afectado por la variación de la temperatura ambiente media mensual y que como resultado se traduce en un menor PR para los meses de mayor temperatura ambiente: junio, julio y agosto en los 3 años estudiados.

Año 2010

	Producción Real en punto de evacuación (kWh)	Irradiación total plano seguidor real kWh/m ²	Temperatura ambiente media (diurna) (°C)	Productividad final Y _F (kWh/kW _{pico})	Productividad de referencia Y _R [(kWh/m ²)/(kW/m ²)]	Coefficiente de rendimiento global PR
Enero	1523481	72	9	65	72	0,90
Febrero	1745625	84	9	75	84	0,89
Marzo	3001643	147	12	129	147	0,88
Abril	4351278	223	17	187	223	0,84
Mayo	5381904	285	19	231	285	0,81
Junio	4987208	269	24	214	269	0,79
Julio	5882963	325	31	252	325	0,78
Agosto	4994199	274	31	214	274	0,78
Septiembre	4122579	218	25	177	218	0,81
Octubre	2968655	152	18	127	152	0,84
Noviembre	1868112	92	12	80	92	0,87
Diciembre	1244784	60	9	53	60	0,89

Tabla 3.1. Datos de producción real, irradiación total, temperatura ambiente media diurna, productividad final Y_F, productividad real Y_R y rendimiento global PR (mensuales) de SFCR (año 2010) en zona V

Año 2011

	Producción Real en punto de evacuación (kWh)	Irradiación total plano seguidor real kWh/m ²	Temperatura ambiente media (diurna) (°C)	Productividad final Y _F (kWh/kW _{pico})	Productividad de referencia Y _R [(kWh/m ²)/(kW/m ²)]	Coefficiente de rendimiento global P.R.
Enero	1682191	80	9	72	80	0,90
Febrero	2615087	127	11	112	127	0,89
Marzo	3013640	152		129	152	0,85
Abril	4100433	219	19	176	219	0,80
Mayo	4984775	272	22	214	272	0,79
Junio	5625084	312	26	241	312	0,77
Julio	5880952	336	28	252	336	0,75
Agosto	4932998	276	28	212	276	0,77
Septiembre	4177739	228	26	179	228	0,79
Octubre	3291848	175	23	141	175	0,81
Noviembre	1677025	84	14	72	84	0,86
Diciembre	1819591	89	9	78	89	0,88

Tabla 3.2. Datos de producción real, irradiación total, temperatura ambiente media diurna, productividad final Y_F, productividad real Y_R y rendimiento global PR (mensuales) de SFCR (año 2011) en zona V

Año 2012

	Producción Real en punto de evacuación	Irradiación total plano seguidor real	Temperatura ambiente media (diurna)	Productividad final Y_F	Productividad de referencia Y_R	Coefficiente de rendimiento global P.R.
	(kWh)	kWh/m ²	(°C)	(kWh/kW _{pico})	[(kWh/m ²)/(kW/m ²)]	
Enero	2436876	119	10	105	119	0,88
Febrero	3394312	167	9	146	167	0,87
Marzo	3747851	203	14	161	203	0,79
Abril	3436804	178	13	148	178	0,83
Mayo	5038374	273	22	216	273	0,79
Junio	5264508	300	26	226	300	0,75
Julio	6122892	346	29	263	346	0,76
Agosto	5264134	298	29	226	298	0,76
Septiembre	3663661	200	25	157	200	0,78
Octubre	3071052	159	18	132	159	0,83
Noviembre	1694904	84	13	73	84	0,86
Diciembre	1388030	69	10	60	69	0,87

Tabla 3.3. Datos de producción real, irradiación total, temperatura ambiente media diurna, productividad final Y_F , productividad real Y_R y rendimiento global PR (mensuales) de SFCR (año 2012) en zona V

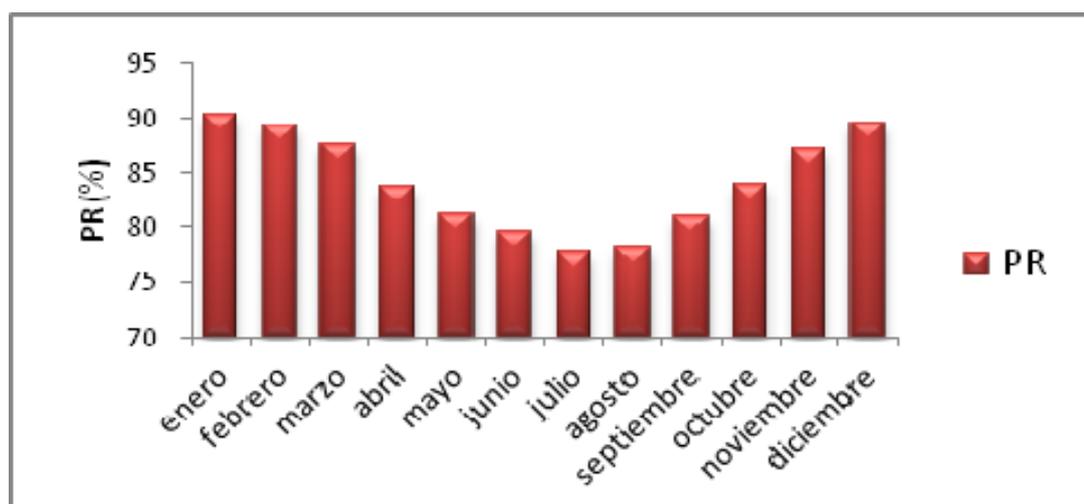


Fig 3.1. Rendimiento global mensual en SFCR (zona V). Año 2010

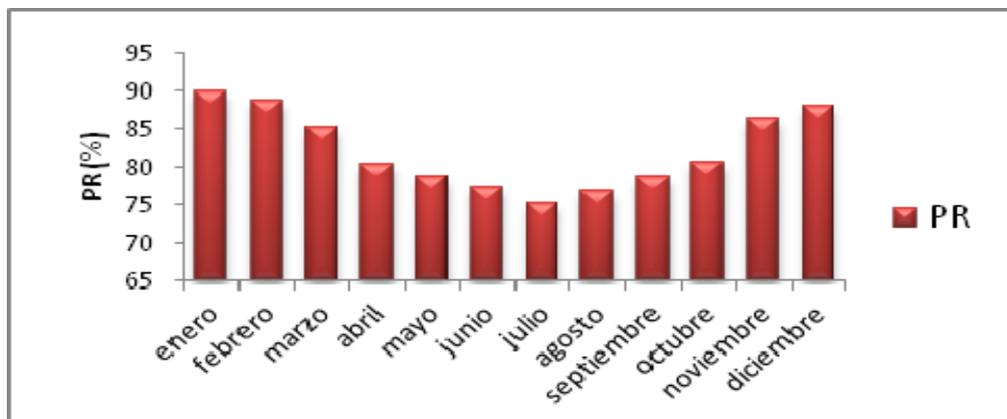


Fig 3.2. Rendimiento global mensual en SFCR (zona V). Año 2011

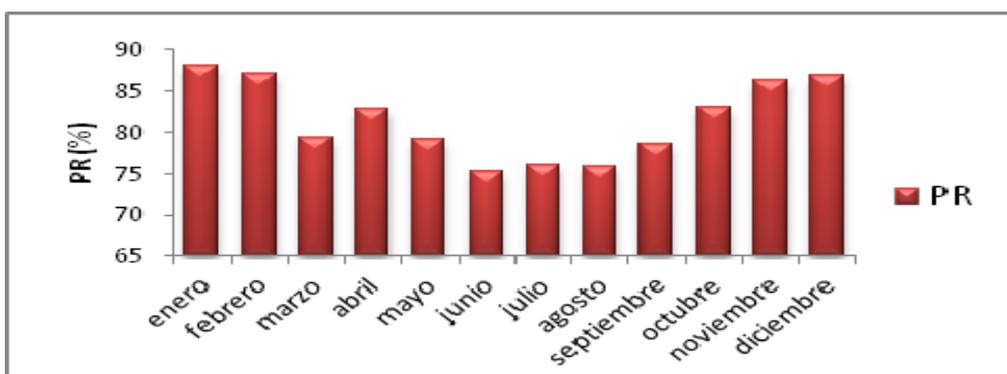


Fig 3.3. Rendimiento global mensual en SFCR (zona V). Año 2012

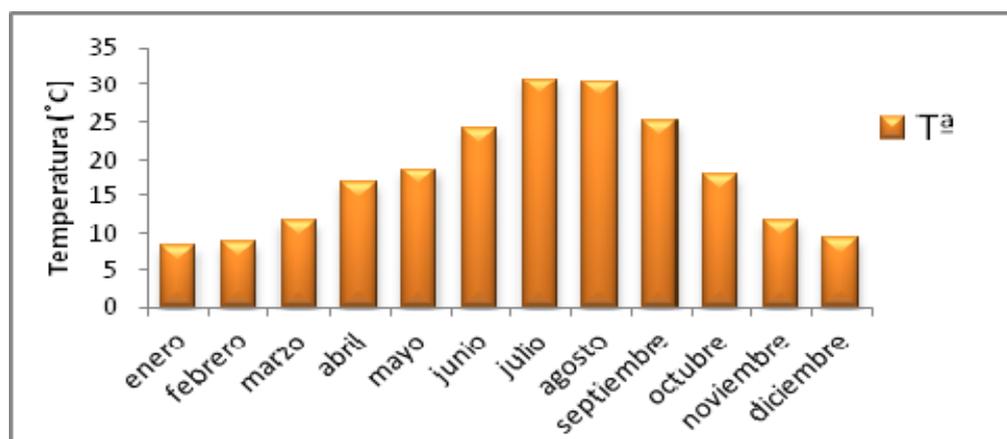


Fig 3.4 Temperatura ambiente media mensual (zona V). Año 2010

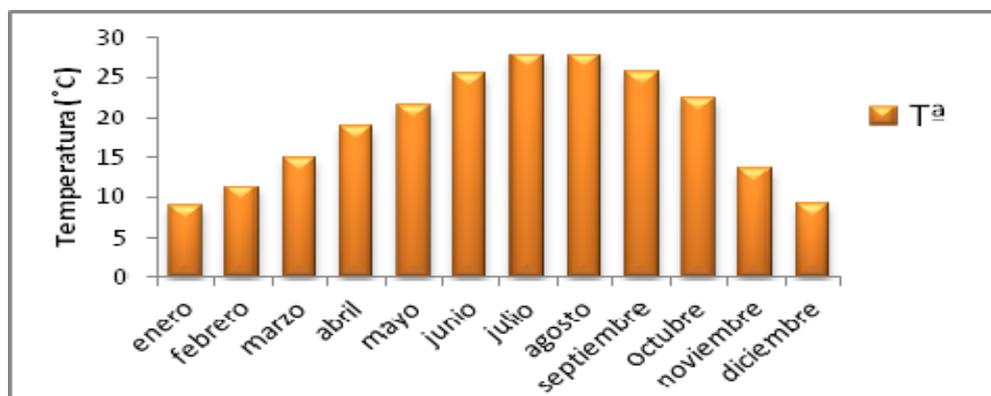


Fig 3.5 Temperatura ambiente media mensual (zona V). Año 2011

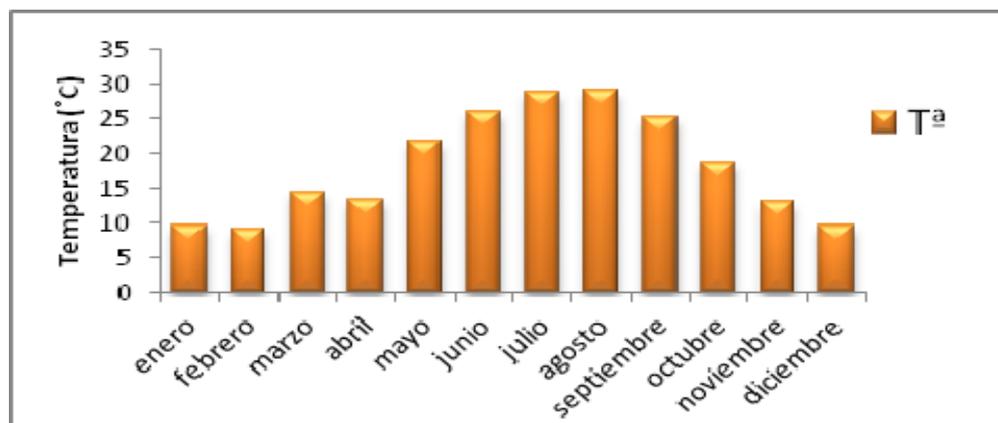


Fig 3.6 Temperatura ambiente media mensual (zona V). Año 2012

4. RENDIMIENTO GLOBAL EN EL PLANO Y_R - Y_F

En la figura 4.1 del plano Y_R - Y_F se muestran los puntos de coordenadas (Y_R , Y_F) anuales de 98 instalaciones francesas (Zona III), durante los años 2010, 2011 y 2012. A través de las líneas de referencia cuyas pendientes representan los valores de PR anual desde 0,4 hasta 1, podemos comparar sus valores y evaluar el comportamiento anual de cada una de ellas.

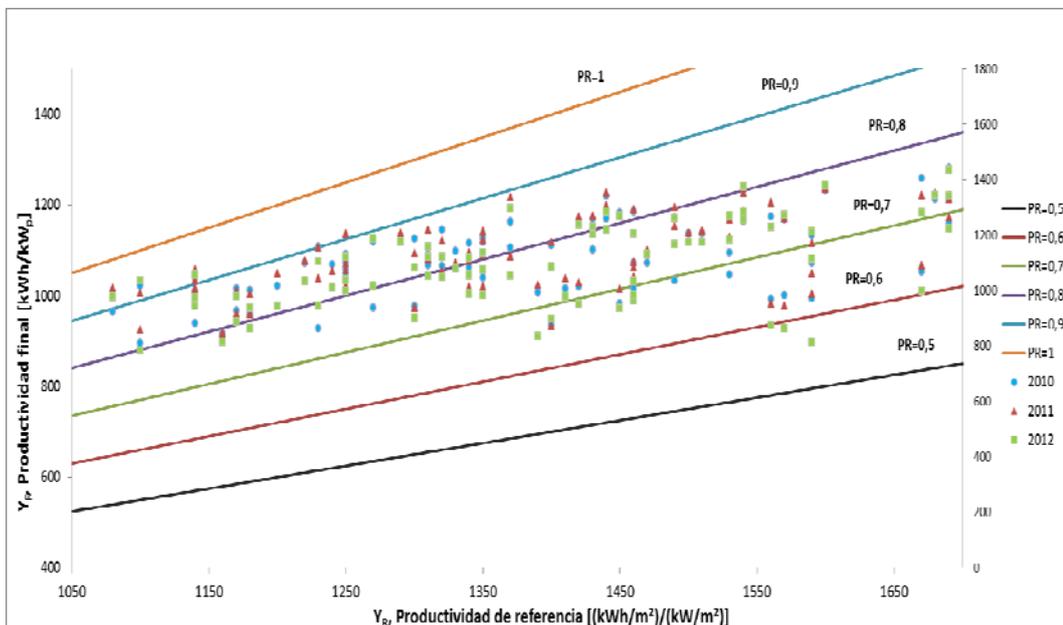


Fig 4.1. Rendimiento global anual de 98 instalaciones francesas (zona III). Años 2010, 2011 y 2012

Del mismo modo, se construyó un plano Y_R - Y_F mensual en los años 2010, 2011 y 2012 para las instalaciones ubicadas en las zonas IV y V de la península, mostrado en la figura 4.2.

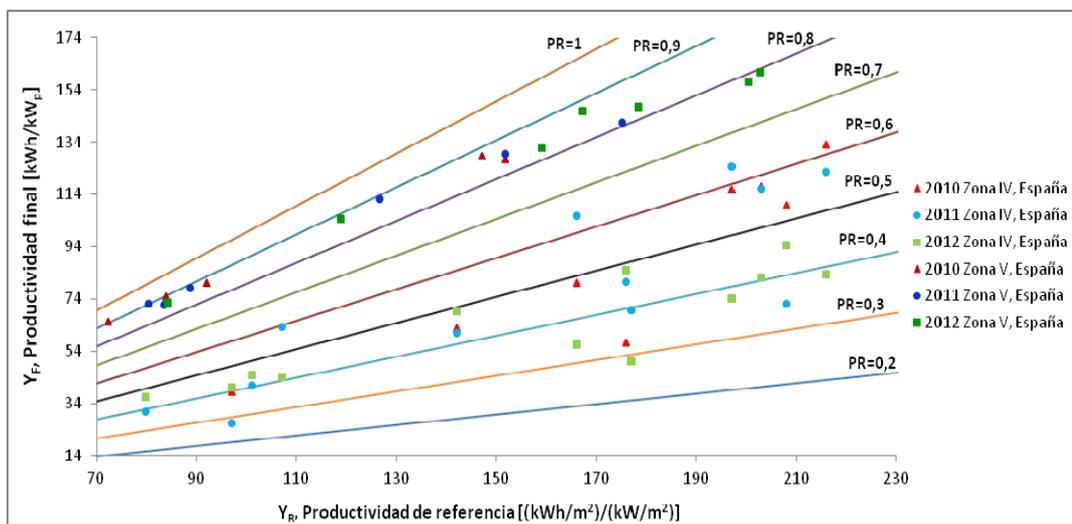


Fig 4.2. Rendimiento global mensual en las instalaciones españolas (zonas IV y V). Años 2010, 2011, 2012

5. CONCLUSIONES

Del estudio realizado, se derivan las siguientes conclusiones:

La instalación ubicada en la Zona climática IV, a lo largo de los 3 años de operación analizados, ha mostrado un PR anual demasiado bajo (entre 0,4 y 0,5). Esto se debe básicamente a la falta de un mantenimiento sistemático, que no ha permitido detectar deficiencias en el sistema, tales como la presencia de puntos calientes en paneles solares, lo cual ha tenido un impacto negativo en la producción de la planta. Por otro lado, las pérdidas debidas al polvo y suciedad, así como las debidas a orientación e inclinación de los paneles junto con la carencia de un sistema de monitorización, son las causas fundamentales de la baja producción eléctrica de la central fotovoltaica.

El rendimiento global anual de las instalaciones ubicadas en las zonas climáticas III y V es muy similar, alrededor de 0,8; lo que acredita el buen funcionamiento de ambos tipos de instalación, a pesar de las sustanciales diferencias entre ambas: la de la Zona V está sobre el terreno, posee seguimiento solar de un eje, potencia pico de 23,3MWp, mientras que las de la Zona III son un conjunto de 98 instalaciones sobre tejados (instalación fija) y de potencia pico promedio de 2,84 kWp. Ambas tienen en común un adecuado mantenimiento sistemático y selección de los componentes, así como una correcta ingeniería de diseño e instalación.

Las figuras 4.1 y 4.2 facilitan la comparación entre una cantidad grande de resultados de coeficientes de productividad global de centrales solares de diferentes características, tales como potencia pico, seguimiento solar, instalación fija, niveles de irradiación, tipos de paneles, temperatura ambiente y otras.

En la figura 4.1 se aprecia el predominio de sistemas fotovoltaicos con coeficientes de productividad global por encima de 0,6; lo cual indica el buen comportamiento dinámico de los sistemas instalados sobre tejado en forma masiva en Francia, mientras que en la figura 4.2 se observa un comportamiento excelente de la central ubicada en la Zona V, ya que los valores de PR están alrededor de 0,8 para todos los meses de los años 2010, 2011 y 2012. Por otro lado, se distingue un resultado anómalo de la central ubicada en Villanueva de la Cañada (Zona IV) con un predominio de valores de PR mensuales alrededor de 0,4.

Como resultado del desarrollo del trabajo, se puede apreciar la importancia que reviste, sobre todo en SFCRs de grandes potencias, la presencia de un sistema de monitorización que supervise el funcionamiento adecuado de la instalación y que advierta rápidamente del mal funcionamiento de algún subsistema, gracias al suministro de datos de interés para su evaluación.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] BDPV. Base de Datos sistemas fotovoltaicos. Visualización de la producción de una instalación. <http://www.bdpv.es/index_es.php> [Consulta: 12 sept. 2013].
- [2] Datos de producción fotovoltaica proporcionados por las empresas GEDESMA, S.A y Fotowatio Renewable Ventures, S.L. de sus SFCR de 500kWp y 23300 kWp, respectivamente.
- [3] FERNÁNDEZ, J.M. (2009). Tecnología de las energías renovables. Ed. Mundi Prensa, Madrid.
- [4] IEC 61274. (1998). Photovoltaic system performance monitoring. Guidelines for measurement, data exchange and analysis. IEC Central Office: Gneva, Switzerland.
- [5] KYMAKIS, E., KALYKAKIS, S. & PAPAZOGLU, T.M. (2009). Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete. Energy Conversion and Management. Vol. 50, pp 433-438.
- [6] LARONDE, R., CHARKI, A., & BIGAUD, D. (2010). Reliability of photovoltaic modules based on climatic measurement data. International Metrology Conference, CAFMET, pp 1-6.
- [7] Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica (10-02-2012); European Commission Joint Research Centre.
<<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>> [Consulta: 12 sept. 2013].
- [8] VAZQUEZ, M., & REY- STOLLE, I. (2008). Photovoltaic module reliability model based on field degradation studies. Progress in Photovoltaics: Research Applications. Vol. 16, pp 419-433. DOI: 10.1002/pip.825.
- [9] ZHOU, W., YANG, H., & FANG, Z. (2007). A novel model for photovoltaic array performance prediction. Applied Energy. Vol. 84, pp 1187-1198.

7. LISTADO DE ACRÓNIMOS

AM: air mass (masa de aire)

BDPV: Banco de datos de sistemas fotovoltaicos

HES: Horas equivalentes de Sol

IEC: International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional)

PR: Performance ratio (coeficiente global de rendimiento)

PVGIS: Photovoltaic Geographical Information System (Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica)

SFCR: Sistema fotovoltaico conectado a la red