

SOLAR ACADEMY LAB. PLATAFORMA FOTOVOLTAICA PARA FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN: DESCRIPCIÓN, ACTIVIDADES Y PRIMEROS RESULTADOS

Espelta J.*, Amador J.*, Vizquete J.M.** y Meyer G.**

* Universidad Politécnica de Madrid (UPM) ETS Ingeniería y Diseño Industrial (ETSIDI) Ronda de Valencia, 3.
28012 Madrid (España) j.espelta@alumnos.upm.es julio.amador@upm.es

**Amara NZero, C/Trespaderne, 29, 1ª planta. 28042 Madrid (España) jvizquete@amaranzero.com
gmeyer@amaranzero.com

RESUMEN

Este artículo describe las características técnicas de los equipos y sistemas de la plataforma fotovoltaica "Solar Academy Lab" instalada por la empresa Amara NZero en la terraza del edificio principal de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid, situada en el centro de la ciudad de Madrid. También se exponen las actividades de difusión y formativas realizadas por ambas entidades y los principales resultados obtenidos en los primeros estudios realizados.

PALABRAS CLAVE: Energía solar, tecnologías fotovoltaicas, inversores fotovoltaicos, almacenamiento, sistemas fotovoltaicos, producción de energía, rendimiento global, formación, investigación.

ABSTRACT

This article describes the technical characteristics of the equipment and systems of the photovoltaic platform "Solar Academy Lab" installed by the company Amara NZero on the terrace of the main building of the Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial of the Universidad Politécnica de Madrid, located in the centre of the city of Madrid. The dissemination and training activities carried out by both entities and the main results obtained in the first studies carried out are also presented.

KEYWORDS: Solar energy, photovoltaic technologies, photovoltaic inverters, storage, photovoltaic systems, energy production, performance ratio, training, outreach, research.

INTRODUCCIÓN

Como consecuencia de la colaboración durante más de una década entre la empresa Amara NZero y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) se ha instalado una plataforma fotovoltaica (FV) en la terraza del edificio principal de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial (ETSIDI) situada en el centro de la ciudad de Madrid.

Esta plataforma se denomina “Solar Academy Lab” se terminó de instalar en enero de 2020 y tiene varios objetivos: divulgación, vinculación del sector científico-académico con el profesional, formación universitaria y profesional, generación de sinergias que contribuyan con la transición energética, aportación al aseguramiento de la calidad de los sistemas FV, investigación energética, etc.

Solar Academy Lab cuenta con dos campos FV: “Generador Didáctico” y “Generador Científico”, monitorizados, que están concebidos para poder cambiar fácilmente sus configuraciones, añadir o sustituir equipos y componentes y, en definitiva, adaptarse a cualquier cambio o innovación que sea de interés. Todos los módulos FV tienen la misma orientación: 20° Este, e inclinación: 25°, para permitir la comparación del funcionamiento de los inversores en el Generador Didáctico y de los módulos entre sí en el Generador Científico.

La estructura es la solución Compact Direct, del fabricante Schletter AG, que se caracteriza por no necesitar perforar la cubierta, ya que se instala sobre unos bordillos de hormigón. El peso y la distribución de estos bordillos ha sido calculado en base a la localización y las características de la instalación.

Los dos generadores FV están conectados a la red interior de la ETSIDI a través de un Cuadro Auxiliar de Mando y Protección, situado en el exterior de la terraza. En este cuadro se distribuyen por fases todos los sistemas FV instalados en la terraza y se conecta directamente al Cuadro General de Mando y Protección del centro.

GENERADOR DIDÁCTICO

El “**generador didáctico**” está formado por 6 sistemas FV de autoconsumo con el mismo módulo FV: JA Solar JAM60S01- 315/PR, pero diferente inversor. Los sistemas 2 y 4 incluyen optimizadores y los sistemas 4 y 5 baterías para analizar el comportamiento de tecnologías actuales de litio-ion: NMC y LFP. La figura 1 muestra el esquema unifilar. Los módulos FV del sistema 6 se incluyen en el esquema unifilar en el Generador Científico, ya que están instalados sobre su bastidor. La tabla 1 indica las características generales de cada sistema. La tensión de máxima potencia (MP) en condiciones estándar de medida (STC) de todos los sistemas FV es menor que la tensión nominal de corriente continua (DC) de los inversores que, en general, está comprendida entre 350 y 400 V. Las tablas 2 y 3 aportan los datos principales del módulo FV y de los inversores, respectivamente. La tabla 4 muestra las características principales de las baterías que están configuradas en modo “optimización del autoconsumo”, es decir, se cargan cuando hay excedentes y se descargan cuando existe consumo de la red.

Tabla 1. Sistemas FV del Generador Didáctico.

Sistema FV	Inversor	Array FV*	Potencia FV STC (W)	Tensión FV MP STC** (V)	Inversor/cargador batería	Batería (Capacidad)
1	FRONIUS Primo GEN24 5.0 Plus	1 x 5	1,575	165,8	-	-
2	SOLAREEDGE HD-Wave SE3000H	1 x 6	1,89	199	-	-
3	Solis S6 GR1P 3 K	1 x 5	1,575	165,8	-	-
4	HUAWEI SUN2000-3KTL-M1	1 x 6	1,89	199	-	HUAWEI Luna 2000 (5 kWh)
5	SMA Sunny Boy 1.5 VL-40	1 x 5	1,575	165,8	SMA Sunny Island 3.0M-11	LG CHEM (3,3 kWh)
6	ENPHASE IQ7	1 x 1	315	33,2 V	-	-

* Número de cadenas (strings) en paralelo x número de módulos en serie

** Standard Test Condition (Condiciones Estándar de Medida)

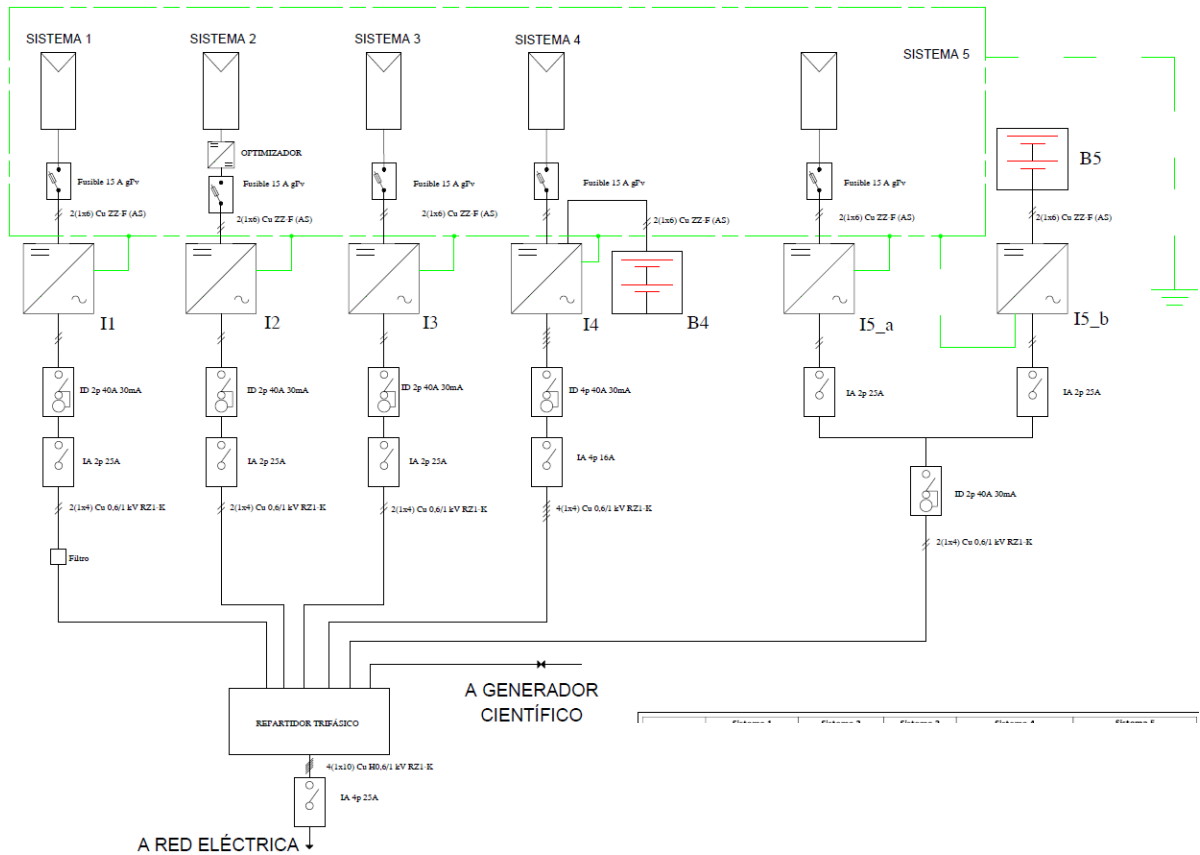


Fig. 1. Esquema unifilar del generador didáctico del Solar Academy Lab. Fuente: Amara NZero



Fig. 2. Generador didáctico del Solar Academy Lab. Fuente: Amara NZero

Tabla 2. Características principales del módulo FV del Generador Didáctico.

Fabricante	JA Solar
Modelo	JAM60S01- 315/PR
Tecnología de la célula	Silicio monocristalino
Nº de células y dimensiones	60 de 156x156 mm
Potencia máxima nominal STC* (W)	315
Tolerancia de la potencia	desde 0 W a + 5 W
Tensión en el punto de máxima potencia STC* (V)	33,2 V
Intensidad en el punto de máxima potencia STC* (A)	9,5 A
Coefficiente de temperatura de la potencia máxima (%/°C)	- 0,380

Tabla 3. Características principales de los inversores del Generador Didáctico.

Fabricante	FRONIUS	SOLAREEDGE	SOLIS	HUAWEI	SMA	SMA	ENPHASE
Modelo	Primo GEN24 5.0 Plus	HD-Wave SE3000H	S6 GR1P 1K 2.5K	SUN2000-3KTL-M1	Sunny Boy 1.5 VL-40	Sunny Island 3.0M-11	IQ7
Tecnología	String	MLPE	String	String	String	Batería	MLPE
Potencia máx. DC (W)	7500	4650	3750	4500	3000	-	350
Intensidad máxima DC (A)	22 A / 12 A	9 A	14 A	11 A	10 A	75 A	1,04 A
Tensión máx. DC (V)	600 V	480 V	550 V	1100	600 V	63 V	48 V
Rango tensiones MPP (V)	65 V – 530 V	-	50 – 450 V	140 V – 980 V	160 V – 500 V	41 V– 63 V	27 V – 37 V
Potencia nominal AC (W)	5000	3000	2500	3000	1500	3300	250
Potencia máx. aparente (VA)	5000	3000	2800	3300	1500	3300	250
Corriente máx. AC (A)	27,50	14	13,3	5,1	7	50	1,04
Rendimiento máx. (%)	97,2	98,8	97,3	96,7	97,2	95,5	96,5

Tabla 4. Características principales de las baterías del Generador Didáctico.

Fabricante	LG	Huawei
Modelo	Chem Resu 3.3	LUNA2000-5-S0
Tecnología	Litio NMC	Litio LFP
Capacidad energética total (kWh)	3,3	5
Capacidad energética utilizable (kWh)	2,9	5
Rango tensiones DC (V)	42 – 58,8	350 – 560
Tensión nominal (V)	51,8	360

GENERADOR CIENTÍFICO

En el “**generador científico**” cada módulo FV está equipado con un microinversor Enphase que permite su monitorización individual y, por tanto, poder comparar el rendimiento energético de las diferentes tecnologías FV instaladas. Este generador que cuenta con 28 microinversores (µinversores) y espacio disponible para 28 módulos FV y permite la realización de diferentes ensayos como, por ejemplo, sombreadamiento, ensuciamiento, etc. Las tecnologías FV instaladas incluyen todos los tipos de células y módulos más modernos del mercado FV: bifaciales, semicélulas, tipo N, heterounión, multibusbar, células con contacto posterior, etc. Los microinversores se distribuyen entre las tres fases según muestra el esquema unifilar de la figura 3. Los µinversores 22 a 25 tienen el mismo módulo FV que el Generador Didáctico. Las tablas 5 a 7 muestran el módulo FV conectado a cada µinversor y sus potencias nominales.



Fig. 3. Generador Científico. Fuente: Amara NZero

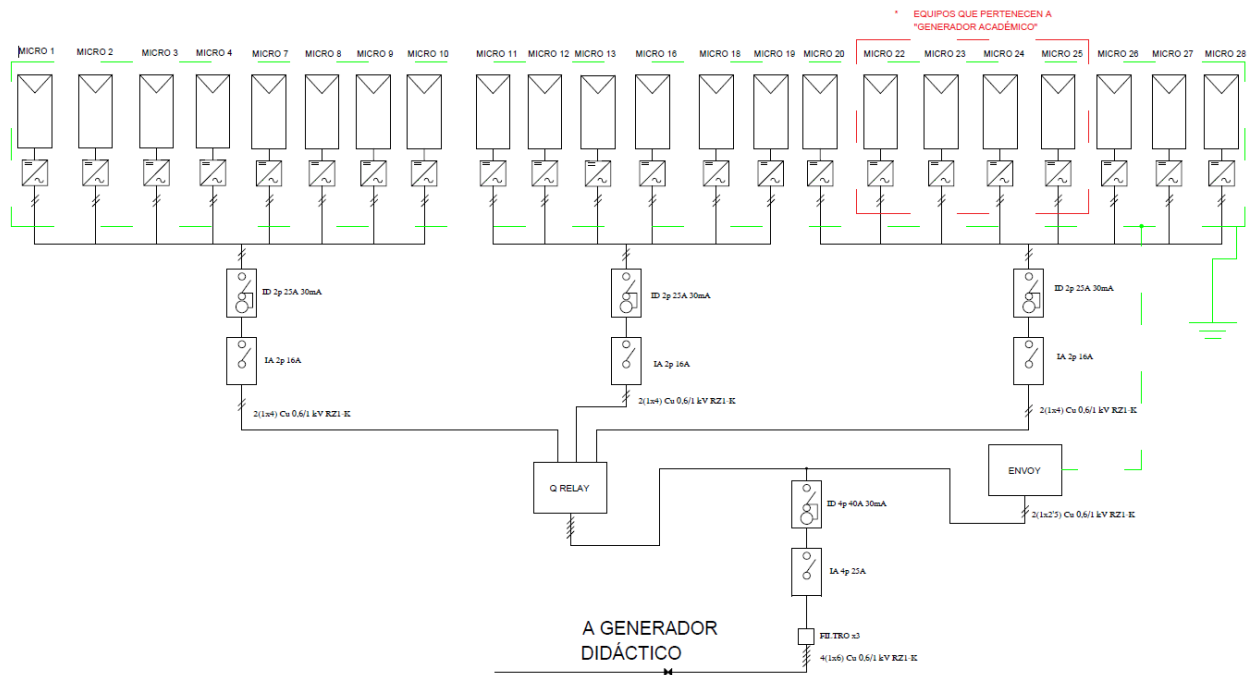


Fig. 4. Esquema unifilar del generador científico del Solar Academy Lab. Fuente: Amara NZero

Tabla 5. Sistemas FV del Generador Científico conectados a la fase 1.

Microinversor nº	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10
Fabricante FV	LG Solar		JA Solar	-	-	LG Solar	Panasonic	REC Solar	REC Solar	
Módulo FV	NeON B-facial 400N2T A5		JAM60 D09-320/BP	-	-	LG365 Q1C-A5 NeonR	VBHN 330SJ53	REC 315NP N PEAK	REC350AA ALPHA	
Potencia FV (W)	400		320	-	-	365	330	315	350	
Modelo µinversor	IQ7+		IQ7+	-	-	IQ7+	IQ7X	IQ7+	IQ7+	
Potencia µinversor	295		295	-	-	295	320	295	295	

Tabla 6. Sistemas FV del Generador Científico conectados a la fase 2.

Microinversor nº	M 11	M 12	M 13	M 14	M 15	M 16	M 17	M 18	M 19
Fabricante FV	REC Solar	JA Solar	LONGI SOLAR	-	-	LONGI SOLAR	-	HUANWA- QCELLS	JA Solar
Módulo FV	REC290TP2 TWEEN PEAK2	JAM72S10- 410 MR	LR4-72HPH- 425M	-	-	LR6-60PE- 310M	-	Q PEAKG4.1 300	JAP6(K)70- 260/4BB
Potencia FV (W)	290	410	425	-	-	310	-	300	270
Modelo µinversor	IQ7+	IQ7+	IQ7+	-	-	IQ7+	-	IQ7+	IQ7+
Potencia µinversor	295	295	295	-	-	295	-	295	295

Tabla 7. Sistemas FV del Generador Científico conectados a la fase 3 (en azul sistemas del generador didáctico).

Microinversor nº	M 20	M 21	M 22	M 23	M 24	M 25	M 26	M 27	M 28
Fabricante FV	REC Solar	-	JA Solar				REC SOLAR		
Módulo FV	REC265PE Peak energy	-	JAM60S01 315/PR				REC315TP2M Twin peak mono		
Potencia FV (W)	265	-	315				315		
Modelo µinversor	IQ7+	-	IQ7	IQ7	IQ7	IQ7	IQ7+	IQ7+	IQ7+
Potencia µinversor	295	-	250	250	250	250	295	295	295

Tabla 8. Características principales de los microinversores del Generador Científico.

Fabricante	ENPHASE	ENPHASE	ENPHASE
Modelo	IQ7	IQ7+	IQ7X
Potencia DC (W)	235 – 350	235 – 440	320 – 460
Número células módulo FV	60	60 y 72	96
Tensión máx. DC (V)	48	60	79,5
Rango tensiones MPP (V)	27 – 37	27 – 45	53 – 64
Potencia máxima AC (VA)	250	295	320
Rendimiento máx. (%)	96,5	96,5	96,5

ACTIVIDADES REALIZADAS

Se realizan visitas programadas en la Semana de la Ciencia, Noche de los Investigadores de la ciudad de Madrid, jornadas de Puertas Abiertas de la ETSIDI, visitas de institutos, etc. que se utilizan para divulgar la energía solar FV.

Las actividades de formación académica han consistido en visitas técnicas de estudiantes de distintas titulaciones: Grado en Ingeniería Eléctrica, Máster en Ingeniería de la Energía, Máster propio en Energías Renovables y Medio Ambiente, Máster en Ingeniería en Diseño Industrial, etc. En estas visitas se han realizado explicaciones detalladas de la configuración y componentes, puestas en marcha de sistemas FV de autoconsumo, muestra de datos monitorizados, inspección visual y termográfica, medidas eléctricas de strings y medidas de curva intensidad-tensión de los módulos FV, etc. Estas actividades se han completado con la realización de Trabajos Fin de Máster basados en el análisis de la base de datos monitorizados.

Las actividades de entrenamiento profesional han sido llevadas a cabo por Amara NZero con participación de empresas fabricantes como Huawei, SolarEdge, Enphase, etc. El objetivo de estas formaciones es capacitar al personal técnico de las empresas del sector en la correcta instalación y configuración de los distintos sistemas FV, permitiendo así que los asistentes adquieran las competencias para realizar su trabajo con la mayor calidad posible.

PRINCIPALES RESULTADOS

Se han analizado comparativamente los sistemas del generador didáctico en distintas condiciones de recurso solar: días de alta radiación, baja radiación, variación diaria a lo largo de un mes, comportamiento estacional, en caso de eventos climáticos, etc. En los apartados siguientes se aportan los principales resultados obtenidos que complementan los análisis realizados en otros sistemas de la terraza FV de la ETSIDI UPM (Adrada, 2017) (Adrada, Parametrización energética de diferentes tecnologías FV conectadas a la red de la ETSIDI UPM, 2018)

Análisis de los efectos de la borrasca Filomena en el Generador Didáctico (Molina, 2021)

Para estudiar los efectos de la borrasca Filomena que pasó por Madrid del 7 al 9 de enero de 2021, se analizaron con detalle los datos de producción de los inversores del Generador Didáctico. La figura 5 muestra el descenso de producción en los tres días con fuertes nevadas que alcanzaron hasta 60 cm de espesor. En dicha figura 5 también se puede observar que los sistemas FV se recuperaron al día siguiente con producciones normales, similares a las anteriores a la borrasca. Los sistemas FV se desconectaron para mantenimiento a partir del 23 de enero 2021.

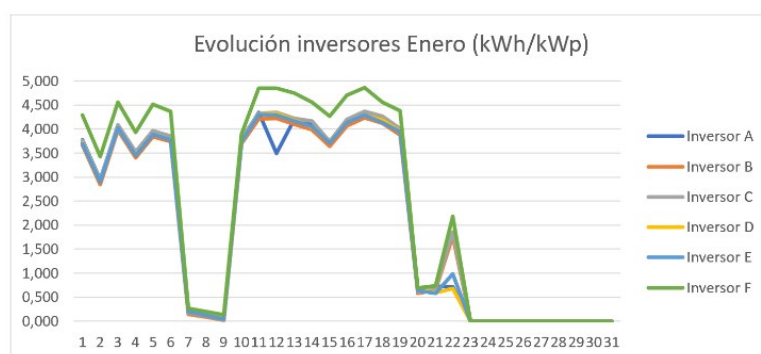


Fig. 5. Evolución de la producción de los inversores en el mes de enero 2021. Fuente: (Molina A. et al, 2021)

Influencia del nivel de irradiación solar en el Generador Didáctico

Para analizar la influencia del nivel de irradiación incidente se han estudiado los comportamientos de los inversores en días claros, nublados y de nubosidad variable. La figura 6 corresponde a un día claro del mes abril de 2021. El inversor C es el primero en arrancar y el inversor B el último. Los resultados diarios muestran un mejor comportamiento del inversor F, seguido del A y después del C. El resto de inversores: B, D y E, tienen rendimientos energéticos muy similares. La figura 7 de producción específica de un día nublado, relativamente cercano en fecha al anterior, el 25 de abril de 2021, muestra también una mayor producción del inversor F, pero un comportamiento relativo del resto de inversores muy distinto al de un día con alta radiación solar. El inversor C sigue siendo el primero en arrancar y los últimos los inversores A y B, en este caso, con un retraso de más de media hora respecto al C.

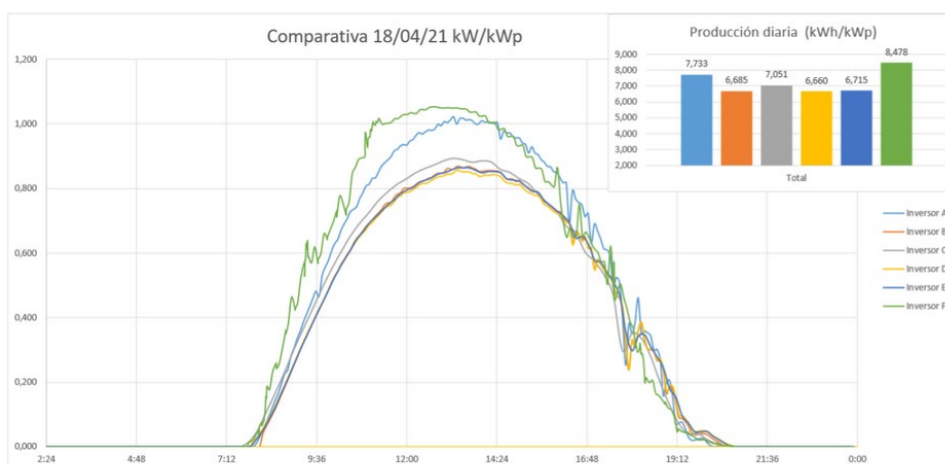


Fig. 6. Producción específica del generador didáctico en un día claro. Fuente: (Molina A. et al, 2021)

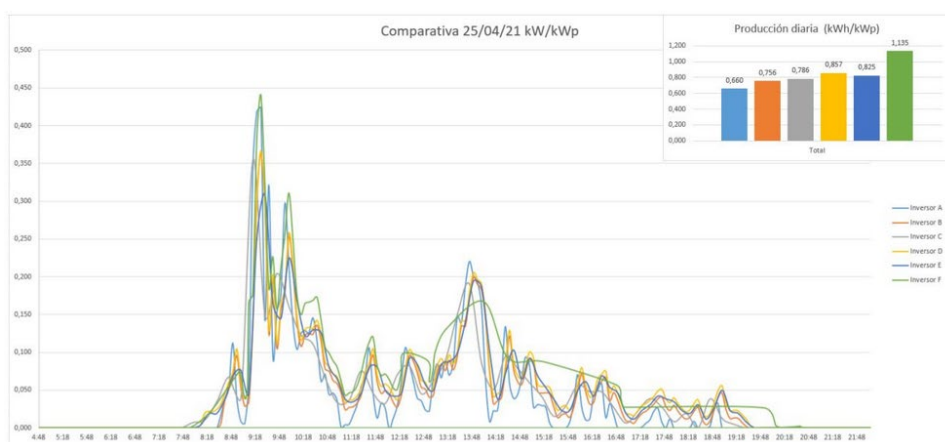


Fig. 7. Producción específica del generador didáctico en un día nublado. Fuente: (Molina A. et al, 2021)

Resultados del Generador Científico

La producción del Generador Científico se ha analizado específicamente en el contexto de un Trabajo Fin de Máster (TFM) (Echarri, 2021) que ha permitido detectar una considerable pérdida de datos consecuencia de problemas de comunicación de los microinversores que se han solucionado por la instalación de filtros en los cuadros eléctricos.

En este TFM se han realizado diversos análisis de la base de datos obtenida desde agosto de 2020 a julio de 2021. Como ejemplo se muestra el PR DC anual con datos diarios (figura 8) que valora la energía entregada por cada módulo FV al microinversor, teniendo en cuenta los valores de producción diaria acumulada.

La figura 8 muestra un comportamiento anómalo de los módulos 12 y 14 con valores menores, en torno a un 10 % y un 20 %, respectivamente, que el resto de los módulos FV. Los mejores resultados, con PR DC superiores al 90 %, los presentan los módulos FV 5, 8 y 11. Los PR DC de los módulos 1 al 4, que corresponden a tecnologías de alta

eficiencia, están afectados por una antena que se instaló posteriormente y que, a consecuencia de este estudio, se ha alejado de los módulos FV.

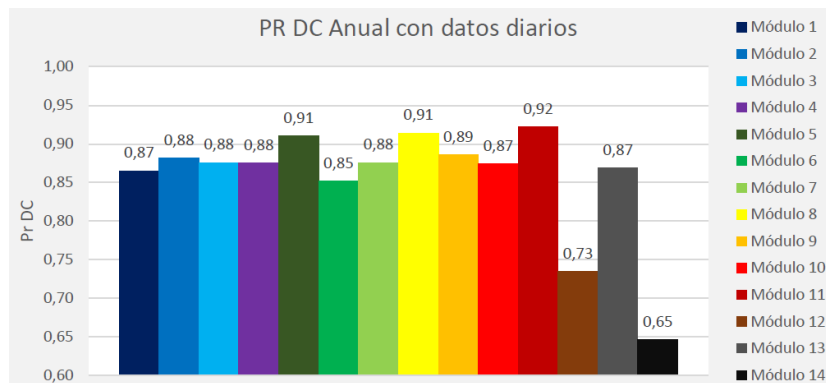


Fig. 8. PR DC anual de módulos 1 al 14 del generador científico. Nota: la numeración de módulos de esta figura no se corresponde con ninguna numeración anterior del documento. Fuente: (Echarri, 2021)

CONCLUSIONES

En este artículo se describen las características técnicas de la plataforma FV “Solar Academy Lab” realizada en el marco de colaboración de la empresa Amara NZero y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) instalada en la terraza del edificio principal de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial de la UPM.

Esta plataforma ha demostrado ser adecuada para los fines de difusión, formación e investigación, realizándose las múltiples actividades indicadas, que la han convertido en una instalación de referencia en la escuela y en el contexto profesional de los sistemas FV.

Los análisis realizados demuestran la capacidad del “Solar Academy Lab” para realizar estudios comparativos entre inversores y módulos FV en distintos contextos de funcionamiento, climáticos, etc.

En próximas publicaciones se aportará información numérica y gráfica más exhaustiva de los resultados energéticos obtenidos, especialmente del generador científico, y se incluirán datos de partida y parámetros energéticos de los sistemas FV de autoconsumo con almacenamiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del Máster propio en Energías Renovables y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Madrid www.erma.etsidi.upm.es para la creación y difusión de resultados del “Solar Academy Lab”.

REFERENCIAS

Adrada, T. e. (2017). Comparative Energy Performance Analysis of Six Primary Photovoltaic Technologies in Madrid (Spain). *Energies*.

Adrada, T. e. (2018). Parametrización energética de diferentes tecnologías FV conectadas a la red de la ETSIDI UPM. *Libro de Actas del XVI Congreso Ibérico y XII Congreso Iberoamericano de Energía Solar*. Madrid: Asociación Española de Energía Solar.

Echarri, A. (2021). *Estudio comparativo del comportamiento energético de módulos fotovoltaicos monitorizados con microinversores*. Madrid: Trabajo Fin de Máster Universidad Politécnica de Madrid.

Molina A. et al. (18 de 10 de 2021). Obtenido de Amara Nzero: https://amaranzero.es/academia/blog/laboratorio_solar

Molina, A. (1 de 2 de 2021). *Amara Nzero*. Obtenido de <https://amaranzero.es/academia/blog/filomena-visita-nuestro-laboratorio>