



# Laboratorio de Energías Renovables Eólico-Fotovoltaico

El **Laboratorio de Energías Renovables Eólico-Fotovoltaico** es un laboratorio del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Valladolid situado en una terraza de la Escuela de Ingenierías Industriales, en su sede de Francisco Mendizábal.

Este laboratorio ha sido posible gracias a la colaboración de la Agencia Energética Municipal del Ayuntamiento de Valladolid (AEMVA) y las áreas de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Mecánica de la Universidad de Valladolid.

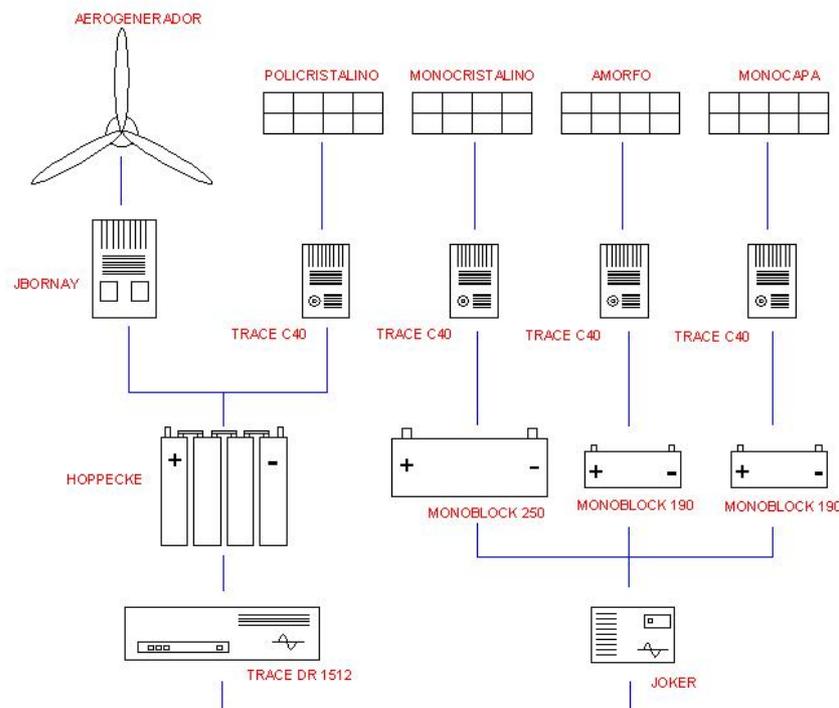
Los principales fines del **Laboratorio de Energías Renovables Eólico-Fotovoltaico** son el educativo y el divulgativo. Una directriz importante, fijada desde el principio en la realización de este laboratorio, ha sido el buscar la mayor versatilidad educativa posible, de modo que pueda ser utilizado por la Universidad para efectuar prácticas docentes, y a su vez, servir como medio divulgativo a otros centros de enseñanza, mediante visitas guiadas para ofrecer un mayor acercamiento a este tipo de energías.

Tampoco se ha perdido de vista su fin investigador, pues el laboratorio también se ha utilizado para comparar las tecnologías existentes en el mercado, evaluar su producción, costes y rendimientos, así como establecer la viabilidad de instalaciones de este tipo en otros ámbitos fuera del marco puramente educativo.

El visitante que acceda al laboratorio se encontrará con las siguientes instalaciones:

### Instalación aislada eólico-fotovoltaica:

Se trata de una instalación eólica fotovoltaica típica que cuenta con los siguientes equipos, cuyo esquema de montaje se muestra en la figura:



Paneles Fotovoltaicos colocados en una estructura soporte que permite variar su inclinación y con las siguientes tecnologías:

Monocristalino (4x51 W, Kyocera)

Policristalino (2x75 W, BP)

Amorfo (4x12 W, Konkar)

Amorfo multicapa (2x10 W, Siemens)



Aerogenerador, trifásico de imanes permanentes, con una potencia nominal de 600W, del fabricante Bornay, modelo "Inclin 600".



Reguladores, tanto para los paneles solares (Trace C40, con intensidad nominal de 40 A) como para el aerogenerador (Bornay, con intensidad nominal de 100 A).

Baterías tipo vaso (6 con una capacidad de 520 Ah y una tensión por vaso de 2 voltios) y de tipo monoblock (1 de 250 Ah y 2 de 190 Ah, de 12 voltios de tensión) todas ellas de la marca Hoppecke.

Inversores de onda senoidal pura (Joker, J200, de 200 W, 230 V y 50 Hz) y de onda senoidal modificada (Trace, DR-1512, 1500 W, 230 V y 50 Hz).



Estación Meteorológica, que mide dirección y velocidad de viento, radiación solar y ultravioleta, precipitaciones, humedad y temperatura, pudiéndose comunicar con un ordenador a través de un puerto serie (Davis Instruments, modelo Health Enviromonitor).

Para la adquisición y almacenamiento de los datos energéticos y meteorológicos, se han dispuesto los siguientes equipos de medida, ubicados en un armario metálico:

Analizadores de Redes: (2 unidades, modelo CVM96 fabricados por Circutor). Miden y visualizan los principales parámetros de redes monofásicas (tensión, corriente, frecuencia, distorsión armónica, potencia, energía, factor de potencia, etc.). Poseen comunicación serie RS485.

Indicador Universal de Proceso: (18 unidades, modelo DH96 de Circutor). Muestran la señal de medida y calculan, visualizándolo, su verdadero valor eficaz. Se les ha añadido una tarjeta de comunicaciones serie RS-485.

Transformadores de corriente y shunts.

Ordenador personal: que recibe los datos energéticos a través del puerto serie RS-485 y los meteorológicos, mediante el puerto serie RS-232, almacenándolos posteriormente en disco duro. La adquisición, tratamiento y almacenamiento de los datos se realiza mediante un software propio realizado en Lab-View (National Instruments).

Los datos que se almacenan son 53 (46 energéticos, 5 meteorológicos, hora y fecha) a intervalos de un minuto, aproximadamente, guardándose en archivos de texto.

## Instalación fotovoltaica conectada a red:

Instalación de 20 kW<sub>p</sub> conectada a red que sirvió de prueba para el filtro activo de armónicos alimentado por energía solar fotovoltaica desarrollado por ENERMAN S.A.

La instalación está orientada 40° suroeste, con una inclinación de 5° (10% de pendiente) y no hay objetos que arrojen sombras a lo largo del día sobre ella. Los módulos se apoyan sobre una estructura, que cumple funciones arquitectónicas, pero sin estanqueidad. El campo generador está compuesto por 168 módulos fotovoltaicos de silicio monocristalino. Las dimensiones de la cubierta ocupada por la instalación son de 12 m por 14 m. Lo que da una superficie aproximada ocupada por de 168 m<sup>2</sup>. La superficie real ocupada por los módulos es de 163 m<sup>2</sup>. La diferencia entre ambas, se deben a una pertinente separación entre los paneles.

La siguiente fotografía muestra una imagen de dicha instalación.



La potencia pico total es de 20.160 Wp, posee tres inversores monofásicos montados en configuración trifásica, con una potencia nominal total de 15 KW, siendo la producción de energía anual prevista de 23074 kWh.

Para la realización de esta instalación se suscribió en 2002 y con una vigencia de 25 años, un acuerdo entre ENERMAN S.A. y la Universidad de Valladolid, firmado por el Magfco. y Excmo. Sr. Rector de la Universidad. Una de las estipulaciones de dicho acuerdo, establece que *“El Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Valladolid, tendrá derecho a organizar visitas públicas, investigar, monitorizar, y obtener datos de explotación de la instalación, así como su aprovechamiento en labores de publicación, difusión o proyectos fin de carrera, siempre que se manifieste de manera clara la implicación de ENERMAN S.A. y estas actividades no interfieran más de diez horas mensuales en el funcionamiento normal de la instalación”*.

## Sistemas de seguimiento fotovoltaico:

El uso de seguidores solares en instalaciones fotovoltaicas supone incrementos en la producción eléctrica de las mismas. Ahora bien, los incrementos en el precio de estas instalaciones también son significativos, debido a los elementos constructivos empleados, los costosos sistemas de fijación al suelo capaces de soportar fuerzas de viento de hasta 150 Km/h, el mantenimiento y revisión del funcionamiento que estos sistemas precisan, etc.

En el Laboratorio de Energías Renovables se ha realizado el montaje de una instalación fotovoltaica, la cual está compuesta de tres estructuras: una fija, otra con seguidor solar en un eje y una tercera con seguidor solar en dos ejes. En cada una de estas estructuras hemos colocamos paneles de distintas tecnologías (silicio monocristalino, silicio policristalino y paneles amorfos CIS), de forma idéntica en cada una de estas.



Asimismo, se disponen de indicadores de panel que muestran las medidas de temperatura, radiación, corriente, tensión de cada panel en cada estructura y de un equipo de adquisición de datos, para recoger dichas medidas. Con estos datos, y empleando diversas hojas de cálculo podemos evaluar el aumento de producción esperado de cada sistema móvil respecto al fijo, y comparar la producción en cada estructura de las diferentes tecnologías. Además, podemos cotejar los datos experimentales obtenidos con los suministrados por los fabricantes comprobando su veracidad y, mediante programas informáticos de simulación, evaluar las medidas obtenidas en nuestro estudio con la visión teórica proporcionada por éstos. Finalmente, podemos extraer conclusiones sobre el aumento de producción de los sistemas con seguimiento sobre un eje respecto a los sistemas fijos para la provincia de Valladolid para cada.

Los sistemas fijos y con seguimiento en un eje llevan funcionando desde el año 2007 y disponemos de datos medidos durante todo un año (desde agosto de 2007 hasta agosto de 2008). La instalación con seguimiento en dos ejes está siendo terminada en este curso y se espera poder empezar a recoger datos en el verano de 2014.

### Banco de envejecimiento de paneles amorfos de capa fina:

La tecnología de capa fina, en general, y en particular la del silicio amorfo, se presenta como una opción muy viable para conseguir un abaratamiento del precio del vatio de origen fotovoltaico. Es por ello, que en los últimos años la cuota de mercado del silicio amorfo ha ido aumentando a costa de disminuir la del silicio cristalino.

Entre sus principales ventajas destacan la de emplear mucha menos cantidad de silicio que la tecnología cristalina y el exigir un proceso de fabricación menos especializado y más rápido, lo que repercute directamente en su precio final. No obstante tiene el grave inconveniente de presentar una degradación mayor que el silicio cristalino, con la consecuente disminución de rendimiento y, por lo tanto, de producción a lo largo de su vida útil y, principalmente, en sus primeros meses.

Es por ello, que los fabricantes han optado o bien por suministrar el panel degradado o bien por suministrarlo virgen pero especificando sus características eléctricas iniciales y las estabilizadas.

Con el fin de comprobar cómo evolucionan las características eléctricas de algunos paneles fotovoltaicos de silicio amorfo, en el Laboratorio de Energías Renovables, se ha montado un banco de ensayo de paneles fotovoltaicos, formado por un seguidor de doble eje comercial y un equipo trazador de curvas el cual nos permite evaluar energéticamente el módulo (la siguiente figura muestra dichos elementos).



Dado que lo que se pretende es reproducir lo más fielmente posible la vida de los paneles fotovoltaicos, estas características se han medido de forma periódica y, entre medida y medida, el panel ha estado funcionando como si estuviera en una instalación real. Para ello se ha construido una estructura soporte, a la que hemos denominado “banco de envejecimiento”, sobre las que descansan los paneles objeto de estudio. Dichos paneles

están cerrados por una resistencia de carga que, bajo condiciones estándar de iluminación, sitúa al panel en las condiciones de máxima potencia. Los paneles que se estudiarán son los cinco siguientes (ver figura): Unisol PV-40, Kaneka K75, Kaneka HB95, Sulfurcell SCG55-HV-F y Sharp NA-901.



Con el banco de ensayos y el banco de envejecimiento estamos en condiciones de:

- Almacenar y realizar un tratamiento de los datos medidos que nos permita extraer indicadores de la evolución del rendimiento de cada panel.
- Cotejar los datos obtenidos experimentalmente con los suministrados por los fabricantes y por programas informáticos de simulación.
- Extraer conclusiones sobre la disminución de potencia observada.

La toma de datos para el estudio se llevó a cabo una vez por semana recogiendo dos mediciones de cada panel, siempre que las condiciones climáticas lo permitan. El estudio comenzó a realizarse el día 12/06/2009 y el último dato recogido es de la fecha 15/06/2011.

### **Demostrador de instalación fotovoltaica conectada a red:**

Cuando hablamos de energía fotovoltaica, las instalaciones conectadas a red son el tipo de instalaciones mayoritarias, siendo deseable que los futuros titulados conozcan el funcionamiento de este tipo de instalaciones. Como hemos indicado anteriormente, el Laboratorio de Energías Renovables posee una instalación conectada a red de 20 KW, la cual podemos monitorizar y acceder a sus datos de explotación pero que, por razones de operatividad y de producción energética, no podemos manipular ni modificar a nuestro antojo. Por todo ello, en el Laboratorio de Energías Renovables nos planteamos montar un demostrador de una instalación solar conectada a red.

Este demostrador está formado por una estructura orientada al sur en la que podemos variar su inclinación, sobre la que descansa un panel solar fotovoltaico, cuya salida está conectada a un inversor monofásico conectado a red. La instrumentación del equipo nos permite medir la radiación que incide sobre el panel, la temperatura a la que se encuentra, la tensión y la corriente del panel y la potencia que el inversor vierte a la red. Dado que la energía generada por un panel depende de la radiación que incide sobre él y de la temperatura a la que se encuentra, y que al variar la inclinación del panel varía la radiación incidente en el panel, podemos observar y cuantificar cómo influyen todos estos parámetros en la producción de energía fotovoltaica en las instalaciones conectadas a red.

Esta instalación está en fase de montaje y esperamos que esté en funcionamiento a finales del verano de 2014.

### **Demostrador de autoconsumo fotovoltaico:**

Como consecuencia del progresivo aumento del precio de la energía eléctrica y de la disminución de los costes de las instalaciones solares fotovoltaicas, las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a red con autoconsumo empiezan a ser una opción cada vez más atractiva en nuestro país. Por otro lado, se está a la espera de que el gobierno proporcione el marco regulatorio que sirva para regular este tipo de instalaciones. Por todo ello, este tipo de instalaciones serán muy frecuentes en un futuro no muy lejano, siendo muy deseable que los futuros titulados conozcan este tipo de instalaciones.

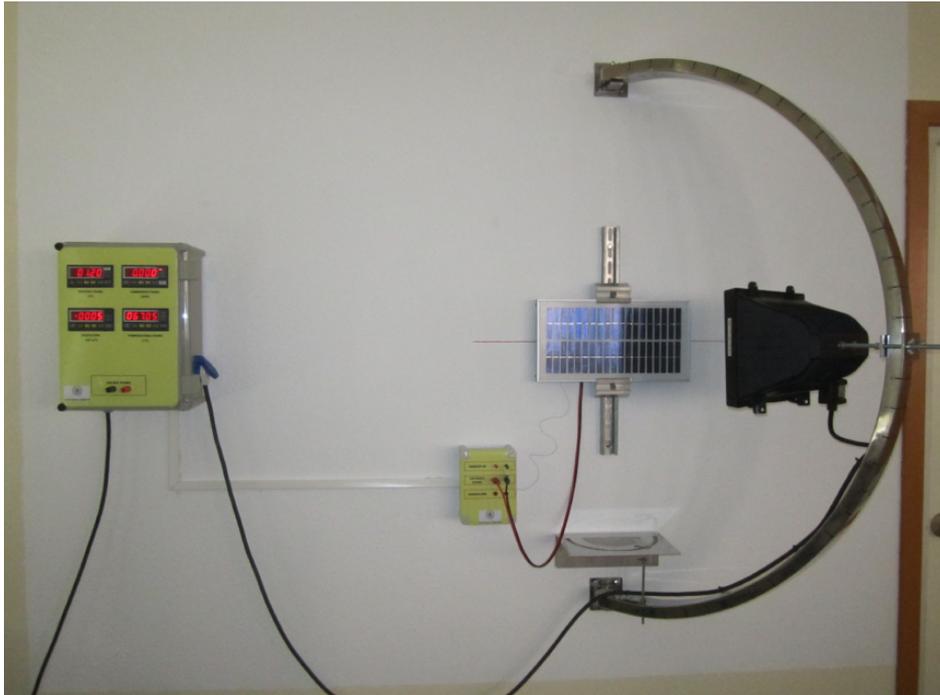
Estas razones motivaron que en el Laboratorio de Energías Renovables nos propusiéramos construir una instalación solar fotovoltaica conectada a red con autoconsumo didáctica, que sirviera para mostrar a los alumnos cómo funcionan este tipo de instalaciones. Dicha instalación está formada por un panel, un inversor de conexión a red, una carga variable (que simula el consumo de la vivienda), la red eléctrica y vatímetros que indican la energía generada por la instalación fotovoltaica, la demanda por la "vivienda" y la vertida a la red. Ésta última puede ser positiva, si la instalación genera más energía que la demandada por la vivienda, o negativa, en caso contrario. Como la carga que representa la vivienda es variable, podemos pasar de una situación de excedente de energía a una de demanda de energía y viceversa.

Esta instalación está en fase de montaje y prevemos que estará en funcionamiento a finales del verano de 2014.

### **Simulador fotovoltaico con fines didácticos:**

Las instalaciones solares fotovoltaicas, al estar situadas al aire libre, su producción se ve condicionada por las condiciones climatológicas, impidiendo que se puedan realizar sesiones de prácticas, mediciones y estudios, de forma planificada. Por otro lado, tampoco podemos modificar las condiciones climatológicas (radiación, temperatura, ángulo de acimut y ángulo de incidencia) a nuestro antojo.

Para poder solventar estos inconvenientes y como complemento a las instalaciones situadas al aire libre, ubicado en un laboratorio interior, el Departamento de Ingeniería Eléctrica dispone de un Simulador Fotovoltaico con fines didácticos, que nos permite realizar prácticas, mediciones y estudios en sesiones programadas, pudiendo manipular la incidencia de la luz sobre un panel solar fotovoltaico, al ser capaces de regular la intensidad de la radiación incidente, sus ángulos de acimut y de incidencia y la temperatura del panel. La instrumentación que posee el simulador nos permite conocer estas magnitudes así como las variables de salida del panel.



El **Laboratorio de Energías Renovables Eólico-Fotovoltaico** comenzó a funcionar en el año 2000 y mediante las aportaciones económicas del Ayuntamiento de Valladolid y aportaciones económicas y de personal del Departamento de Ingeniería Eléctrica, el Laboratorio se ha ido manteniendo, ampliando y renovando.