

PV Sun



© Censolar (Centro de Estudios de la Energía Solar)

KIT SOLAR FOTOVOLTAICO PARA CONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA

PVSun. Kit solar para conexión a la red eléctrica. Manual del usuario

© Copyright 2008-2019 **PROGENSA** (Promotora General de Estudios, S.A.)
Parque Industrial PISA, c/ Comercio, 12, 41927 Mairena del Aljarafe, Sevilla (España)
Tlf.: (+34) 954 186 200 Email: progensa@progensa.com

Segunda edición, 2019

Reservados todos los derechos

No está permitida la reproducción total o parcial de esta obra, ni su préstamo, alquiler, o cualquier otra forma de cesión de uso del ejemplar, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna otra forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del *Copyright*.

Composición de textos: Departamento propio

Índice

- 1 ■ Introducción**
- 2 ■ Advertencias, garantías y limitaciones**
- 3 ■ Descripción general**
- 4 ■ Operación y funcionamiento**
- 5 ■ Instalación y montaje**
- 6 ■ Programa informático *PVMeter***
- 7 ■ Prácticas sugeridas**
- 8 ■ Características técnicas de los módulos fotovoltaicos**

1

Introducción

Uno de los rasgos que caracterizan a los sistemas de generación eléctrica a partir de la energía solar, diferenciándolos de aquellos que hacen uso de otras fuentes de energía convencionales, es la factibilidad técnica de realizar instalaciones con potencias que abarcan desde los milivatios de pequeños aparatos electrónicos, hasta los megavatios de las grandes centrales de producción. Esto se debe, principalmente, al carácter modular de este tipo de sistemas, lo cual permite y facilita la escalabilidad de todas sus partes integrantes, desde la captación de energía hasta su acondicionamiento final para el uso previsto.

De esta forma, dos instalaciones fotovoltaicas de muy distinta potencia podrían diferenciarse tan sólo en el número y/o tamaño de sus componentes, asociado este último a las exigencias de capacidad (eléctrica, mecánica, etc.) que se derivan de la propia potencia de la instalación. Se podría decir, pues, que una instalación fotovoltaica está formada por unidades funcionales básicas, cuyo número y/o tamaño depende de la potencia eléctrica nominal instalada.

En el caso de generación fotovoltaica para conexión a red, es decir, en instalaciones proyectadas para captar la energía radiante del Sol, convertirla en energía eléctrica e inyectarla en la red eléctrica convencional, estas unidades funcionales básicas se reducen a los elementos de captación y conversión fotovoltaica de la radiación solar, los llamados módulos fotovoltaicos, y los elementos de acondicionamiento de la electricidad fotovoltaica para su inyección en la red, los denominados inversores, onduladores o convertidores fotovoltaicos para conexión a red. Por disposición reglamentaria o contractual, se puede requerir la inclusión de otras unidades funcionales básicas, con funciones tales como la protección y desconexión adicional, la medición energética, etc., a las que también se podría aplicar el principio de escalabilidad antes mencionado.

Todo lo dicho hasta ahora se podría resumir en una sola palabra: accesibilidad. La electricidad solar fotovoltaica es accesible y está al alcance de todos los interesados y entusiastas de este tipo de aprovechamiento y generación energética, íntimamente ligado a las consideraciones medioambientales, de desarrollo y de sostenibilidad que, ineludiblemente, deberán guiar las actuaciones del hombre en nuestro planeta.

El kit solar fotovoltaico que se describe en este manual es una buena muestra de esta accesibilidad. Con un número muy reducido de componentes, cuyo montaje y utilización carecen de complejidad alguna, es posible disponer de un sistema de generación eléctrica que utiliza la radiación solar para introducir electricidad en la red eléctrica convencional. El tamaño y diseño del kit, así como la documentación que lo acompaña, lo hacen especialmente apto para la formación y la experimentación en el campo de la energía solar fotovoltaica conectada a red, ya sea por particulares, o por instituciones y Centros relacionados con esta materia.

2

Advertencias, garantías y limitaciones

Aceptación de la condiciones de uso de *PVSun*

El conjunto de componentes que integran el sistema profesional fotovoltaico de conexión a red *PVSun* está concebido para uso exclusivo de estudiantes y especialistas en la materia, que posean los medios y conocimientos suficientes para poder utilizarlo de forma adecuada y segura, en condiciones tales que no se infrinja ningún precepto legal, siendo responsabilidad del usuario el cumplimiento de dichas condiciones.

PVSun está destinado a la práctica, como complemento de la formación profesional recibida, bien de forma individual o en Centros de formación técnica, bajo la supervisión del profesor o monitor. No se trata de un producto para consumo destinado al público en general.

La utilización de *PVSun* para efectuar prácticas y experimentación debe realizarse cumpliendo todas las medidas de seguridad y normas legales que pudieran ser de aplicación en el país y localidad en que se efectúen dichas prácticas. Ni CENSOLAR ni la UNED asumen responsabilidad alguna por la posible no observancia de las citadas reglas por parte del usuario.

Si Ud. no está de acuerdo con lo anteriormente expuesto, tiene derecho a devolver, en un plazo máximo de ocho días, el conjunto completo *PVSun* tal como lo ha recibido, perfectamente embalado y sin ningún signo externo o interno de haber sido usado, y a ser reembolsado con el importe que hubiera pagado, descontado los gastos de transporte y manipulación.

Garantías

La garantía ofrecida por los fabricantes de los diversos componentes quedará invalidada en el caso de utilización impropia, temeraria o inadecuada, bien sea por desconocimiento o por descuido. En particular, las caídas, golpes, arañazos o roturas diversas que puedan ser debidos a un accidente o trato inadecuado, anulan cualquier tipo de garantía, como también la anulan el someter los equipos a sobretensión, cambios de polaridad, efectuar conexiones erróneas, etc.

Todos los componentes han sido sometidos a pruebas para verificar su perfecto funcionamiento antes de entregados.

Acerca de *PVSun*

PVSun es un conjunto de componentes de primera calidad seleccionados por CENSOLAR y la UNED, que constituyen, convenientemente unidos, un sistema fotovoltaico profesional de conexión

a red, con la posibilidad de efectuar una monitorización del funcionamiento mediante un ordenador personal (no suministrado) que opere con el sistema Windows.

No es posible garantizar que el software pueda también funcionar con las nuevas o futuras versiones de Windows, aunque en ese caso CENSOLAR y la UNED procurarán, sin asumir obligación legal alguna para ello, proceder a la actualización de dicho software.

PVSun constituye una valiosa herramienta de aprendizaje por sus características únicas, ya que sus componentes son productos de la industria fotovoltaica (no fabricados exclusivamente para un “kit de enseñanza”) y, por tanto, susceptibles de ser utilizados para cualquier aplicación profesional.

Con *PVSun* pueden realizarse una variedad de experimentos y prácticas relacionadas con la energía fotovoltaica, y en especial con la interacción de la red eléctrica convencional (real o simulada), que son imprescindibles para que los estudiantes o futuros profesionales en la materia puedan comprender el funcionamiento y comportamiento de estos sistemas.

A modo de breve guía, se sugieren algunas prácticas concretas, pero otras muchas pueden ser diseñadas por los profesores o por los propios alumnos.

PVSun se suministra exclusivamente a los alumnos y diplomados de CENSOLAR y de la UNED, como material de estudio complementario destinado a su formación práctica personal.

3

Descripción general

El kit consta de los elementos mínimos necesarios para permitir su correcto funcionamiento y facilitar las tareas de formación y experimentación para las que ha sido diseñado. No obstante, las particularidades propias de cada montaje pueden hacer necesaria la inclusión de material adicional, ya sea por cuestiones de instalación, (elementos de anclaje, sujeción, conexión, etc.), o por cuestiones de manejo y utilización, (protecciones, medidores o pequeña aparamenta eléctrica).

La caja en la que se suministra el kit *PVSun* debe contener en su interior los elementos descritos a continuación:

Dos módulos fotovoltaicos

La captación de la radiación solar y su correspondiente conversión fotovoltaica se realiza por medio de dos módulos fotovoltaicos formados por células solares de silicio monocristalino. Estos módulos han sido fabricados expresamente para formar parte de este kit. A diferencia de otros módulos similares disponibles comercialmente, los aquí incluidos no disponen de marco metálico ni de cubierta acristalada, resultando así menos pesados y de menor perfil que aquéllos. Otra característica diferenciadora es la integración en el propio módulo del cable de conexiones, en cuyos terminales se encuentran ya accesibles los bornes positivo y negativo del generador eléctrico de corriente continua, caracterizado por una tensión nominal de 12 voltios y una potencia en torno a los 20 vatios.

Un inversor fotovoltaico para conexión a red de 50 Hz

La electricidad generada por los módulos en forma de corriente continua no es apta para su inyección directa a la red eléctrica convencional. Es necesario interponer entre los módulos y la red un dispositivo que sea capaz de acondicionar la corriente eléctrica de origen fotovoltaico e introducirla en la red de forma que ésta no se vea afectada en modo alguno. De todo esto y mucho más se encarga el inversor *OK4* incluido en el kit. Con una potencia máxima admisible de 100 W de entrada fotovoltaica, este inversor se caracteriza por ser el más pequeño (en potencia y tamaño) del mercado y ser apto para su colocación a la intemperie, con un grado de protección IP67.

También se incluye en el kit el cable de salida del inversor, que aloja los dos cables para su conexión a la red eléctrica convencional y otros dos para la monitorización de su funcionamiento, así como la brida plástica de apriete para la abrazadera de seguridad del conector que une el cable y el propio inversor, salvo que el modelo de inversor suministrado ya disponga de este cable integrado.

Una placa de montaje y sujeción del inversor

El inversor *OK4* va acompañado de una placa de aluminio diseñada especialmente para facilitar el montaje del mismo. Como se verá más adelante en este manual, dicha placa servirá también para realizar la puesta a tierra del inversor, utilizando para ello el tornillo y la tuerca de fijación del inversor a la placa, incluidos a tal efecto en el kit.

Un módulo para la comunicación con el ordenador

El inversor *OK4* está provisto de la función interna de adquisición de datos, mediante la cual es posible conocer los parámetros eléctricos más relevantes del funcionamiento del sistema. Para establecer una comunicación entre el inversor y el ordenador (PC), y poder acceder así a los datos de operación disponibles, es necesario realizar un enlace tipo serie entre ambos dispositivos. Dicho enlace es posible gracias al módulo de interfaz de datos *OK485* incluido en el kit.

Un software de monitorización y registro, *PVMeter*

Constituye la interfaz gráfica de usuario mediante la cual es posible establecer la comunicación con el inversor, visualizar los datos de operación y efectuar el registro de los mismos si así se desea. El programa *PVMeter* ha sido desarrollado específicamente por CENSOLAR para formar parte de este kit. Puede suministrarse en un disquete de 3½" o en CD-ROM, aunque lo habitual es descargarlo en la dirección de internet www.fotovoltaica.com/pvmeter.zip. Su instalación se describe más adelante en este manual. De gran sencillez de manejo, este software es uno de los elementos esenciales del kit, sobre todo de cara a las tareas de formación y experimentación.

Una caja de conexión y medida

Para facilitar la conexión entre los módulos y el inversor, a la vez que disponer de unos puntos de medida de la tensión y la corriente generadas por los módulos, el kit incluye una caja de plástico especialmente diseñada a tales efectos. A diferencia de los módulos y del inversor, esta caja no es apta para su colocación a la intemperie, debido a que la presencia de los bornes de conexión y medida situados en la tapa de la caja no permite las condiciones de estanquidad requeridas en estos casos. En el interior de la caja se encuentran tres puentes de conexión externos, cuya finalidad se explicará más adelante.

Clavija de enchufe y cable de puesta a tierra

En el kit se incluye una clavija de enchufe para conectar a la red eléctrica convencional los conductores de fase y neutro de salida del inversor. Dicha clavija dispone de un terminal de puesta a tierra al que se puede conectar el cable incluido para ese fin en el kit. Se incluye además una pequeña ficha de conexiones con la que se pueden realizar las prolongaciones necesarias de los cables, tal y como se describirá más adelante en este manual.

Un multímetro digital

En el kit se incluye (en el caso de que no se hubiera enviado separadamente) un aparato de medidas eléctricas multifunción de características avanzadas. Con este multímetro, el usuario dispone de una herramienta de gran valor y utilidad, no sólo para el kit, sino para los trabajos y prácticas de electricidad que desee acometer. El multímetro se suministra en su propia caja, junto con una sonda para realizar mediciones de temperatura y un manual de usuario donde se explican las distintas funcionalidades y modo de empleo de este aparato. Los usuarios del kit que no estén familiarizados con el uso de este tipo de multímetro deberían leer detenidamente el manual de instrucciones facilitado por el fabricante, para aprender a manejar el aparato de forma correcta y segura.

Un manual de usuario

Es la documentación que está usted leyendo, la cual contiene información descriptiva, de funcionamiento, de operación y de montaje de todos los elementos que forman parte del kit, así como referencias básicas a la técnica de captación de la radiación solar y su conversión eléctrica para inyección en la red eléctrica convencional. La lectura y comprensión de lo aquí expuesto se considera fundamental para el manejo seguro y consciente del kit.

Al final del manual se proponen algunos ejemplos de experimentos prácticos, que permitirán al usuario sacar un buen provecho del kit, al tiempo que se familiariza con la técnica básica de la electricidad solar conectada a red.

Otros muchos experimentos y prácticas pueden ser diseñados por los profesores o los propios estudiantes, sin más límite que el de su imaginación.



Fig. 3.1. Vista general de los elementos principales que componen el kit PVSun.

4

Operación y funcionamiento

El kit *PVSun* está pensado para funcionar según el esquema de operación representado en la figura 4.1, en el cual, y a pesar de su sencillez, se pueden identificar los tres subsistemas fundamentales de toda instalación fotovoltaica conectada a red: el generador fotovoltaico, la unidad de acondicionamiento de potencia y la interfaz de conexión a red, cuyas características principales de operación y funcionamiento se describen en los apartados siguientes.

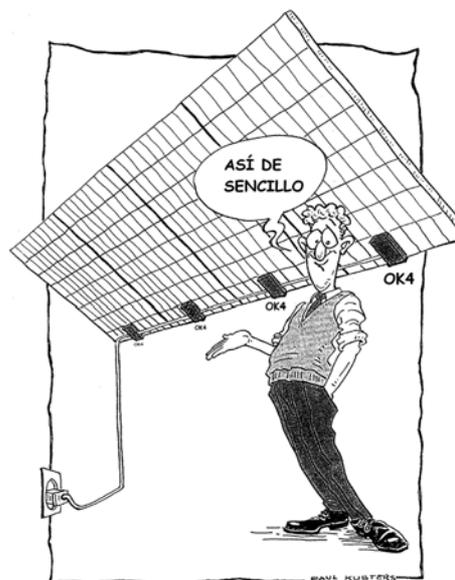


Fig. 4.1. Esquema de operación en el que se basa el kit *PVSun*.

Generador fotovoltaico

La electricidad disponible para inyectar en la red es generada únicamente por los módulos fotovoltaicos. Esta generación se basa en el efecto fotovoltaico, según el cual, la radiación solar incidente sobre los paneles provoca la aparición de una diferencia de potencial eléctrico que, aplicado a una carga o consumo, puede originar una corriente eléctrica. La generación fotovoltaica tiene lugar en cada una de las células solares de todos los módulos presentes en la instalación, y se debe únicamente a la composición interna de las mismas, es decir, a estar hechas con unos materiales y con una disposición que permiten la aparición del citado efecto fotovoltaico. De modo que ***para que un módulo fotovoltaico genere corriente eléctrica útil deben concurrir dos condiciones esenciales: que incida radiación solar sobre el módulo y que haya una carga conectada al mismo.***

Para satisfacer la primera de las condiciones anteriores, los módulos deben estar expuestos directamente a los rayos de sol, y dispuestos de tal manera que dicha exposición sea la más adecuada para alcanzar los objetivos para los que se ha diseñado la instalación. En el caso de sistemas fotovoltaicos conectados a red, cuyo objetivo principal es **generar al cabo del año la mayor energía eléctrica posible**, la disposición de los módulos deberá ser aquella que permita la máxima captación solar anual.

Para favorecer la exposición solar de los módulos, éstos se deben ubicar en un **lugar libre de obstáculos a la radiación**. Para ello es necesario examinar detenidamente las edificaciones, la topografía y la vegetación circundante, y analizar el efecto adverso que las sombras arrojadas por estos obstáculos pudieran causar sobre los módulos.



Fig. 4.2. El sombreado parcial de los módulos fotovoltaicos puede impedir por completo la generación de corriente eléctrica. Por este motivo conviene elegir una ubicación que asegure la ausencia de sombras por obstáculos circundantes, al menos durante las horas centrales del día.

En cuanto a la disposición idónea de los módulos, hay que tener presente que captar energía solar radiante implica interceptar los rayos procedentes del Sol. Para una superficie de captación dada, como es un módulo fotovoltaico, **esta interceptación será mayor cuanto más perpendicular a los rayos se disponga dicha superficie**, tal como se puede apreciar en la figura 4.3.

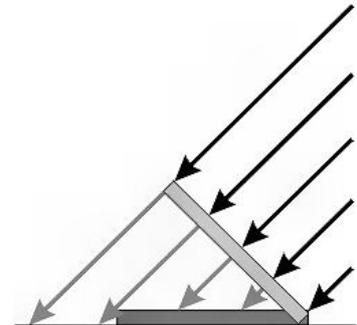


Fig. 4.3. Cuanto más enfrentada a los rayos solares se disponga la superficie de captación, mayor será dicha captación. En el caso mostrado, la superficie dispuesta horizontalmente intercepta menos radiación que la inclinada, aunque ambas superficies tengan la misma área.

En instalaciones con módulos fotovoltaicos estáticos, como es el caso de este kit, no es posible enfrentar continuamente los módulos a los rayos de sol, de modo que los módulos tendrán una orientación y una inclinación fijas, cuyos valores habrá que determinar en base al mencionado criterio de conseguir la captación solar anual máxima.

Parece lógico pensar que la mayor perpendicularidad entre los rayos de sol y los módulos fotovoltaicos debería ocurrir en el instante del día en que la intensidad de la radiación solar fuese mayor, es decir, cuando la elevación aparente del Sol sobre el horizonte fuese la máxima diaria. Tal como se muestra en la figura 4.4, todos los días del año hay que mirar en dirección del meridiano geográfico local para ver el Sol en su punto más alto sobre el horizonte, de modo que **los módulos fotovoltaicos se deben orientar hacia el Sur geográfico si se encuentran en el hemisferio norte, y hacia el Norte geográfico si se encuentran en el hemisferio sur**.

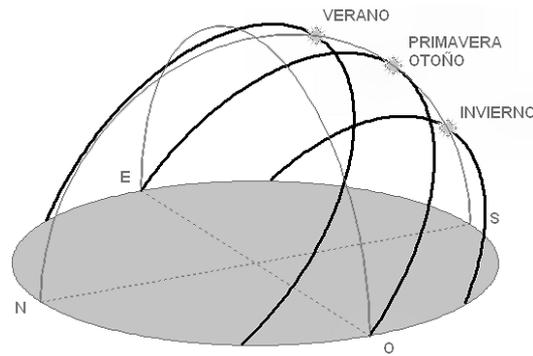


Fig. 4.4. Trayectorias aparentes del Sol en una latitud próxima a 40° N.

En cuanto a la inclinación óptima de los módulos, parece claro también que ésta debería ser tal que favoreciese la captación en las épocas de mayor radiación solar disponible. No obstante, para determinar su valor con una precisión aceptable es necesario recurrir a métodos de cálculo analítico. En sistemas de conexión a red ubicados en latitudes próximas a 40°, **la inclinación óptima ronda los 30°**, si bien cualquier inclinación entre 10° y 50° no provocaría pérdidas de captación anual superiores al 10 %.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inclinación	60°	50°	40°	25°	20°	15°	20°	25°	35°	50°	60°	65°

Tabla 1. Inclinaciones mensuales óptimas para instalaciones fotovoltaicas conectadas a red en una latitud próxima a 40°. A la vista de esta tabla se puede observar que, en el caso de módulos estáticos, la inclinación óptima de 30° coincide con la correspondiente a los primeros días de abril o los primeros días de septiembre.

La segunda condición esencial para que un módulo fotovoltaico genere corriente eléctrica es, como ya se ha dicho, que tenga una carga conectada. Para comprender esta cuestión es necesario detenerse un poco en examinar cómo es la característica eléctrica de un módulo fotovoltaico. Independientemente de su tipo y potencia, la representación gráfica de los *valores posibles de tensión y corriente* en un módulo fotovoltaico es similar a la mostrada en la figura 4.5. De entre todos los puntos de funcionamiento posibles, merecen especial atención los siguientes:

Punto 1: Corresponde a la situación en la que el módulo no está conectado a ningún dispositivo externo, es decir, sus terminales se encuentran en **circuito abierto**. En esta situación, la **tensión** existente entre los terminales positivo y negativo del módulo es la **máxima posible** y la **corriente** generada por el módulo es **nula**.

Punto 2: Corresponde a la situación en la que los terminales positivo y negativo del módulo están en contacto, es decir, los terminales se encuentran en **cortocircuito**. En esta situación, la **tensión** existente entre los terminales del módulo es **nula** y la **corriente** generada por el mismo es la **máxima posible**, aunque ésta **carece de utilidad** debido a que sólo circula a través del módulo y de sus cables, independientemente de que haya, o no, algún dispositivo externo en contacto con los mismos.

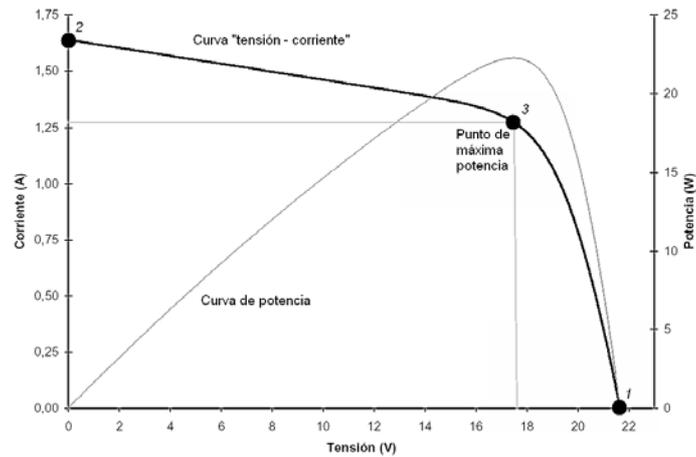


Fig. 4.5. Característica eléctrica de los módulos fotovoltaicos incluidos en el kit PVSun.

Punto 3: Corresponde a la situación en la que existe un dispositivo externo conectado a los terminales positivo y negativo del módulo que provoca que la **potencia** entregada por éste sea **máxima**. Dicha potencia se puede calcular multiplicando la corriente generada por el módulo por la tensión existente entre sus terminales. Según sea el tipo y la aplicación de la instalación fotovoltaica en cuestión, este dispositivo externo puede ser una batería, un elemento de consumo, o un aparato electrónico diseñado precisamente para hacer trabajar al módulo en este punto óptimo de funcionamiento, como es el caso de los inversores fotovoltaicos para conexión a red.

Para completar este análisis general de la característica eléctrica de un módulo fotovoltaico, no hay que olvidar que la **única energía** que utiliza el módulo para generar electricidad es la **radiación solar** incidente, de modo que la capacidad de generación eléctrica del mismo depende a cada instante de la intensidad de dicha radiación. Esta dependencia se refleja directamente en la curva característica del módulo, tal como se muestra en la figura 4.6.

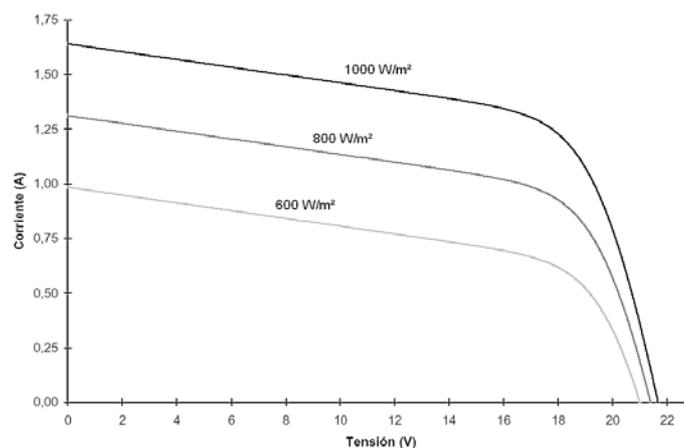


Fig. 4.6. Curvas características de un módulo fotovoltaico para distintos niveles de radiación solar incidente.

El funcionamiento correcto de los dispositivos conectados al generador fotovoltaico puede requerir que los módulos se conecten entre sí de forma que la **tensión eléctrica** existente entre los terminales del generador sea la **adecuada** para dicho funcionamiento. En el caso del kit PVSun, los

requisitos de funcionamiento del inversor *OK4* obligan a conectar los módulos fotovoltaicos *en serie* para poder alcanzar así la tensión mínima necesaria en la entrada del inversor. La realización práctica de esta conexión tendrá lugar en la caja de conexión y medida incluida en el kit. Su explicación se abordará en el capítulo siguiente de este manual. En la tabla 2 se muestran los parámetros eléctricos de tensión, corriente y potencia de un generador fotovoltaico correspondientes a la conexión serie y paralelo de los módulos que componen dicho generador.

	Módulo 1	Módulo 2	Generación FV	
			Conexión serie	Conexión paralelo
Tensión	V	V	V + V	V
Corriente	I	I	I	I + I
Potencia	P	P	P + P	P + P

Tabla 2. Parámetros eléctricos globales del generador fotovoltaico en función de la conexión serie o paralelo de los módulos que lo componen.

Para concluir este apartado dedicado a la operación y funcionamiento del generador fotovoltaico, conviene hacer referencia a lo que se entiende por características eléctricas nominales de un módulo. Las características nominales son las que lo identifican, tanto desde un punto de vista comercial como de su idoneidad para formar parte de un sistema fotovoltaico. Las dos de mayor interés a efectos prácticos son la **tensión nominal** y la **potencia máxima**.

La tensión nominal de un módulo fotovoltaico indica la idoneidad del módulo para conectarse, solo o en serie con otros módulos, a un dispositivo externo (batería, elemento de consumo, convertidor, etc.) caracterizado por este mismo valor de tensión. La tensión nominal de los módulos incluidos en el kit es **12 voltios**, que es habitual en módulos comerciales de propósito general. Como se puede apreciar en la figura 4.5, la tensión nominal es considerablemente inferior a la tensión correspondiente al punto de máxima potencia.

La potencia máxima de un módulo fotovoltaico se conoce también como **potencia pico** y es, como su propio nombre indica, la máxima que puede entregar el módulo. Lo más importante de este valor es que **sólo se puede alcanzar bajo unas determinadas condiciones ambientales y de trabajo muy favorables** y que casi nunca coincidirán con las que existen realmente en la práctica. Como se puede apreciar en la figura 4.5, la potencia máxima de los módulos fotovoltaicos incluidos en el kit es de **22 vatios**, aunque en la práctica se comprobará que la potencia entregada por el módulo es considerablemente menor, y casi nunca superará los 15 vatios.

Unidad de acondicionamiento de potencia

Como ya se ha mencionado, la electricidad generada por los módulos en forma de corriente continua no es apta para su inyección directa a la red eléctrica convencional. Es necesario interponer entre el generador fotovoltaico y la red un dispositivo que sea capaz de **acondicionar la corriente eléctrica de origen fotovoltaico e introducirla en la red** de forma que ésta no se vea afectada en modo alguno. Este acondicionamiento o conversión tiene lugar por medios electrónicos más o menos sofisticados, y la explicación de su funcionamiento excede el propósito de este manual.

El inversor fotovoltaico *OK4* incluido en el kit *PVSun* pertenece a la gama de inversores de muy pequeña potencia diseñados en principio para funcionar acoplados directamente a uno o dos módulos fotovoltaicos, formando lo que se ha dado en llamar **módulos fotovoltaicos de corriente alterna**, cuyo esquema de funcionamiento se ilustra nuevamente en la figura 4.7.

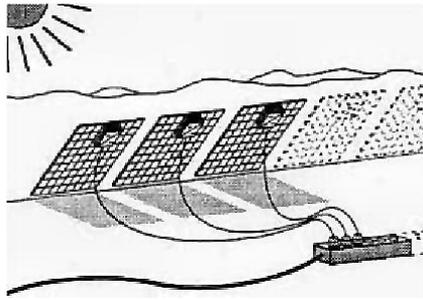


Fig. 4.7. Sistema fotovoltaico de conexión a red formado por unidades independientes de generación eléctrica “módulo-inversor” conectadas en paralelo.

Las principales ventajas de este tipo de sistemas son su **gran modularidad**, lo que facilita la expansión y **ampliación de potencia** del sistema, y su **alta eficiencia** de funcionamiento, debido a que cada unidad de generación fotovoltaica se conecta a su unidad de acondicionamiento de potencia, aprovechando así al máximo su capacidad de generación al poder operar en su punto de máxima potencia, y evitando de este modo las posibles pérdidas por desacoples o desajustes entre los distintos módulos.

Entre las características generales del inversor *OK4* incluido en el kit, destacan las siguientes:

- Admite una frecuencia de red entre 49 Hz y 51 Hz.
- Protección contra funcionamiento en ausencia de red eléctrica. El inversor vigila constantemente la tensión, la frecuencia y la fase de la señal eléctrica de la red, desconectándose automáticamente si detecta algún valor fuera de los rangos preestablecidos (ajustables en fábrica).
- Aislamiento eléctrico, por medio de transformador de seguridad, entre la entrada de corriente continua de origen fotovoltaico y la salida de corriente alterna de red.
- Muy alta eficiencia, hasta un 94% cuando la potencia de entrada es el 40% de la máxima admisible (100 W).
- Diseño electrónico basado en microprocesador y modo de conversión a alta frecuencia.
- Función integrada de comunicación con ordenador personal para la monitorización de la energía entregada a la red, corriente alterna generada, tensión alterna de red, tensión continua del generador fotovoltaico y temperatura interna del inversor.
- Funcionamiento incluso con niveles muy bajos de radiación solar. A partir de 0,15 W de entrada fotovoltaica a 24 V el inversor es capaz de entregar potencia a la red.
- Muy bajo consumo en «stand-by», tan sólo 0,003 W.
- Resistente al agua (grado de protección IP 67), encapsulado electrónico y apto para funcionar en cualquier posición.
- Rango admisible de temperatura ambiente desde -40°C hasta $+85^{\circ}\text{C}$.
- Ruido inapreciable durante su funcionamiento.
- Vida útil esperada superior a 20 años.
- No requiere ningún tipo de mantenimiento.
- Dimensiones reducidas, lo que lo convierte en el inversor más pequeño de su categoría.

El inversor *OK4* admite en su entrada un rango de **tensión continua desde 24 V hasta 50 V** y una **potencia máxima de 100 W**. Para su correcto funcionamiento con los dos módulos incluidos en el kit, éstos se deben conectar **en serie**, asegurando así que la tensión del generador fotovoltaico alcanza, al menos, el valor mínimo requerido por el inversor. Si se supera el valor máximo de 50 V de tensión continua a la entrada del inversor, éste **podría averiarse por completo**. Ni que decir tiene que sólo

con los módulos incluidos en el kit no es posible alcanzar este valor máximo de tensión. Por lo que respecta a la potencia máxima, si ésta se rebasase, el inversor limitaría automáticamente la entrada de corriente para evitar daños internos. De nuevo cabe señalar que con los módulos incluidos en el kit no es posible alcanzar este valor máximo de potencia.

Observará el usuario de este kit que el inversor *OK4* incluido **no** dispone de ningún interruptor de conexión, ni de indicadores de operación y funcionamiento. Esta circunstancia habrá de tenerse en cuenta a la hora de efectuar el montaje o realizar determinadas actuaciones durante el funcionamiento de la instalación, tal como se explicará en el capítulo siguiente de este manual.

Interfaz de conexión a red

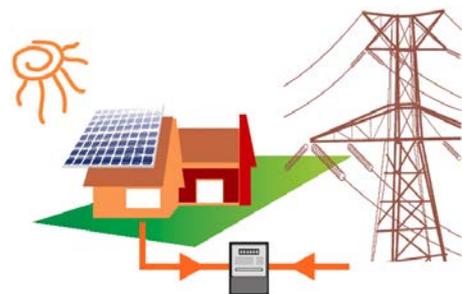
Por interfaz de conexión a red se entiende el lugar donde se realiza físicamente la conexión entre los cables de salida del inversor fotovoltaico y el punto de acceso a la red eléctrica, así como los elementos adicionales de protección, desconexión, medida, etc., que se requieran en cada caso.

En este kit se propone el acoplamiento a la red eléctrica más sencillo, y a la vez seguro, posible. Se trata simplemente de utilizar un punto de acceso a la red perteneciente a cualquiera de los circuitos eléctricos existentes ya en el lugar de la instalación. Lo más cómodo es aprovechar alguna de las tomas de corriente de este circuito y **enchufar directamente** en ella la salida del inversor por medio de la clavija de enchufe incluida en el kit (figura 4.1). Si no se hiciera así y se decidiese conectar el inversor a la red en un nuevo circuito al margen de la instalación eléctrica existente, sería necesario, si no obligatorio, disponer en este nuevo circuito de los elementos adecuados de **protección eléctrica** contra sobrecargas y derivaciones, lo que sin duda complicaría el montaje del kit y sólo estaría al alcance del usuario capacitado para llevar a cabo este tipo de trabajos eléctricos. Como cabe suponer, el funcionamiento de la instalación fotovoltaica no se ve alterado en modo alguno por la elección de una u otra interfaz de conexión a red.

Esta conexión a la red de tipo “enchufable” es factible siempre y cuando la corriente máxima que pueda generar el inversor **no exceda** la capacidad de manejo de corriente de los conductores eléctricos del circuito al que pertenezca el enchufe de conexión. En el caso del inversor *OK4*, la corriente máxima que éste puede generar en su salida es tan sólo de **0,375 A**, lo que no debería suponer problema alguno en la práctica totalidad de las instalaciones eléctricas convencionales existentes.

Una vez conectada la instalación a la red, el usuario se preguntará qué sucede o adónde va la corriente eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos y entregada a la red por el inversor. Pues bien, haya o no consumo en la instalación eléctrica convencional, la corriente de origen fotovoltaico inyectada en la red pasa a estar **disponible para cualquier usuario** de la propia red, siendo imposible determinar a priori quién hará uso de esa electricidad. En el caso de que el inversor inyecte corriente al tiempo que existe consumo eléctrico en la instalación convencional, parece lógico pensar que la energía eléctrica inyectada se utilizará en la propia instalación. En estas circunstancias, si la potencia eléctrica de origen fotovoltaico inyectada fuese lo suficientemente elevada, el **efecto** de enchufar y desenchufar el inversor se podría apreciar en el movimiento o la indicación del contador eléctrico existente en la instalación, hasta el punto de que la conexión del inversor podría provocar la parada de dicho contador.

Fig. 4.8. En la modalidad de conexión “enchufable” a red propuesta en este kit, se establece un balance instantáneo entre la energía eléctrica de origen fotovoltaico y la electricidad demandada por la instalación eléctrica convencional, cuyo resultado neto, a efectos del contador tarifario, dependerá de las potencias correspondientes a ambos flujos de energía.



5

Instalación y montaje

Consideraciones generales

El kit *PVSun* constituye un pequeño y a la vez completo sistema fotovoltaico para conexión a la red eléctrica convencional de baja tensión, cuya instalación se reduce casi exclusivamente a la tarea de conectar eléctricamente entre sí los distintos elementos que lo componen. Para ello bastará con disponer de unas pocas herramientas comunes en los trabajos de bricolaje doméstico y seguir las indicaciones mostradas a lo largo de este capítulo. Se deberá prestar especial atención a las advertencias y medidas de precaución relativas a la seguridad material y, sobre todo, personal. El manejo e instalación de este kit no supone ningún riesgo añadido a los ya de por sí existentes en todo sistema eléctrico de baja tensión. En este sentido, cabe mencionar que la modalidad de conexión “enchufable” a red propuesta en este manual permite considerar este kit, a efectos de manipulación, como un simple electrodoméstico más, en este caso generador de energía eléctrica, en lugar de consumidor. Al margen de los aspectos meramente eléctricos, hay que tener presente que el montaje de los módulos fotovoltaicos puede implicar situaciones de riesgo personal, en la medida que el modo de acceso al lugar de su ubicación, o su propio montaje, no sean los adecuados, con el consiguiente peligro de golpes o caídas que bien podrían provocar daños personales severos e incluso fatales. Es responsabilidad del usuario de este kit la adopción de las medidas de seguridad adecuadas para que su instalación, montaje y manipulación se lleven a cabo de forma segura, para lo cual será suficiente con cumplir lo preestablecido con carácter general, a tales efectos, en las tareas comunes o domésticas.

Por razones didácticas, se ha preferido describir en primer lugar las cuestiones referentes a la identificación y el conexionado de los cables existentes en el kit, para pasar posteriormente a tratar los temas correspondientes al montaje propiamente dicho, bien entendido que no se pretende con esto establecer un orden en la realización de las operaciones a continuación descritas. De hecho, algunas tareas, como el marcado de los cables y su conexionado, se deberían efectuar una vez ubicados definitivamente los distintos elementos que forman parte del kit.

Identificación del cableado

Inversor OK4

El inversor *OK4* dispone de una entrada en la que se debe conectar un generador eléctrico de corriente continua de entre 24 y 50 voltios, para lo cual se utilizarán los dos módulos fotovoltaicos incluidos en el kit, y de una salida que se debe conectar a un punto de la red eléctrica convencional de baja tensión, para lo cual se propone la utilización de una toma de corriente (tipo enchufe) ya existente en el lugar de la instalación.

El circuito de entrada del inversor dispone de dos terminales, uno positivo y otro negativo, accesibles exteriormente por medio de los cables unipolares de colores rojo y negro (*), respectivamente, alojados ambos en el interior del cable blanco. Para evitar posibles daños en el inversor y, en cualquier caso, posibilitar su funcionamiento, se debe respetar la polaridad de este circuito. De este modo, el terminal de salida de tensión positiva del generador fotovoltaico se debe conectar al terminal de entrada de tensión positiva del inversor (cable rojo), y el terminal de salida de tensión negativa del generador fotovoltaico se debe conectar al terminal de entrada de tensión negativa del inversor (cable negro). Para evitar posibles confusiones se recomienda marcar los cables rojo y negro del inversor con las identificaciones S+ y S-, respectivamente, ya que así es como se designan los dos terminales de salida general del generador fotovoltaico (en la caja de conexión y medida) a los que se deben conectar.

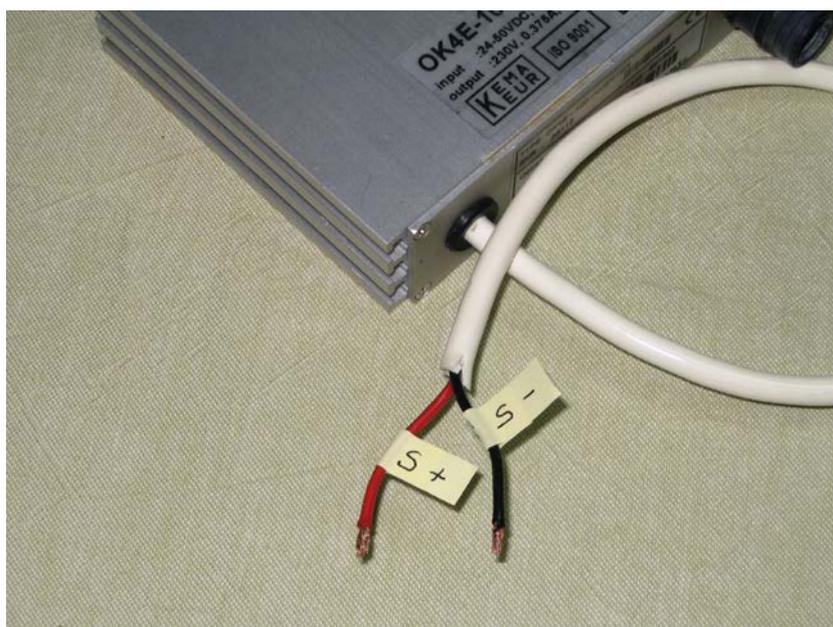


Fig. 5.1. Vista de los cables de entrada del inversor, convenientemente marcados, a los que se conectará la salida del generador fotovoltaico.

El otro cable del inversor, de color negro y bastante más largo que el cable blanco de entrada (*), aloja en su interior cuatro cables unipolares. Dos de ellos, los de colores azul y marrón (*), corresponden a los terminales del circuito de salida del inversor que se conectarán, mediante la clavija de enchufe incluida en el kit, al punto de acceso a la red eléctrica convencional (toma de corriente existente). En este tipo de conexión, la polaridad de los cables es indiferente, de modo que no será necesario marcarlos como se recomendó en el caso de los cables de entrada en corriente continua. Los otros dos cables, de colores violeta y naranja (*), corresponden a los terminales del circuito de monitorización del inversor que se conectarán al dispositivo *OK485* que pueda estar presente en uno de los puertos de comunicaciones del ordenador. En este circuito también se debe respetar la polaridad, de modo que se recomienda marcar los cables de color violeta y naranja del inversor con las identificaciones A y B, respectivamente, ya que así es como se designan los dos terminales del módulo *OK485* a los que se deben conectar. Como el elemento de este módulo donde se conectan los cables es extraíble, se recomienda también marcar los dos terminales del mismo con las identificaciones A y B correspondientes.

(*) Es posible que estos colores sean distintos, dependiendo de la serie de fabricación del inversor.



Fig. 5.2. Vista del cable de salida del inversor y del módulo de comunicaciones OK485. Obsérvense los cables azul y marrón para conexión a la red, conectados ya a la clavija junto con el cable de puesta a tierra, y los cables violeta y naranja, convenientemente marcados, para conexión al módulo de comunicaciones. Obsérvese también el marcado del terminal extraíble de este módulo.

	<i>Rojo y Negro</i>	<i>Azul y Marrón</i>	<i>Violeta y Naranja</i>
Circuito	Entrada	Salida	Monitorización
Conexión	Generador FV (caja)	Red (enchufe)	OK485 en PC
Tensión	24 V CC a 50 V CC	230 V CA	Señal
Polaridad	R con S+ y N con S-	Indiferente	V con A y N con B

Tabla 3. Resumen característico de los cables del inversor OK4.

Módulos fotovoltaicos

Cada uno de los dos módulos fotovoltaicos incluidos en el kit *PVSun* dispone de un cable de color negro donde se alojan los dos conductores unipolares de colores rojo y negro correspondientes a los terminales positivo y negativo, respectivamente, de salida de cada uno de los módulos. Debido a la tensión mínima requerida a la entrada del inversor (24 V), los dos módulos fotovoltaicos se deben conectar en serie, para lo cual se utilizará la caja de conexión y medida incluida en el kit, tal y como se explicará más adelante.

Se recomienda marcar los cables rojo y negro de uno de los paneles con las identificaciones P1+ y P1-, respectivamente, y los del otro panel con P2+ y P2-, respectivamente, ya que así es como se designan los dos terminales de salida de cada uno de los generadores fotovoltaicos (en la caja de conexión y medida) a los que se deben conectar. Estas conexiones no suponen ningún tipo de asociación en serie o paralelo entre los dos módulos. Para ello habrá que utilizar los puentes de conexión externos, incluidos en el kit, tal como se verá más adelante.

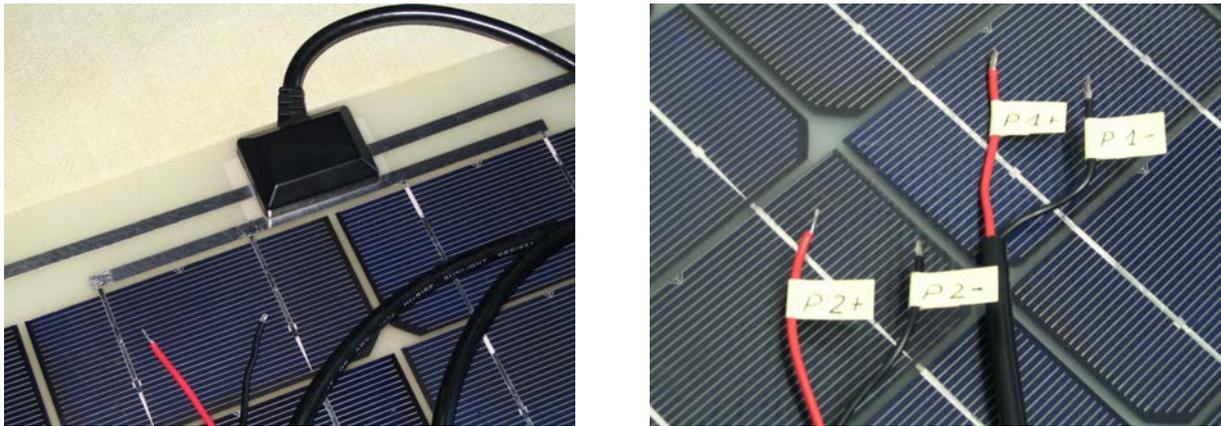


Fig. 5.3. Izquierda: el cable de salida de cada módulo se encuentra integrado en el propio módulo, es decir, las conexiones entre el cable y el módulo no están accesibles. Derecha: vista de los cables positivo y negativo de salida de los módulos fotovoltaicos, convenientemente marcados.

	Rojo y Negro (módulo)	Rojo y Negro (módulo)
Circuito	Salida	Salida
Conexión	Generador FV 1 (caja)	Generador FV 2 (caja)
Tensión	0 V CC - 25 V CC	0 V CC - 25 V CC
Polaridad	R con P1+ y N con P1-	R con P2+ y N con P2-

Tabla 4. Resumen característico de los cables de los módulos fotovoltaicos.

Caja de conexión y medida

Los cables de salida de los módulos fotovoltaicos y los de entrada del inversor se conectan a sus terminales respectivos en la caja de conexión y medida por medio de la regleta o ficha de conexiones alojada en el interior de la misma. Antes de efectuar estas conexiones se recomienda, con más énfasis –si cabe– que en los casos anteriores, marcar los cables que conectan dicha regleta de conexiones y los bornes accesibles en el exterior de la tapa de la caja con las identificaciones correspondientes (P1+, P1-, P2+, P2-, S+ y S-).

Para identificar la correspondencia entre los terminales de la regleta y los bornes exteriores de la tapa, se recomienda hacer uso de la función de medida de continuidad eléctrica disponible en el multímetro incluido en el kit. Para ello, se debe situar el selector central giratorio en la posición adecuada (símbolo de señal acústica y de diodo), el cable negro en el borne común (COM) y el cable rojo en el borne de medida de tensión, resistencia, frecuencia o continuidad (justo al lado del borne común). Con esta disposición y el multímetro encendido, si las puntas de ambos cables se sitúan en dos puntos unidos eléctricamente, sonará un pitido advirtiendo dicha unión. Esto se puede comprobar fácilmente juntando ambas puntas del multímetro de forma que se toquen entre sí.

Dicho esto, para identificar la correspondencia antes mencionada, basta con situar la punta de cualquiera de los cables del multímetro en cada uno de los bornes exteriores de interés, e ir situando la punta del otro cable del mismo en un terminal diferente de la regleta interior hasta que suene el pitido. Se recomienda marcar los cables a medida que éstos se van identificando. Lo más probable es que el cableado interior de la caja de conexión y medida realizado en fábrica corresponda a la identificación mostrada en la figura 5.5 (derecha), de modo que el proceso de identificación con el multímetro, antes mencionado, podría limitarse, en principio, a comprobar la correspondencia mostrada en dicha figura.

La identificación a simple vista, siguiendo el recorrido de los cables, podría provocar errores de polaridad durante el conexionado y el consiguiente daño del inversor. Para facilitar las tareas de identificación y conexión en la regleta interior, ésta se puede liberar de los tornillos que la mantienen unida a la base de la caja. Las conexiones de los cables externos se deberían realizar en los terminales libres de la regleta, es decir, en aquellos donde no esté conectado ningún cable que una algún borne exterior de la tapa con la regleta interior. De este modo, la conexión y desconexión de los paneles fotovoltaicos y del inversor se pueden realizar sin necesidad de manipular el conexionado entre la regleta y los bornes exteriores de la caja.



Fig. 5.4. Vista del interior de la caja de conexión y medida. Obsérvanse los cables que unen los bornes exteriores de la tapa de la caja con la regleta interior de conexiones, donde se conectarán los módulos fotovoltaicos y el inversor.



Fig. 5.5. Izquierda: proceso de identificación de uno de los terminales de la regleta con ayuda del multímetro. Obsérvase el símbolo de señal acústica en la parte inferior izquierda de la pantalla del multímetro indicando contacto eléctrico entre el borne exterior de la tapa y el terminal de la regleta. Derecha: identificación y marcado completo de los terminales de la regleta interior de la caja.

Realización práctica de las conexiones

Un conexionado eléctrico correcto, seguro y fiable requiere, además de una adecuada identificación, una buena preparación del cableado y una cuidadosa realización. Esto último es especialmente cierto cuando se utilizan herramientas y elementos o técnicas de conexión simples o, si se prefiere, poco fiables de por sí. Para realizar el conexionado eléctrico de este kit, es necesario pelar cables de diferente sección y manejar terminales de conexión atornillados de diferente tamaño.

El pelado de un cable consiste en retirar un trozo de su funda de protección externa para poder acceder, bien a otros cables, o a los hilos conductores internos. En esta operación no se debe dañar la funda exterior de los cables internos ni sus hilos conductores. La eliminación no intencionada de parte de la funda exterior de un cable puede provocar el contacto eléctrico accidental durante su manejo, o un cortocircuito con otro cable contiguo cuya funda también se haya deteriorado. Por otro lado, la eliminación de parte de los hilos conductores durante la operación de pelado puede ocasionar una disminución significativa de la capacidad de manejo de corriente del cable en el punto de conexión, así como una disminución de la resistencia mecánica de dicha conexión, que podría llegar a soltarse.

Estas observaciones son especialmente importantes y deben seguirse con más atención, si cabe, en el caso de la colocación de la clavija de enchufe en el cable de salida del inversor. Como se ha visto, este cable aloja los conductores que se conectarán a la red eléctrica convencional de baja tensión. Cualquier deterioro en la funda de protección de estos conductores, así como una mala realización del conexionado interior de la clavija, pueden provocar accidentes eléctricos graves por contacto no intencionado con partes bajo tensión peligrosa, o por cortocircuito.



Fig. 5.6. En la operación de pelado de un cable se debe prestar especial atención a no deteriorar la funda protectora de los cables interiores ni sus hilos conductores. Siempre es recomendable utilizar herramientas adecuadas (profesionales), como los alicates de la derecha, antes que otras de uso convencional, como las tijeras. En este último caso se requiere más práctica y cuidado para efectuar la operación correctamente.

En este kit, la práctica totalidad de las conexiones se realizarán insertando los hilos conductores de los cables en sus terminales correspondientes, donde quedarán sujetos por efecto de la presión ejercida por el tornillo de apriete del terminal. Las buenas prácticas de la electricidad básica relativas a este tipo de conexión aconsejan lo siguiente:

- La sección del cable debe ser la adecuada para el tamaño del terminal. Una sección excesivamente pequeña, o grande, no permite una conexión plena y firme.
- El tornillo de apriete debe presionar sólo a los hilos conductores, no a la funda exterior, y sin provocar la rotura parcial de los mismos. Un apriete excesivo puede ser causa de una rotura inadvertida de los hilos conductores y dar la falsa impresión de una buena conexión.

- Los hilos conductores deben quedar ocultos por completo en el interior del terminal, evitando así el contacto eléctrico accidental durante su manipulación.
- La fuerza de sujeción de los hilos conductores puede ser mayor si éstos no se retuercen entre sí, ya que de esta forma existe más superficie de contacto entre el tornillo y los mismos.
- Una vez realizada la conexión, ésta se debería comprobar dando pequeños tirones sobre el cable para comprobar su firmeza y estabilidad.



Fig. 5.7. Izquierda: operación de apriete de un terminal de conexión de tipo atornillado. Obsérvese cómo los hilos conductores quedan alojados por completo en el interior del terminal. Derecha: vista del buen estado en que han quedado los hilos conductores y la funda protectora del cable azul, una vez realizada la conexión. Obsérvese el aplastamiento de todos los hilos conductores de este cable, indicador de una conexión segura y fiable.

Conviene señalar que existen dos modelos diferentes de inversor *OK4* que pueden formar parte de este kit, cuya única diferencia es el tipo de conexión entre el propio inversor y el cable de salida (para conexión a red y monitorización). Un modelo dispone de un conector exterior accesible que permite la conexión y desconexión de este cable al inversor, mientras que en el otro modelo esta conexión es interna, es decir, el cable está integrado en el propio inversor, al igual que sucede con el cable de entrada de corriente continua (en los dos modelos por igual). En el primer caso, el cable de salida se suministra separado del inversor, pero su conexión se debe considerar permanente, es decir, una vez conectado este cable, se debe evitar su desconexión posterior. Si no se respeta esta consideración y el cable se somete a sucesivas conexiones y desconexiones, el terminal de conexión puede resultar seriamente dañado. Para asegurar esta conexión permanente de forma firme y duradera se debe colocar correctamente la abrazadera amarilla suministrada con el cable, apretándola fuertemente sobre éste con ayuda de la brida también suministrada con el kit, tal como se mostrará más adelante.

Como se ha explicado ya con anterioridad, para la realización de la asociación en serie de los dos módulos fotovoltaicos se hará uso de los puentes externos de conexión y los bornes dispuestos a tal efecto en el exterior de la tapa de la caja de conexión y medida. En el diagrama rotulado en el exterior de esta tapa se pueden distinguir tres tipos de indicaciones: las correspondientes a los terminales de la regleta interior de conexiones (P1+, P1-, P2+, P2-, S+ y S-), las correspondientes a los puntos de medida (V+, V-, A+ y A-) y las correspondientes a la asociación serie y paralelo de los módulos fotovoltaicos (12 V y 24 V). Las líneas rectas rotuladas indican la conexión eléctrica establecida permanentemente entre los puntos que las unen (conexiones entre bornes solamente, o entre bornes y terminales de la regleta interior), mientras que las líneas quebradas indican que para establecer una conexión eléctrica entre los puntos que las unen es necesario colocar un puente de conexión externo.

Dicho lo anterior, se comprenderá fácilmente que para realizar la asociación en serie de los dos módulos fotovoltaicos basta con colocar un puente de conexión externo entre los bornes con la indicación de 24 V, cuya función no es otra que unir el terminal positivo de un módulo con el terminal negativo del otro, tal como se puede apreciar por las indicaciones correspondientes a los terminales de la regleta interior. Por otro lado, la asociación en paralelo de los dos módulos fotovoltaicos requiere la utilización de dos puentes de conexión externos colocados entre los bornes con las indicaciones de 12 V, cuyo efecto no es otro que unir entre sí los terminales del mismo signo de los dos módulos. Obviamente, esta asociación en paralelo sólo tiene sentido a efectos de práctica y experimentación, ya que el funcionamiento del inversor requiere al menos 24 V en su entrada y esto sólo se puede lograr conectando en serie los dos módulos fotovoltaicos incluidos en el kit.



Fig. 5.8. Vista exterior de la caja de conexión y medida y de uno de los puentes de conexión externos. Obsérvese detenidamente la rotulación de la tapa y sus bornes de conexión. Todos estos bornes tienen su terminal correspondiente en la regleta interior de conexiones. Como se puede apreciar, los bornes P1+, V+ y S+ están unidos eléctricamente entre sí (línea recta rotulada), de modo que les corresponde un mismo terminal de la regleta interior. Sin embargo, para los terminales P2-, V- y S-, lo anterior sólo es cierto si se coloca un puente externo de conexión entre A+ y A-, tal como se ha explicado en el texto. Obsérvese igualmente cómo para realizar la asociación en serie o en paralelo de los módulos fotovoltaicos basta con colocar los puentes externos de conexión en los bornes correspondientes a los terminales positivo y negativo de los módulos, como también se ha indicado en el texto. En la imagen se pueden apreciar también dos de los tres accesorios pasa-cables a través de los cuales se conducirán los cables de los módulos fotovoltaicos y el cable de entrada del inversor hasta la regleta interior de conexiones. Los cuatros elementos ranurados dispuestos en las esquinas de la tapa permiten fijarla a la caja girándolos hasta la posición "1". Para quitar la tapa y así poder acceder al interior de la caja se deben girar dichos elementos hasta la posición "0".

El otro puente de conexión externo previsto en la tapa de la caja de conexión y medida es el que une las indicaciones A+ y A-. Como ya se ha dicho, si no se coloca este puente, esos dos puntos no estarán unidos eléctricamente y el circuito del generador fotovoltaico tendrá su línea negativa cortada, impidiendo así la alimentación eléctrica en corriente continua necesaria para el inversor y, con ello, su funcionamiento. El motivo de facilitar esta interrupción momentánea del circuito (retirando el puente de conexión externo) es poder colocar entre ambos puntos las sondas del multímetro para volver a restablecer el paso de la corriente y medir su intensidad, como se verá más adelante en este manual.

La operación de retirar o desconectar un puente de conexión externo se debe realizar agarrando éste por la funda plástica del conector metálico, ya que si se tira con fuerza del cable, éste podría soltarse de su conector y el puente quedaría inutilizado.

Montaje

Con lo explicado hasta ahora es suficiente para saber interconectar entre sí todos los elementos que forman parte del kit y permitir su correcto funcionamiento. No obstante, el montaje completo del mismo, entendido como la ubicación, sujeción, cableado y realización de pruebas de funcionamiento, requiere tener en consideración algunas indicaciones, recomendaciones y sugerencias que pueden resultar de gran ayuda y utilidad práctica. Nuevamente, y por consideraciones didácticas, se ha preferido abordar en primer lugar los temas relativos al cableado y la realización de pruebas de funcionamiento.

Cableado

Una vez establecida la ubicación definitiva de los elementos del kit (módulos, caja e inversor), así como la del enchufe de conexión a red y la del ordenador (PC) que se utilizará para llevar a cabo la monitorización, se puede proceder a disponer los cables y realizar las conexiones ya descritas en este capítulo.

La caja de conexión y medida está provista de tres accesorios pasa-cables, por donde se deben introducir el cable bipolar negro de salida de cada uno de los módulos fotovoltaicos y el cable bipolar blanco de entrada del inversor. Para introducir estos cables es necesario aflojar previamente los tapones de apriete de los pasa-cables. Como la caja dispone en su interior de espacio suficiente, no se recomienda acortar ninguno de los cables antes mencionados, siendo preferible alojar el posible sobrante en el interior de la misma.

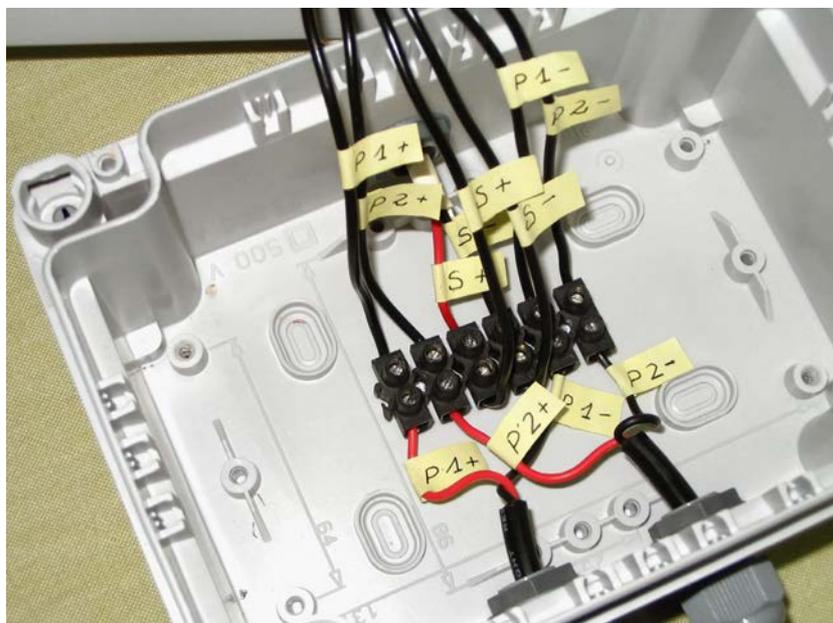


Fig. 5.9. Vista de los cables de los módulos y del cable de entrada del inversor conectados a la regleta interior de conexiones en la caja. Obsérvese cómo estos cables se han conectado en los terminales libres de la regleta, y cómo se han interconectado los cables con la misma marca identificativa.

Una vez efectuadas las conexiones en la regleta interior, se deben apretar adecuadamente los pasacables. La función de este apriete es evitar que los tirones fortuitos que puedan sufrir los cables provoquen que las conexiones de la regleta se aflojen o se suelten. De nuevo, para comprobar el apriete de los pasacables se pueden dar pequeños tirones a los cables y asegurarse de que éstos no se mueven.



Fig. 5.10. Si además de aflojar el tapón del pasacables éste se retira, es frecuente olvidarse de introducir el cable por el tapón antes que por el pasacables. Téngase en cuenta que el efecto de prensado o apriete del cable en el pasacables se debe al roscado adecuado del tapón, por lo que su colocación es imprescindible.

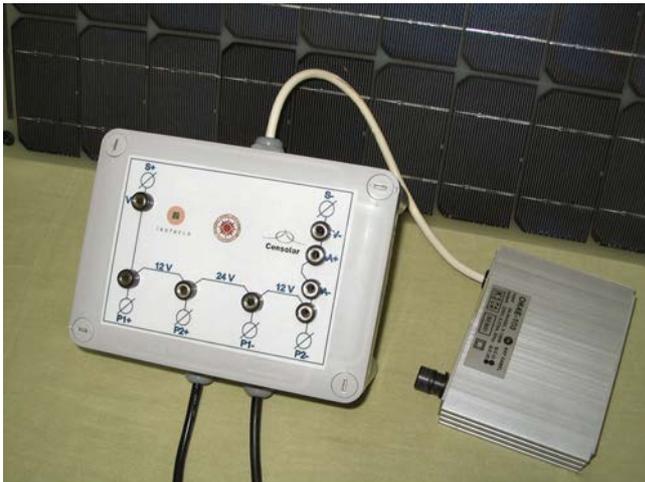


Fig. 5.11. Vista exterior de los cables de los módulos fotovoltaicos y del cable de entrada del inversor conducidos hacia el interior de la caja de conexión y medida a través de sus pasacables correspondientes.

Como ya se ha indicado, los cables de conexión a red y de conexión al ordenador se alojan en el mismo cable de salida del inversor. Esto dificulta en cierta medida dichas conexiones ya que, por un lado, dos de estos cables (azul y marrón) (*) se deben conectar a una base de enchufe por medio de la clavija suministrada en el kit y, por otro lado, los otros dos cables (violeta y naranja) (*) lo harán al módulo de comunicación *OK485* conectado al ordenador. La conexión de los cables en la clavija de enchufe y la posible separación física existente entre el módulo de comunicación y la base de enchufe impide que la realización de ambas conexiones (clavija y módulo de comunicación) se pueda realizar con el cable de salida del inversor tal y como se suministra en el kit. Será necesario, pues, manipular de algún modo este cable y, si acaso, realizar una conexión intermedia adicional.

* Es posible que estos colores sean distintos, dependiendo de la serie de fabricación del inversor.

La manipulación que aquí se sugiere consiste en hacer un pequeño corte longitudinal en la funda exterior del cable de salida del inversor, para disponer así de tramos sueltos de los cables interiores de mayor longitud. Esta longitud deberá ser, al menos, la necesaria para poder introducir y conectar con comodidad los cables de corriente alterna en la clavija de enchufe. Si esta longitud no es suficiente para que los cables de monitorización alcancen el módulo *OK485* conectado al ordenador, se pueden prolongar los mismos haciendo uso de la ficha de conexiones incluida en el kit y un par de cables con longitud suficiente y de características similares a los primeros (figura 5.2).

Salvo que la separación física existente entre el inversor y la base de enchufe sea más grande que la longitud del cable de salida del inversor, no se recomienda realizar prolongaciones en los cables de conexión a red (azul y marrón). De ser inevitable, estas prolongaciones se deben realizar observando escrupulosamente las medidas de seguridad exigidas en estos casos, como son el evitar la posibilidad de contacto eléctrico fortuito y los cortocircuitos debidos, por ejemplo, a la entrada de agua en los terminales.



Fig. 5.12. Secuencia de preparación del cable de salida del inversor OK4. Tras realizar un pequeño corte longitudinal en la funda protectora exterior del cable (imagen superior), se puede romper y retirar fácilmente dicha funda sin más que tirar a la vez de los cables interiores y de ésta (imagen central). Esta separación de la funda debe dejar accesibles los cables de conexión a red, con una longitud que permita conectar con facilidad la clavija de enchufe. En la imagen inferior se aprecia cómo el trozo de funda retirada aún no es suficiente para permitir dicho conexionado.

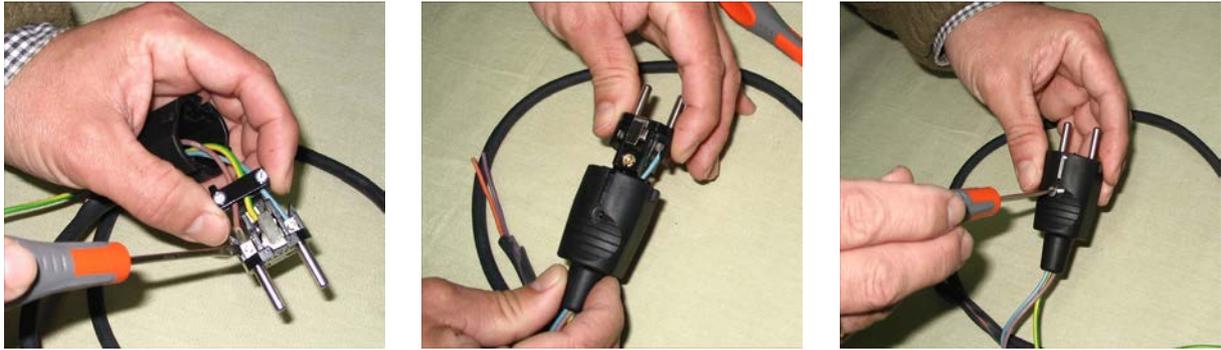


Fig. 5.13. Preparación de la clavija de conexión a red. Los cables de conexión a red (azul y marrón) se pasan primero junto con el cable de puesta a tierra (verde y amarillo) por la funda exterior de la clavija y por el pasa-cables de ésta. Cada cable se atornilla a su terminal correspondiente en la clavija (azul y marrón en cualquiera de los terminales de los extremos; verde y amarillo en el terminal central). Hecho esto, se aprieta el pasa-cables y se coloca de nuevo la funda exterior de la clavija, prestando atención a que los orificios de paso del tornillo de apriete, en la funda y la clavija, queden enfrentados. Para finalizar el montaje de la clavija, se insertará el tornillo y se apretará convenientemente.



Fig. 5.14. Acoplamiento entre el inversor y la placa de sujeción. La placa de sujeción dispone de dos terminaciones (a modo de gancho) que se pueden introducir en cualquiera de las tres ranuras laterales del inversor (imagen superior izquierda). Hecho lo anterior, la placa puede pivotar sobre estos ganchos, permitiendo que el orificio abierto para el tornillo se pueda situar en las ranuras del lado opuesto del inversor (imagen superior derecha). Colocada ya la placa en su posición final, el tornillo se pasa por la ranura correspondiente del inversor con su lado roscado hacia fuera, permitiendo así la colocación de una tuerca que mantendrá unidos el inversor y la placa (imagen inferior izquierda).

Como medida de protección, en este caso redundante o adicional, contra un posible defecto interno del inversor que pudiese provocar un contacto eléctrico entre un conductor de red y la carcasa exterior metálica, el usuario puede efectuar la puesta a tierra de dicha carcasa. Para ello bastará con conectar, mediante el cable unipolar de color verde-amarillo suministrado con el kit, la carcasa del inversor *OK4* al terminal de puesta a tierra de la clavija de enchufe. Como es lógico, para que esta puesta a tierra tenga lugar es necesario que la base de enchufe donde se conecte el inversor a la red disponga de este terminal (además de los dos correspondientes a las conexiones de los conductores de fase y neutro). Asimismo, para que la protección sea efectiva, es necesario que el circuito eléctrico al que pertenezca la base de enchufe disponga de un elemento de protección automática adecuado (interruptor diferencial, por ejemplo), de forma que se pueda dejar sin tensión a la base de enchufe, y por ende a la carcasa, en caso de aparición del mencionado defecto. La conexión entre el cable de puesta a tierra y la carcasa del inversor *OK4* se puede realizar con ayuda del tornillo y la tuerca de fijación del inversor a la placa, incluidos para ello en el kit.

Antes de pasar a describir cómo se puede realizar la conexión entre la carcasa del inversor y el cable de puesta a tierra, conviene detenerse brevemente en la operación de acoplamiento entre el inversor y la placa de sujeción, cuya explicación se detalla en la figura 5.14 (página anterior).

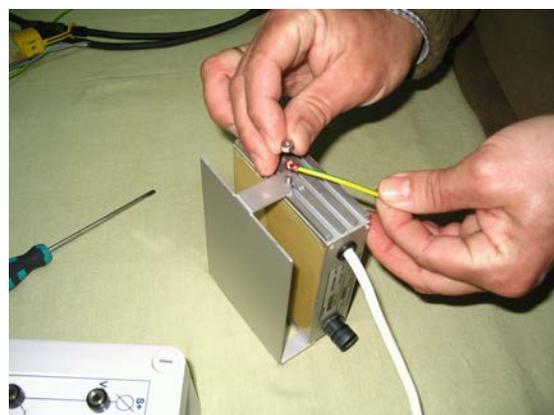
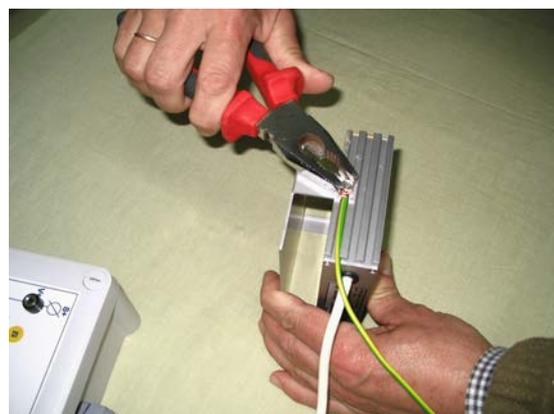


Fig. 5.15. Conexión entre el cable de puesta a tierra y la carcasa del inversor. Para poder fijar el cable de puesta a tierra a la carcasa del inversor, se procede a realizar un terminal en forma de anillo con los hilos conductores de dicho cable, para lo cual se puede echar mano de un destornillador, tal como se muestra en la imagen superior. El terminal así formado con los hilos conductores se coloca en la parte roscada del tornillo de la placa, quedando posteriormente sujeto a la misma debido a la presión de la tuerca (imagen central). Para asegurar la conexión, se apretará convenientemente la tuerca, teniendo cuidado de no deformar los hilos conductores y de que exista un buen contacto entre éstos, la placa y la propia tuerca (imagen inferior).



El cable de salida del inversor *OK4* dispone de un conector de cuatro polos en uno de sus extremos, que sólo admite una posición para su conexión con el conector presente en el inversor. Como ya se ha mencionado antes, la conexión entre el inversor y su cable de salida se debe considerar como permanente, por lo que se ha de asegurar con la abrazadera existente en el propio cable y con su apriete correspondiente.

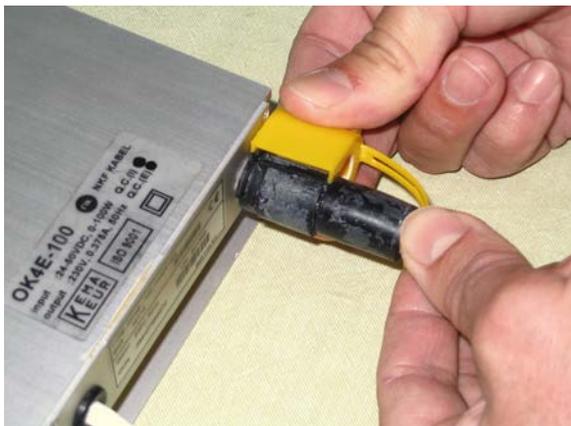
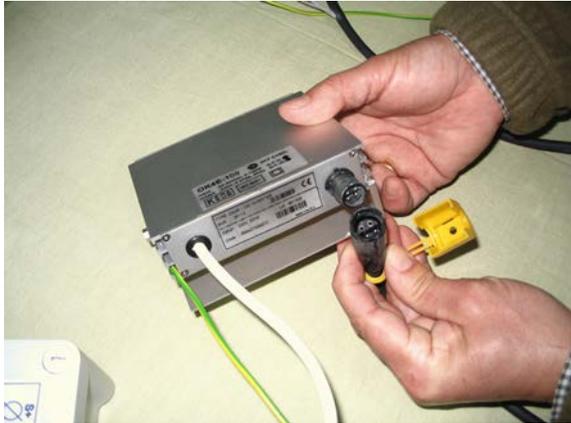
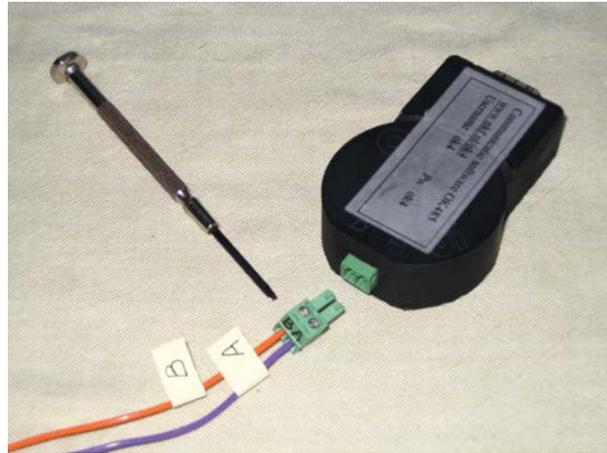


Fig. 5.16. Conexión entre el inversor y su cable de salida. Los conectores de cuatro polos sólo admiten una posición para su conexión, lo cual evita cualquier posible confusión (imagen superior). Una vez insertado el cable a fondo, la conexión se debe asegurar colocando la abrazadera tal como se muestra en la imagen del centro. Para finalizar, se pasa la brida plástica que se incluye con el kit por la ranura de la abrazadera y se procede a apretarla convenientemente (imagen inferior).

Otra operación que requiere especial cuidado en su realización es la conexión de los cables de monitorización en el conector del módulo de comunicaciones *OK485*. Dicho conector dispone de dos terminales con tornillos pequeños para cuyo apriete será necesario utilizar un destornillador de tipo de relojero. Durante este apriete se debe evitar presionar en exceso los tornillos, ya que éstos podrían hundirse en los terminales y el conector quedaría inutilizado.



*Fig. 5.17. Conexión de los cables de monitorización en el terminal del módulo *OK485*. Obsérvese el destornillador utilizado en este caso y el marcado de los cables y del conector.*

Con esto finalizan las operaciones básicas de cableado necesarias para que el kit *PVSun* quede operativo. El resultado se puede apreciar en la figura 5.18.



*Fig. 5.18. Vista general de los elementos del kit *PVSun* convenientemente interconectados. Obsérvese la conexión del módulo de comunicaciones *OK485* al ordenador, cuyo detalle se muestra en la figura 5.19.*



Fig. 5.19. Vista en detalle de la conexión del módulo de comunicaciones OK485 a un puerto serie del ordenador, en este caso el COM2. Si el ordenador no dispone de puerto serie, puede probarse con un adaptador-conversor USB-serie.

Para concluir, conviene hacer alusión, una vez más, a las buenas prácticas de la electricidad básica y recomendar que el tendido del cableado se lleve a cabo teniendo en cuenta las consideraciones de orden y estética que deben acompañar siempre a este tipo de trabajos. En este sentido, los cables no deberían quedar sueltos en su trazado entre los distintos componentes del kit, habiendo de efectuarse dicho trazado siguiendo las líneas marcadas por los elementos constructivos y el mobiliario existente, permaneciendo oculto a la vista allí donde sea posible. Es evidente que en un cableado de tipo funcional o práctico como el mostrado en la figura 5.18, las consideraciones anteriores son de menor importancia, alcanzando cierta relevancia en aquellos casos en los que los distintos elementos que componen el kit se encuentran separados una distancia considerable y las longitudes de los cables son mayores.

Ubicación

La elección del lugar donde se colocarán los elementos del kit está condicionada en gran medida por la necesidad, por un lado, de colocar los módulos fotovoltaicos de forma que se maximice la exposición y la captación solar, y por otro lado, de disponer de una toma de corriente donde conectar la salida del inversor. Si a estos dos condicionantes se añade la limitación propia impuesta por la longitud de los cables suministrados, no es de extrañar que el usuario se pueda ver en la necesidad de recurrir a soluciones especiales de montaje, o a practicar conexiones entre cables, a modo de prolongaciones, no anticipadas en este manual.

Dado el carácter eminentemente práctico y de experimentación del kit *PVSun*, se recomienda ubicar los módulos fotovoltaicos en un lugar de fácil acceso, y de forma que se puedan desmontar sin problema, permitiendo así su manejo y manipulación.

Con respecto a la caja de conexión y medida, ésta se debe colocar en algún lugar resguardado del agua, habida cuenta de su falta de protección ya mencionada. La recomendación anterior sobre la accesibilidad de los módulos fotovoltaicos es igualmente aplicable a esta caja, lo cual facilitará la realización de medidas y la experimentación práctica.

En cuanto al inversor, su ubicación se puede establecer tanto en el exterior (a la intemperie) como en el interior, siempre y cuando se permita la circulación natural del aire a su alrededor para que tenga lugar la conveniente disipación térmica. Dada la poca potencia del generador fotovoltaico incluido en el kit, el inversor *OK4* no experimentará un calentamiento excesivo, pero su ventilación natural sigue siendo igualmente aconsejable. En este sentido, se recomienda también evitar la colocación del inversor en un lugar expuesto directamente a los rayos solares.

Sujeción

La caja de conexión y medida dispone de unos orificios practicados en las cuatro esquinas de su parte posterior. Se puede hacer uso de estos orificios para fijar la caja a una superficie de apoyo por medio de tornillos y tacos de sujeción. Antes de taladrar dicha superficie se recomienda situar la caja en la posición prevista y marcar los puntos donde se realizarán los taladros. Para ello se puede sujetar la caja con una mano y, con la otra, pasar un lápiz a través de los orificios de las esquinas para dejar las marcas correspondientes en la superficie de apoyo. Una vez hechas las marcas, se puede retirar la caja y efectuar los taladros correspondientes.



Fig. 5.20. Sujeción de la caja de conexión y medida a una superficie de apoyo. Una vez marcada la posición de los taladros y realizados éstos, la caja se fija a la pared por medio de los tornillos introducidos a través de los orificios existentes en la parte posterior de la caja.

Observará el usuario que la regleta interior de la caja de conexión y medida se suministra atornillada desde el exterior de la misma. Una vez fijada la caja a la superficie de apoyo, estos tornillos podrían quedar inaccesibles, impidiendo que la regleta se pueda soltar. Así pues, si se prevé la necesidad de soltar la regleta para facilitar la tarea del conexionado, los tornillos que la sujetan se deben quitar antes de que éstos queden inaccesibles.

El pequeño peso y tamaño del inversor *OK4* facilita en gran medida su montaje, siendo su sujeción algo no estrictamente necesario, de manera que su colocación se puede reducir a apoyarlo sobre un estante, mesa o similar. En caso de que sea necesario sujetarlo a una superficie de apoyo, se recomienda hacer uso de la placa de montaje incluida a tal efecto en el kit. El inversor se puede colocar, fijar y quitar fácilmente de la placa, siendo ésta el elemento que en última instancia quedará sujeto a la superficie de apoyo en cuestión.

Hay diversas formas de llevar a cabo esta sujeción en la práctica, no siendo recomendables aquellas que supongan realizar algún tipo de perforación o deformación en la placa de montaje. Una forma sencilla, y a la vez eficaz, consiste en sujetar la placa en la superficie de apoyo por medio de tornillos y arandelas. Los taladros correspondientes en la superficie de apoyo se deben realizar de forma que la placa no impida la introducción de los tornillos por los orificios practicados, permitiendo, a su vez, que la arandela colocada entre la cabeza del tornillo y la placa de fijación ejerza sobre ésta la presión adecuada. De nuevo se recomienda aquí marcar previamente la posición donde irán los tornillos, teniendo muy en cuenta que si se colocan demasiado cerca del perímetro de la placa, ésta impedirá la introducción de los mismos, mientras que si se colocan demasiado separados, puede que entre la placa y las arandelas no haya el contacto suficiente para ejercer la presión necesaria.

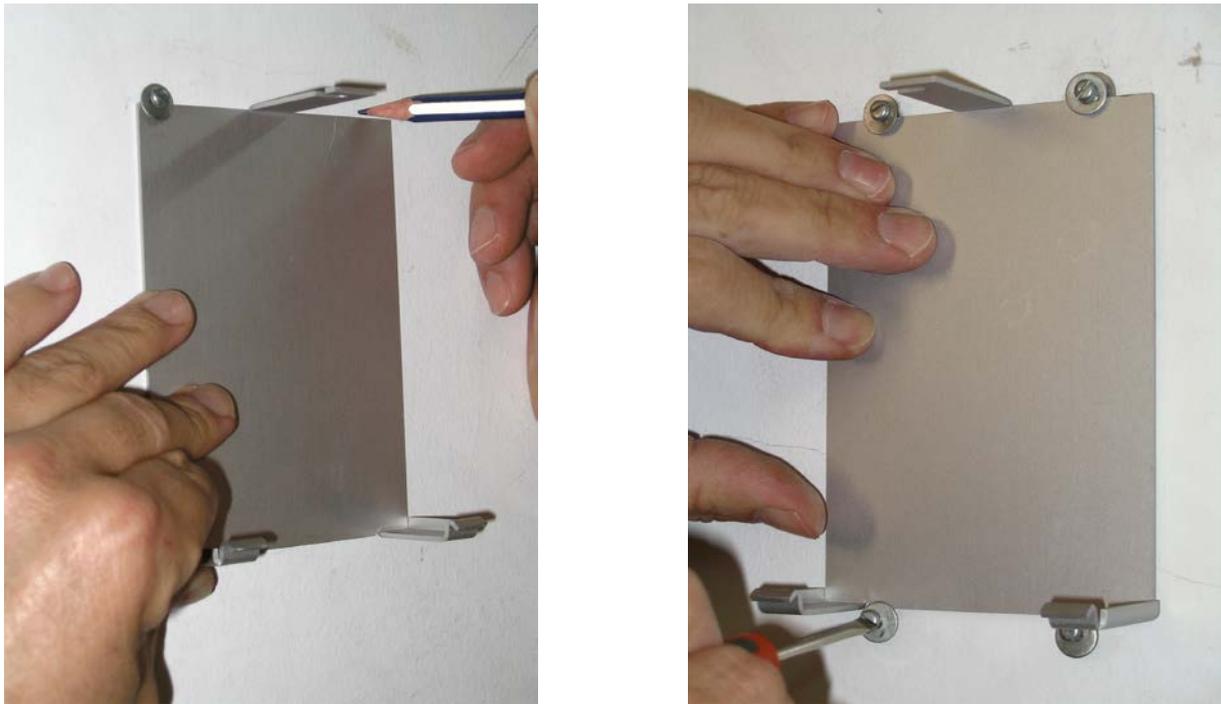


Fig. 5.21. Sujeción de la placa a una superficie de apoyo. Para asegurarse de que los taladros se realizarán a la distancia adecuada de la placa, se puede proceder colocando un primer tornillo y, situando la placa bajo la arandela, observar así la separación que debe quedar entre los taladros restantes y el perímetro de la placa.

La sujeción de los módulos fotovoltaicos se puede llevar a cabo utilizando los orificios practicados en las cuatro esquinas de los mismos y algún elemento de agarre, como un cable resistente, un alambre, unas bridas de plástico, etc. La función principal que debe cumplir esta sujeción es evitar que los módulos se caigan o se golpeen contra el elemento que sirve de apoyo, debido principalmente a la acción adversa del viento. Como ya se ha dicho, esta sujeción, aun siendo firme y segura, debería permitir el desmontaje sin dificultad de los módulos y, de ser posible, la modificación de su posición.

A pesar de la aparente flexibilidad de los módulos fotovoltaicos incluidos en el kit, éstos deberán colocarse evitando el combado de su superficie y la aparición de esfuerzos mecánicos debidos, por ejemplo, a un apriete excesivo de los elementos de sujeción. Asimismo, es absolutamente desaconsejable practicar nuevos orificios en los módulos, ya que esta operación podría dañar permanentemente el circuito interno de las células fotovoltaicas e inutilizar el módulo completo. Tampoco se recomienda la utilización de colas o pegamentos como método de sujeción de los módulos, por lo poco fiable que podría resultar la operación de pegado o, en cualquier caso, por dificultar futuras manipulaciones de los mismos.

En las figuras 5.22 a 5.26 se muestran algunas soluciones prácticas propuestas para la colocación de los módulos fotovoltaicos

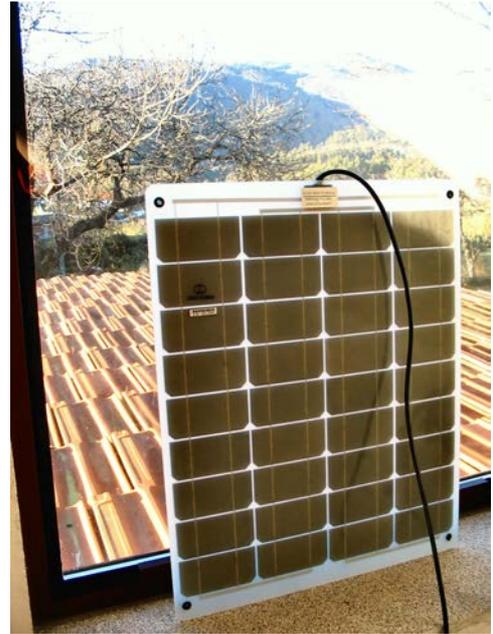


Fig. 5.22. Una de las formas más sencillas de colocar el módulo consiste en apoyarlo directamente sobre la parte interior de una superficie acristalada. De esta manera, el módulo queda muy accesible y se facilita su manipulación.



Fig. 5.23. Solución de montaje consistente en colgar el módulo en un elemento de anclaje que se hace pasar por los orificios existentes en las esquinas del propio módulo.



Fig. 5.24. La fijación del módulo sobre un tejado se puede resolver haciendo pasar un alambre por entre las tejas y doblando las puntas en los orificios del módulo.

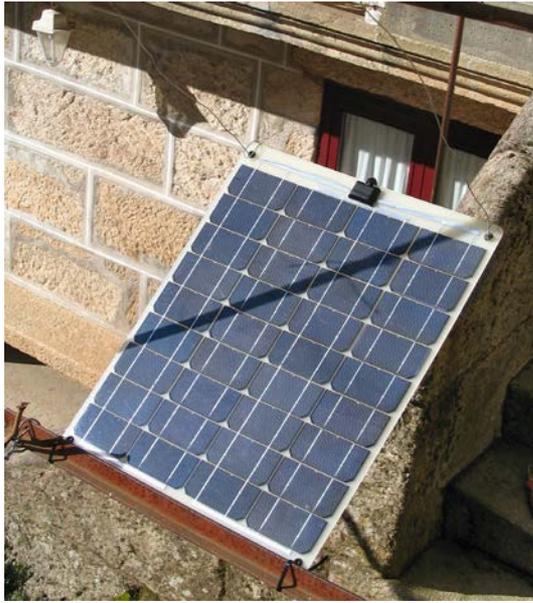


Fig. 5.25. La solución mostrada en estas imágenes permite modificar fácilmente la inclinación del módulo, deslizándolo por los alambres que pasan por sus orificios superiores. Obsérvese la utilización de las bridas de plástico para sujetar la parte inferior del módulo.



Fig. 5.26. Otra posibilidad consiste en emplear perfiles metálicos planos normalizados, habitualmente disponibles en tiendas especializadas y grandes superficies comerciales, para formar una sencilla estructura soporte cuya fijación se puede llevar a cabo utilizando métodos convencionales. Obsérvese nuevamente la utilización de las bridas de plástico para sujetar, en este caso, los perfiles metálicos al módulo.

Pruebas de funcionamiento

Para concluir este capítulo del manual dedicado a la instalación y el montaje del kit *PVSun*, se describen a continuación una serie de experimentaciones prácticas que pueden servir como pruebas de funcionamiento y puesta en marcha del sistema fotovoltaico conectado a red.

En la figura 5.27 se muestra la medición de la tensión a circuito abierto del generador fotovoltaico. Como se puede apreciar en esta figura, cuando el sol incide sobre los módulos, esta tensión alcanza un valor en torno a los 37 voltios. Obsérvese el puente de conexión externo colocado de forma que los módulos fotovoltaicos queden asociados en serie. Como en el caso mostrado se han utilizado los bornes principales de salida del generador fotovoltaico (S+ y S-) para medir la tensión del generador, es necesario colocar también el puente de conexión que une los bornes A+ y A-, ya que, de otro modo, el borne S- no estaría en contacto eléctrico con el circuito del generador y la medición sería incorrecta. Obsérvese también cómo la clavija de conexión a red no está conectada a la base de enchufe; si lo estuviera, el inversor entregaría corriente a la red y la tensión medida no sería la de circuito abierto, sino la del punto de máxima potencia, tal como se puede apreciar en la figura 5.28. Esta medición de la tensión a circuito abierto del generador fotovoltaico también se podría realizar situando las sondas del multímetro en los bornes P1+ y P2- y conectando únicamente el puente externo de asociación en serie de los módulos.



Fig. 5.27. Medición de la tensión a circuito abierto del generador fotovoltaico.



Fig. 5.28. Cuando el inversor está entregando corriente a la red, la tensión en bornes del generador fotovoltaico es inferior a la de circuito abierto y próxima al valor correspondiente al punto de máxima potencia, como corresponde al funcionamiento interno del inversor.

Para medir la corriente entregada por el generador fotovoltaico, es necesario retirar el puente externo de conexión entre los bornes A+ y A- y situar en ellos las sondas del multímetro preparado para medir corriente continua, tal como se muestra en la figura 5.30. Recuérdese que para retirar un puente de conexión se debe agarrar el mismo por la funda plástica del conector metálico, tal como se muestra en la figura 5.29.



Fig. 5.29. Modo correcto de retirar un puente de conexión, agarrándolo por la funda plástica del conector metálico.

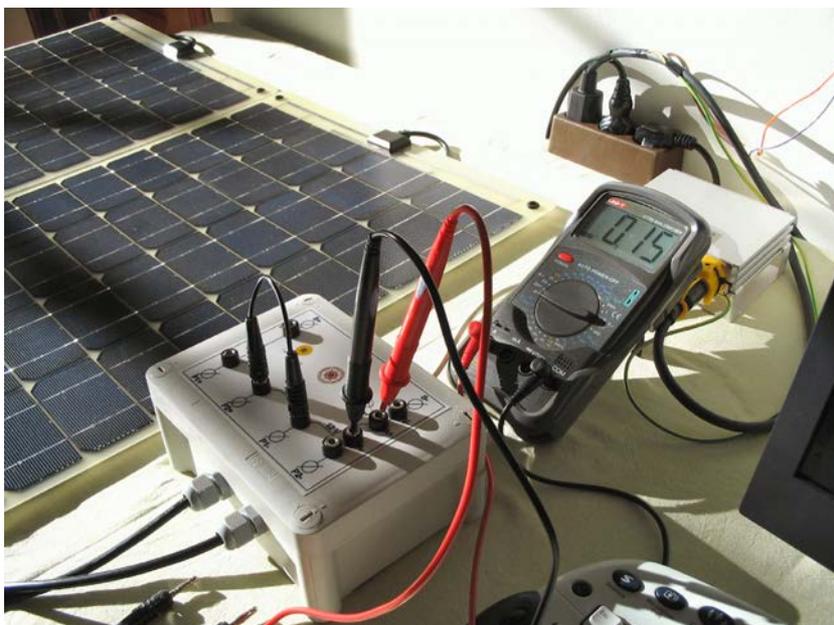


Fig. 5.30. Medición de la corriente entregada por el generador fotovoltaico. Obsérvese dónde se deben situar las sondas del multímetro, tanto en la caja de conexión y medida como en el propio multímetro, y cómo el inversor debe estar conectado a la red.

6

Programa informático *PVMeter*

Como ya se ha explicado con anterioridad, una de las funciones integradas en el inversor *OK4* incluido en el kit es la de comunicación con un ordenador personal (PC) para la monitorización de los parámetros de funcionamiento más relevantes de la instalación fotovoltaica conectada a la red. Esta comunicación tiene lugar a través del puerto serie del ordenador donde se encuentre conectado el dispositivo externo *OK485*, tal como se explicó en el apartado correspondiente del capítulo de instalación y montaje de este manual.

El programa informático *PVMeter* constituye una interfaz gráfica de usuario mediante la cual es posible llevar a cabo de forma cómoda y sencilla la monitorización y el registro de operación de la instalación fotovoltaica. El programa consiste únicamente en el archivo ejecutable *PVMeter.exe*, y requiere el sistema operativo Windows 98, o posterior, para su correcto funcionamiento.

El programa no requiere un proceso de instalación previo a su ejecución. Basta tan sólo con copiar el archivo ejecutable antes mencionados en un lugar del disco duro del ordenador y abrir dicho archivo directamente.

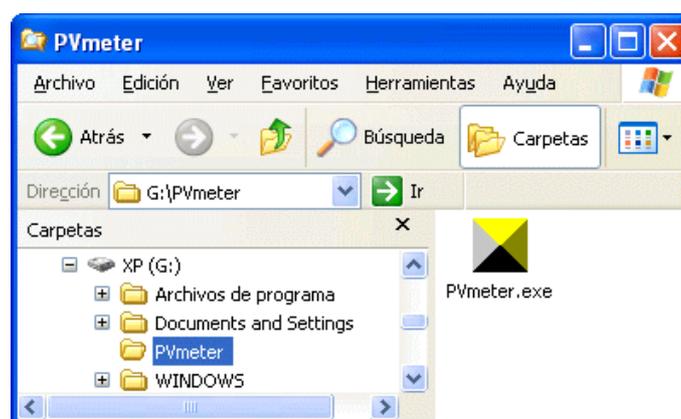


Fig. 6.1. Ejemplo de ubicación del archivo de programa *PVMeter.exe* en el disco duro del ordenador.

La interfaz gráfica del programa consiste en una única ventana desde la cual es posible realizar todas las tareas de selección, detección, control de la comunicación, monitorización y registro de datos, tal como se detalla a continuación.

Nota: Debido a que, posiblemente, el programa ha sufrido ligeras variaciones desde la fecha de elaboración de este manual, el contenido de su interface gráfica no coincidirá exactamente con el correspondiente a la versión mostrada.

La ventana del programa presenta al inicio de su ejecución un aspecto similar al mostrado en la figura 6.2. En ella se pueden distinguir 5 paneles o secciones independientes.

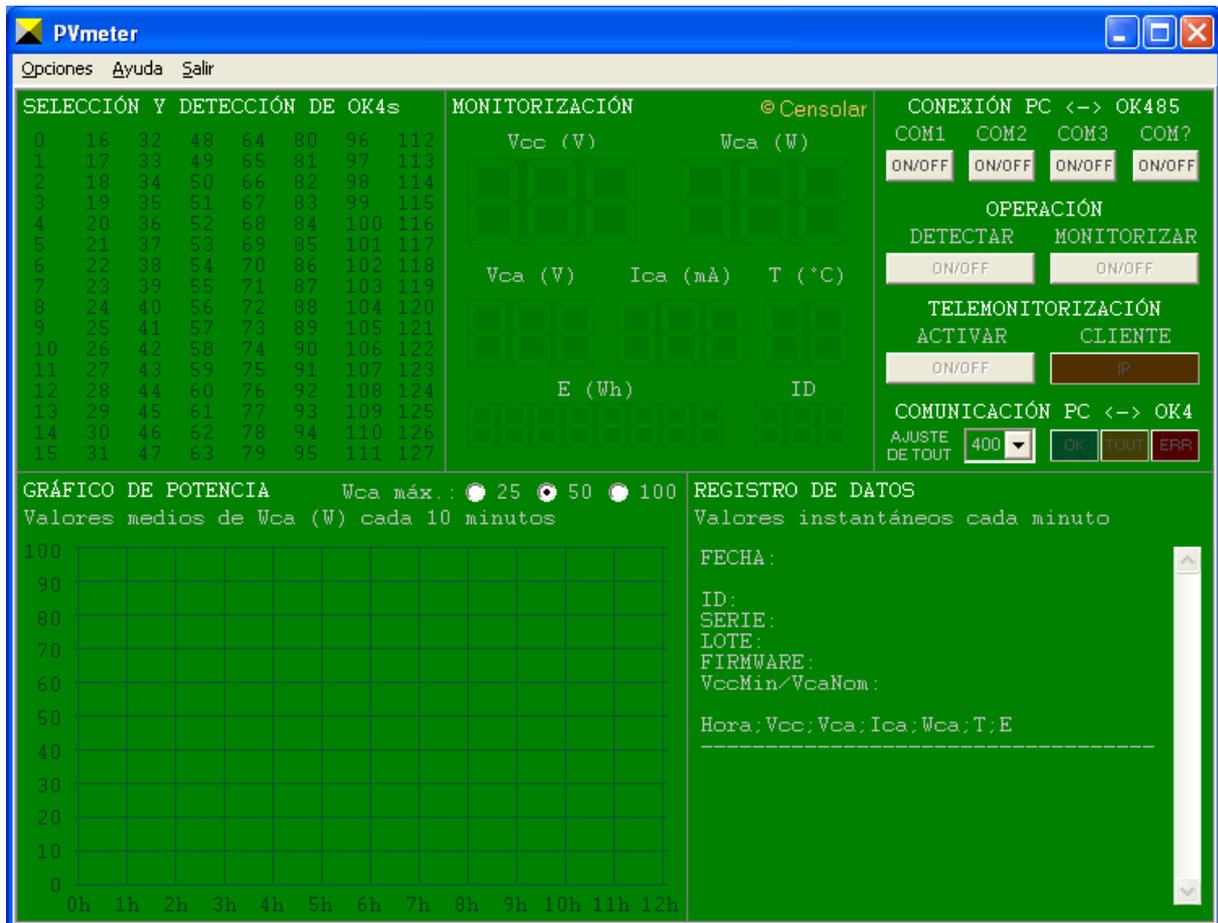


Fig. 6.2. Aspecto inicial de la única ventana que presenta el programa PVMeter.



El panel principal de control, mostrado en la figura 6.3, contiene una serie de botones e indicadores mediante los cuales es posible controlar el funcionamiento general del programa y observar en cada instante el estado correspondiente a la comunicación establecida entre el ordenador y el inversor en cuestión.

Fig. 6.3. Panel principal de control del programa PVMeter.

Lo primero que debe hacer el usuario del programa es abrir el puerto de comunicaciones del ordenador donde se encuentra conectado el dispositivo *OK485*. Se puede abrir uno de los 32 puertos serie denominados genéricamente *COMn*, con *n* comprendido entre 1 y 32. Para abrir un puerto comprendido entre *COM4* y *COM32*, se debe pulsar el botón *ON/OFF* correspondiente a la etiqueta *COM?* e indicar el valor de *n* en la ventana auxiliar mostrada en la figura 6.4.



Fig. 6.4. Indicación del puerto *COM4* en la ventana auxiliar mostrada por el programa *PVMeter*.

Si el puerto indicado se puede abrir y configurar correctamente (el botón *ON/OFF* correspondiente queda presionado), la etiqueta identificativa de dicho puerto se ilumina en color verde y se habilitan los botones *ON/OFF* correspondientes a las etiquetas *DETECTAR* y *MONITORIZAR*. Hay que tener presente que la apertura de un puerto no implica necesariamente la presencia en dicho puerto del dispositivo *OK485*, de modo que el usuario debería conocer de antemano en qué puerto está conectado este dispositivo antes de proceder a su apertura y continuar con la ejecución del programa. Para cerrar el puerto y permitir, por ejemplo, que otras aplicaciones puedan acceder al mismo, basta con presionar de nuevo sobre el botón *ON/OFF* correspondiente, lo que provocará su liberación, el apagado de la etiqueta resaltada y la deshabilitación de los botones *ON/OFF* correspondientes a las etiquetas *DETECTAR* y *MONITORIZAR*. Se debe prestar una especial atención al caso en el que el ratón del ordenador se encuentre conectado a uno de estos puertos tipo serie. La selección de este puerto puede provocar que el ratón deje de actuar, haciendo necesario entonces el reinicio del ordenador para restablecer su correcto funcionamiento.

Una vez abierto el puerto, en el panel de la lista de inversores se seleccionan automáticamente los 128 identificadores de posibles inversores conectados al módulo *OK485*. Si se desconoce el identificador correspondiente al inversor presente en la instalación, lo que sucederá al menos la primera vez que se ejecute el programa, se debe presionar el botón *ON/OFF* correspondiente a la etiqueta *DETECTAR*, y así iniciar la detección automática del inversor. Durante el proceso de detección, los identificadores seleccionados que no correspondan a ningún inversor presente en la instalación se mostrarán en color gris. Si se detecta un inversor, su identificador se resaltará en color verde y se advertirá al usuario con una señal acústica.

SELECCIÓN Y DETECCIÓN DE OK485							
0	16	32	48	64	80	96	112
1	17	33	49	65	81	97	113
2	18	34	50	66	82	98	114
3	19	35	51	67	83	99	115
4	20	36	52	68	84	100	116
5	21	37	53	69	85	101	117
6	22	38	54	70	86	102	118
7	23	39	55	71	87	103	119
8	24	40	56	72	88	104	120
9	25	41	57	73	89	105	121
10	26	42	58	74	90	106	122
11	27	43	59	75	91	107	123
12	28	44	60	76	92	108	124
13	29	45	61	77	93	109	125
14	30	46	62	78	94	110	126
15	31	47	63	79	95	111	127

Fig. 6.5. Ejemplo de proceso de detección en el que se ha detectado el inversor con el identificador 2.

El proceso de detección permanece activo mientras haya identificadores seleccionados, deteniéndose automáticamente en caso contrario. La detección se puede cancelar y reanudar en cualquier momento actuando sobre el botón *ON/OFF* correspondiente a la etiqueta *DETECTAR*.

Una vez detectado el inversor y detenido el proceso de detección, se debe seleccionar de nuevo dicho inversor antes de proceder a su monitorización. Para ello, basta con presionar sobre el botón *ON/OFF* correspondiente a la etiqueta *MONITORIZAR* y dejar al programa que vaya mostrando todos los resultados de dicha monitorización; así de sencillo. Si se conoce de antemano el identificador del inversor, el usuario puede prescindir del proceso de detección antes descrito y proceder directamente a su monitorización. En la mayoría de los casos, los dos últimos dígitos del número de serie que está grabado en el propio inversor constituyen el identificador del mismo.

Al inicio del proceso de monitorización, el programa realiza una serie de operaciones previas durante un par de segundos, en los que no se muestra ningún dato al usuario. Seguidamente, se muestran en el panel de registro la fecha actual y la información interna almacenada en el inversor, consistente en sus números de identificación, serie y lote de fabricación, la versión del *firmware* y los valores de mínima tensión continua y tensión alterna nominal requeridos para su correcto funcionamiento.

A continuación, el programa muestra de forma ininterrumpida los valores correspondientes a la monitorización. Ésta se puede detener en cualquier momento actuando sobre el botón *ON/OFF* correspondiente a la etiqueta *MONITORIZAR*. Se debe tener muy presente que el proceso de monitorización no se puede reanudar. Una vez detenido, la actuación sobre el botón *ON/OFF* correspondiente a la etiqueta *MONITORIZAR* conlleva el inicio de un nuevo proceso de monitorización y la pérdida de todos los posibles valores del proceso de monitorización y registro anterior.

El programa muestra al usuario los valores de la monitorización en tres formatos y bases temporales diferentes. En el panel de displays numéricos se muestran los valores instantáneos correspondientes a la tensión continua del generador fotovoltaico, la tensión alterna de la red, la corriente y la potencia entregadas a la red, la energía total que ha entregado el inversor a la red desde su fabricación, la temperatura interna del inversor y su identificador. La actualización de estos valores tiene lugar cada segundo, aproximadamente.



Fig. 6.6. Panel de displays numéricos.

Los valores correspondientes a estos parámetros también se muestran en formato texto, con una frecuencia aproximada de un minuto, en el panel de registro, junto con la hora correspondiente a la lectura de los datos. El objetivo principal de este panel es ofrecer al usuario la posibilidad de disponer de un archivo de registro de estos parámetros que le permita llevar a cabo un análisis personalizado al margen del programa.

Para ello, el programa permite seleccionar el texto presente en este panel y copiarlo al portapapeles de Windows. Una vez allí, el texto seleccionado se puede pegar, por ejemplo, en un archivo creado previamente a tal efecto. Para realizar la selección y copia de todo o parte del texto presente en el panel de registro se puede utilizar el botón secundario del ratón, o el teclado, al igual que con cualquier otro texto de una aplicación en Windows. Hay que señalar que, si bien el programa permite 12 horas seguidas de monitorización, es posible que los últimos registros de datos no se muestren en el panel debido al tamaño alcanzado por el texto.



Fig. 6.7. Panel de registro de datos, en el que se pueden apreciar la información almacenada en el inversor y algunos registros temporales.

Por último, el programa muestra la representación gráfica del valor medio de la potencia entregada por el inversor a la red durante los últimos 10 minutos. Esta representación permite al usuario visualizar de una forma directa el comportamiento de su instalación fotovoltaica desde el inicio de la monitorización, indicando, en la escala temporal que aparece en la parte inferior de la gráfica, el intervalo de tiempo transcurrido desde dicho inicio. En cualquier momento, el usuario puede seleccionar el fondo de escala de potencia que más le convenga, 25 Wca, 50 Wca o 100 Wca.

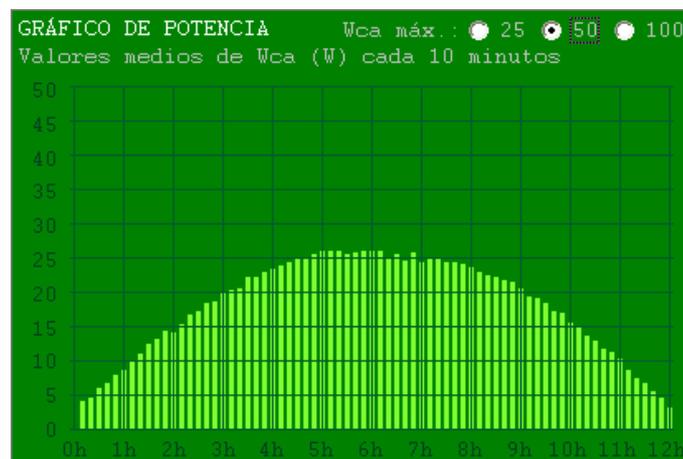


Fig. 6.8. Panel de representación gráfica de la potencia entregada por el inversor a la red. Los datos mostrados corresponden al funcionamiento del kit un 21 de septiembre en una localidad de la provincia de Pontevedra (España).

El proceso general de comunicación entre el ordenador y el inversor consiste básicamente en el envío de comandos de petición de datos desde el programa y la posterior recepción e interpretación de la respuesta del inversor. Los indicadores de control de la comunicación cambian de color según la respuesta obtenida se reciba, o no, dentro del tiempo de espera preestablecido (un segundo, aproximadamente) y de forma correcta, tal como se indica en la tabla 1.

<i>Indicador resaltado</i>	<i>Significado</i>
OK	La respuesta del inversor se ha recibido a tiempo y de forma correcta
TOUT	La respuesta del inversor no se ha recibido a tiempo
ERR	La respuesta del inversor se ha recibido a tiempo, pero de forma incorrecta

Tabla 5. Significado de los indicadores luminosos del proceso de comunicación.



Fig. 6.9. Aspecto resaltado de los indicadores del proceso de comunicación del panel de control y lista de valores del parámetro de ajuste de TOUT.

Junto a los indicadores se encuentra un parámetro denominado *AJUSTE DE TOUT*, cuya finalidad es asegurar el funcionamiento correcto del proceso de comunicación en distintos sistemas de Windows y tipos de puerto serie, tal como se muestra en la tabla 6. En cualquier caso, la modificación de este parámetro no resolverá los avisos de *TOUT* que puedan aparecer durante el funcionamiento normal del programa, debidos, por ejemplo, a una mala conexión del módulo *OK485*, a una tensión continua de entrada insuficiente en el inversor (radiación solar insuficiente) o al funcionamiento de otras aplicaciones.

	<i>Windows 98</i>	<i>Windows XP</i>
Puerto serie estándar	100	400
Convertidor puerto USB - puerto serie	400	400

Tabla 6. Valores recomendados inicialmente para el parámetro *AJUSTE DE TOUT* en función del sistema operativo y el hardware del puerto serie.

El programa permite al usuario personalizar en cierta medida la apariencia de su interfaz gráfica mediante las opciones de menú mostradas en la figura 6.10.

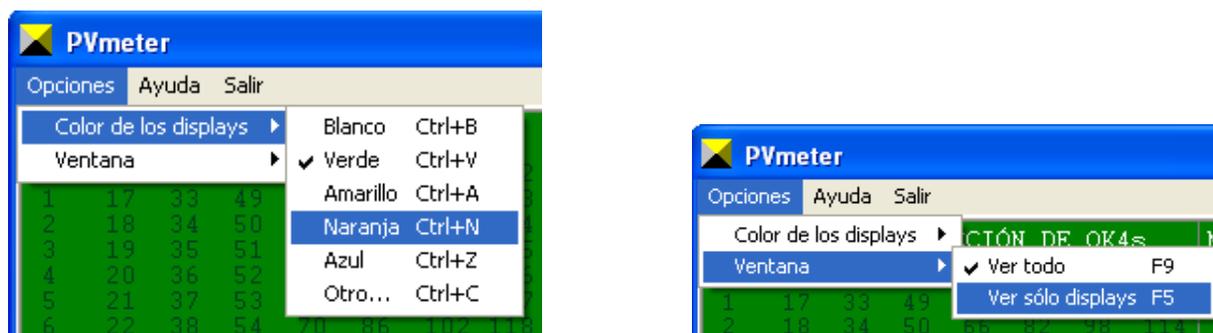


Fig. 6.10. Menú de opciones de configuración de la apariencia de la interfaz gráfica del programa.



Fig. 6.11. Ejemplo de configuración personalizada de la apariencia de la interfaz gráfica del programa, en la que se ha elegido el color naranja para los displays numéricos y el gráfico de potencia, y la visualización reducida que abarca sólo el panel de los displays numéricos.

Por último, señalar también que el programa muestra en la barra de tareas de Windows el valor instantáneo de la potencia entregada por el inversor a la red, de modo que el usuario puede conocer este valor aun cuando la ventana de la aplicación se encuentre minimizada.

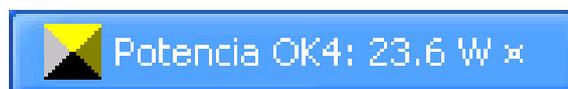


Fig. 6.12. Información mostrada en la barra de tareas de Windows.

El programa *PVMeter* también dispone de un servicio de telemonitorización que permite visualizar en otro ordenador los datos instantáneos de funcionamiento de la instalación. Para activar o desactivar dicho servicio basta con pulsar el botón *ON/OFF* correspondiente a la etiqueta *ACTIVAR*. La activación del servicio sólo se puede realizar una vez completada la primera lectura de todos los datos de funcionamiento. Hasta entonces, el botón *ON/OFF* correspondiente permanecerá deshabilitado. El programa informa al usuario, mediante el mensaje mostrado en la figura 6.13, que el servicio ha sido activado.



Fig. 6.13. Aviso de activación del servicio de telemonitorización.

Como se puede observar en el mensaje de la figura 6.13, la activación del servicio de telemonitorización implica la apertura del puerto 4000 en el ordenador local, que actúa como servidor. Para posibilitar el acceso externo a este puerto, el ordenador donde se ha activado el servicio debe disponer de la configuración, los privilegios y, en su caso, los permisos necesarios a tal efecto. Por su parte, el equipo remoto, que actúa como cliente, sólo requiere una herramienta de comunicaciones de propósito general, como las aplicaciones *HyperTerminal* o *Telnet*, disponibles en Windows. Además de conocer el número de puerto (4000) y de asegurar la configuración apropiada en el equipo servidor, se debe conocer también la dirección IP de dicho equipo, ya que este dato, junto con el número de puerto, son los parámetros básicos de configuración de la aplicación de comunicaciones utilizada en el equipo cliente.

Se puede probar el servicio de telemonitorización en el ordenador servidor (donde está funcionando el programa *PVMeter*). Para ello basta con saber que la dirección IP del propio ordenador es *127.0.0.1* o, de forma alternativa, *localhost*. Para utilizar, por ejemplo, la aplicación *Telnet* de Windows con estos parámetros, basta con proceder tal y como se muestra en la figura 6.14.

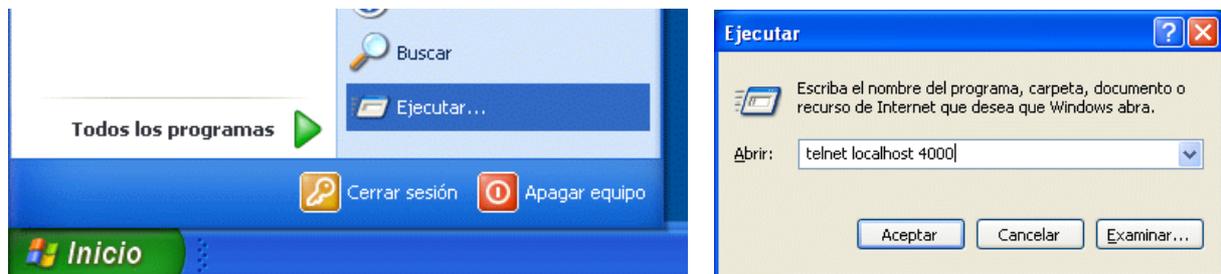


Fig. 6.14. Acceso al servicio de telemonitorización utilizando la aplicación *Telnet* en el propio ordenador servidor. En el caso mostrado, la aplicación *Telnet* se ejecuta mediante la opción «Ejecutar» del menú «Inicio» de Windows.

En respuesta a este acceso al puerto 4000, el programa *PVMeter* advierte al usuario con una señal acústica y resalta un indicador con la dirección IP del equipo cliente conectado (en este caso la *127.0.0.1* del propio servidor), al que le envía los datos instantáneos de funcionamiento de la instalación tras cada lectura completa de los mismos.

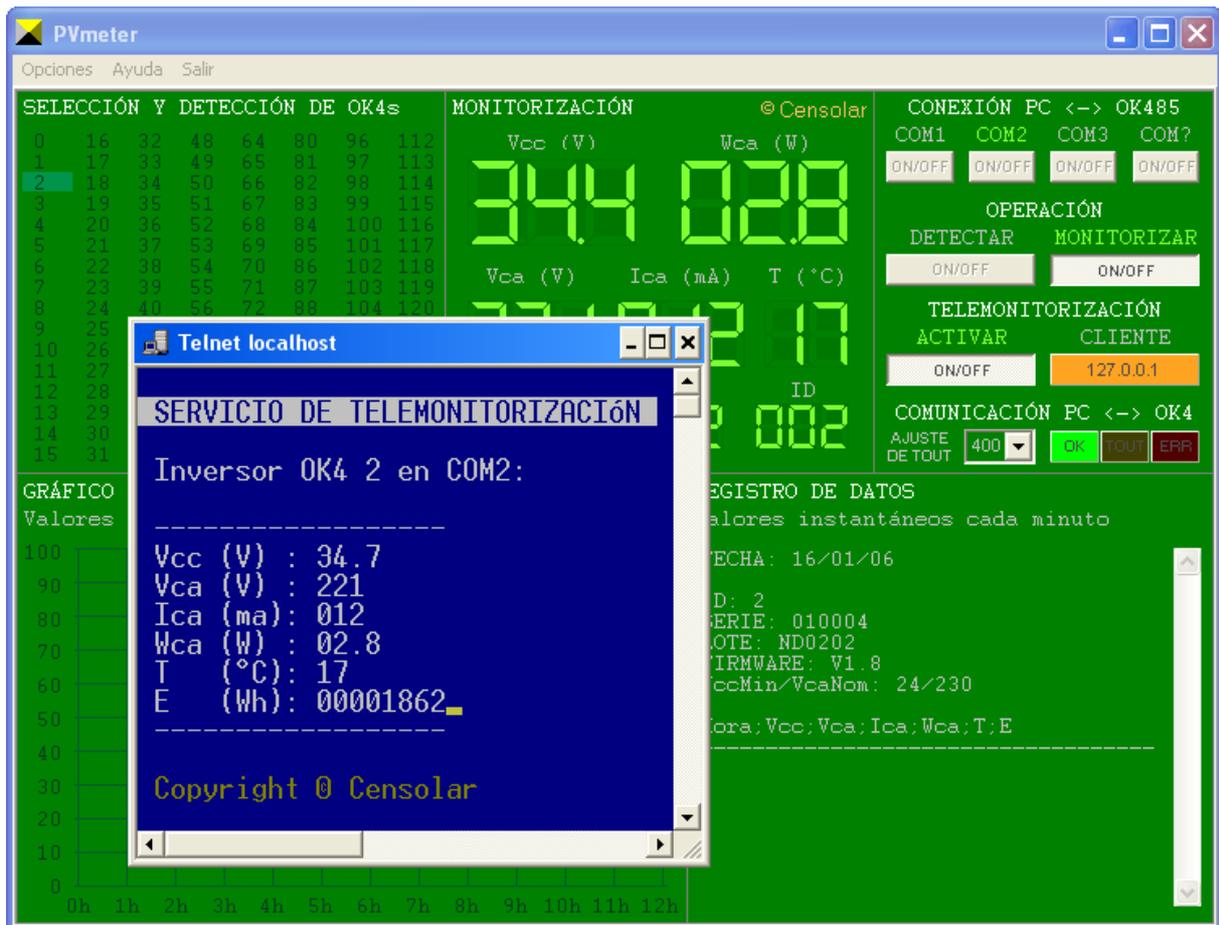


Fig. 6.15. Servicio de telemonitorización activado en PVMeter, y cliente Telnet recibiendo los datos.

7

Prácticas sugeridas

A modo de guía, a continuación se sugieren algunos ejemplos de experimentos para practicar con *PVSun*, y especialmente con el programa *PVMeter*. Solamente representan una pequeña parte de las múltiples posibilidades que tienen los estudiantes de electricidad fotovoltaica para observar, medir y aprender mediante la utilización de los componentes de *PVSun*, complementados, si se desea, con algunos otros elementos comunes (resistencias, diodos, baterías, etc.) que pueden encontrarse en tiendas de electricidad o electrónica general.

- Práctica 1.— Familiarización con las distintas funciones del multímetro, efectuando diversas medidas y comprobando su coherencia.
- Práctica 2.— Comparación entre las medidas efectuadas con el multímetro aplicado directamente sobre las salidas de los módulos fotovoltaicos, o los bornes de la caja de conexión y los valores observados mediante el programa *PVMeter*. Estimar, por ejemplo, el rendimiento del inversor a partir del resultado de dicha comparación.
- Práctica 3.— Comprobación de los efectos de las sombras parciales sobre los módulos fotovoltaicos, tapando más o menos algunas células, y observando la variación de los valores de la intensidad, el voltaje y la potencia suministrada.
- Práctica 4.— Observación de las variaciones de la irradiancia solar en función de la altura solar y de las condiciones de nubosidad y, consecuentemente, de las variaciones de la intensidad y potencia generada por los módulos fotovoltaicos.
- Práctica 5.— Observación de las variaciones de la irradiancia solar en función del ángulo de inclinación y la orientación de la superficie receptora (los módulos fotovoltaicos) y, consecuentemente, de las variaciones de la intensidad y potencia generadas.
- Práctica 6.— Comparación entre el comportamiento de los módulos conectados en serie y conectados en paralelo.
- Práctica 7.— Observación de la temperatura alcanzada en el inversor para distintas condiciones de trabajo.

- Práctica 8.— Comparación entre la potencia teórica que deberían producir los módulos de acuerdo con sus especificaciones técnicas y la potencia realmente inyectada a red.
- Práctica 9.— Observación de los valores de la intensidad, voltaje y potencia bajo condiciones extremas: a) Cuando la altura solar sea muy baja b) Cuando los módulos solamente reciben radiación difusa en condiciones de cielo despejado c) Cuando los módulos solamente reciben radiación difusa en condiciones de cielo muy nuboso d) Cuando los rayos inciden perpendicularmente a la superficie de los módulos.
- Práctica 10.— Monitorización del inversor durante un periodo de 24 horas, generando un archivo de datos.
- Práctica 11.— Cálculo del valor de la energía eléctrica inyectada en la red en un determinado periodo de tiempo y estimación del valor económico de dicha energía a lo largo de un año, suponiendo unas condiciones de irradiación medias.

8

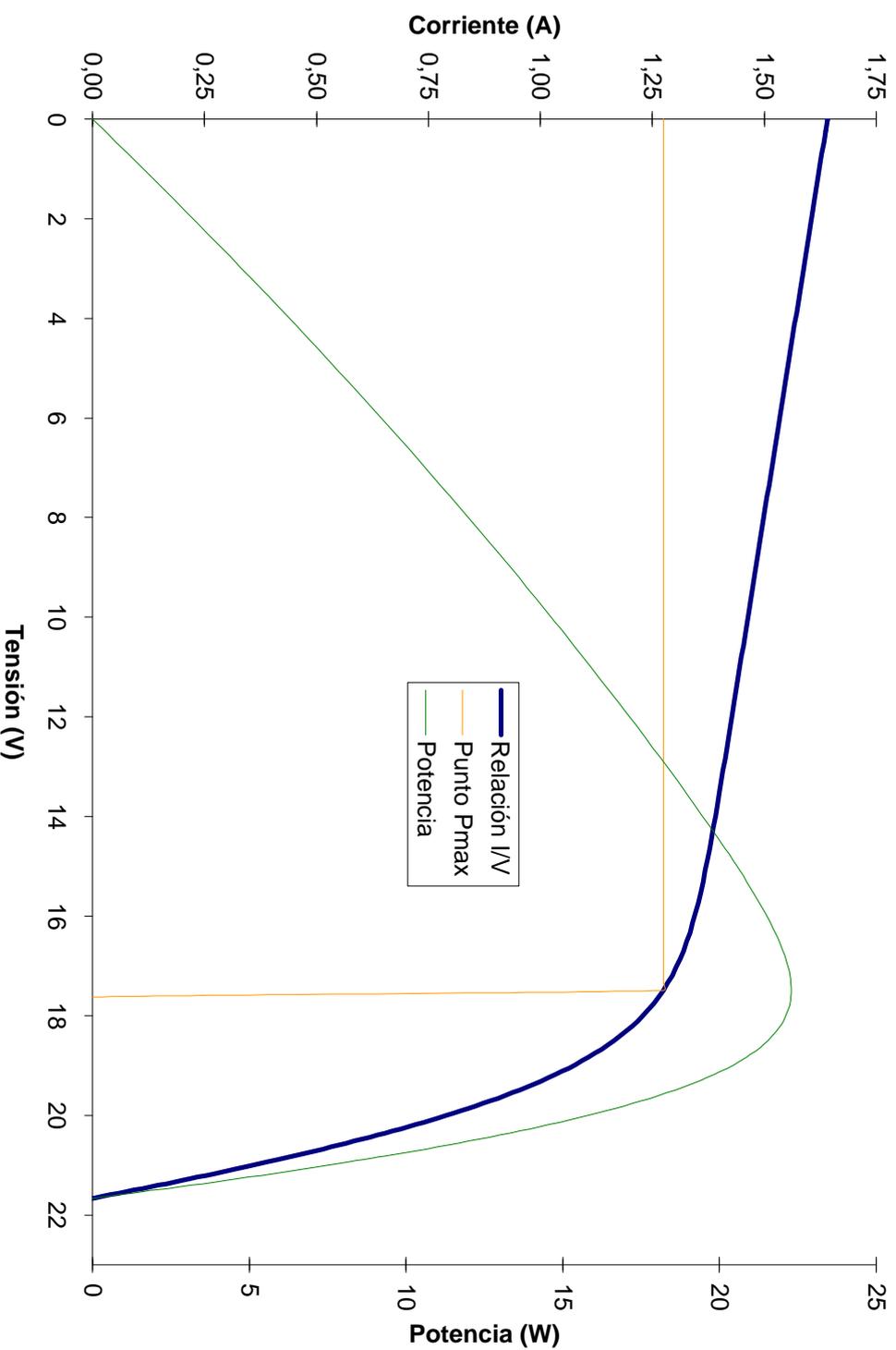
Características técnicas de los módulos fotovoltaicos incluidos en el kit



I-22

Módulo fotovoltaico

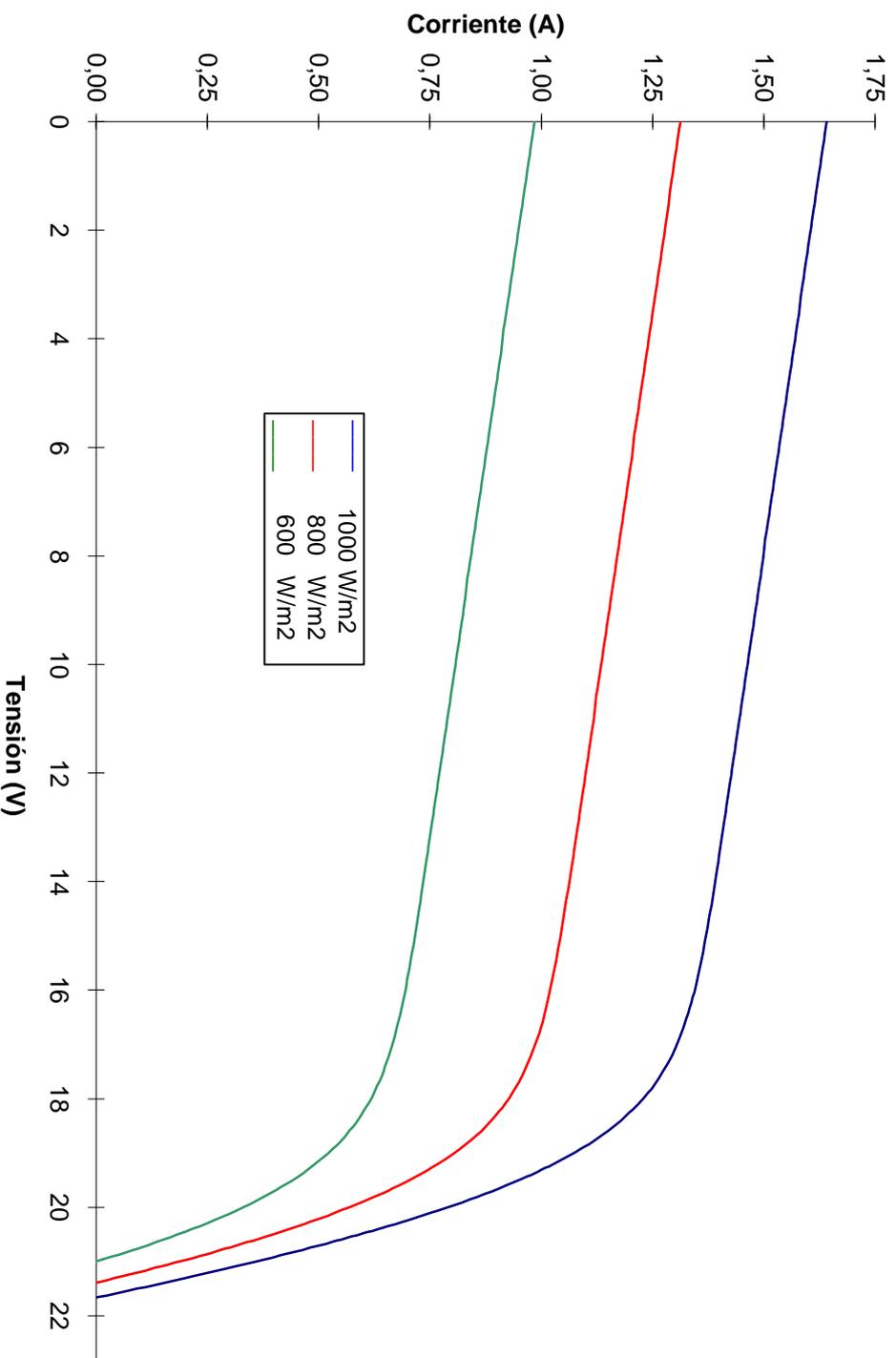
CARACTERÍSTICAS	
FÍSICAS	
Longitud	550 mm
Anchura	440 mm
Espesor	2 mm
Peso	1,2 kg
Número de células en serie	36 de 1/2
Número de células en paralelo	1
TONC (800 W/m ² , 20 °C, AM 1.5, 1m/s)	47 °C
ELÉCTRICAS (1000 W/m², 25 °C cel, AM 1.5)	
Tensión nominal (V _n)	12 V
Potencia máxima (P _{max})	22 W _P ± 10 %
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	1,64 A
Tensión de circuito abierto (V _{oc})	21,6 V
Corriente de máxima potencia (I _{max})	1,26 A
Tensión de máxima potencia (V _{max})	17,4 V
CONSTRUCTIVAS	
Células	Si monocristalino, texturadas y con capa antirreflexiva
Contactos	Contactos redundantes, múltiples, en cada célula
Conexión	2 x 1,5 mm ² en cable de doble envoltente de 1,8 m de longitud

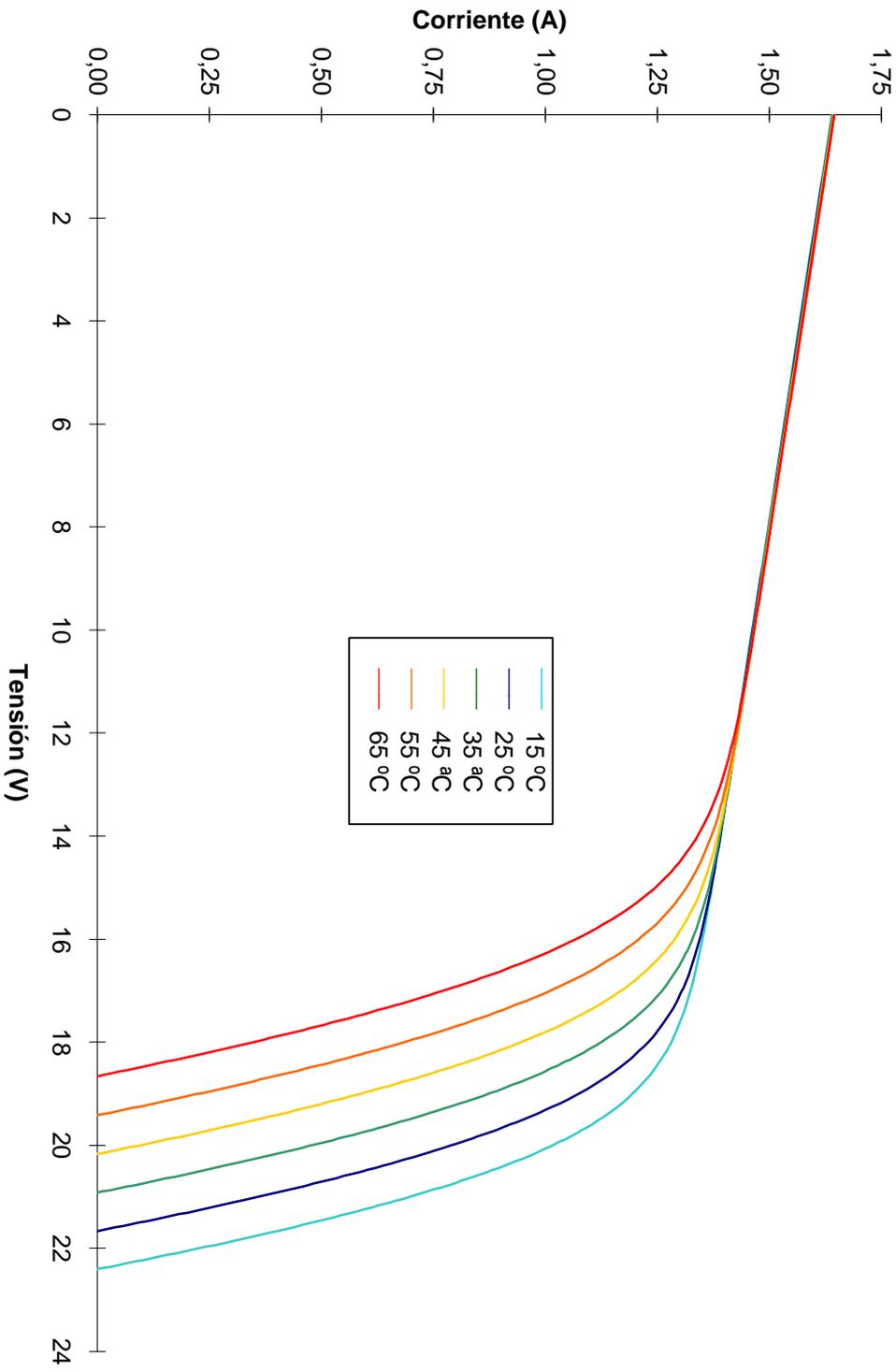


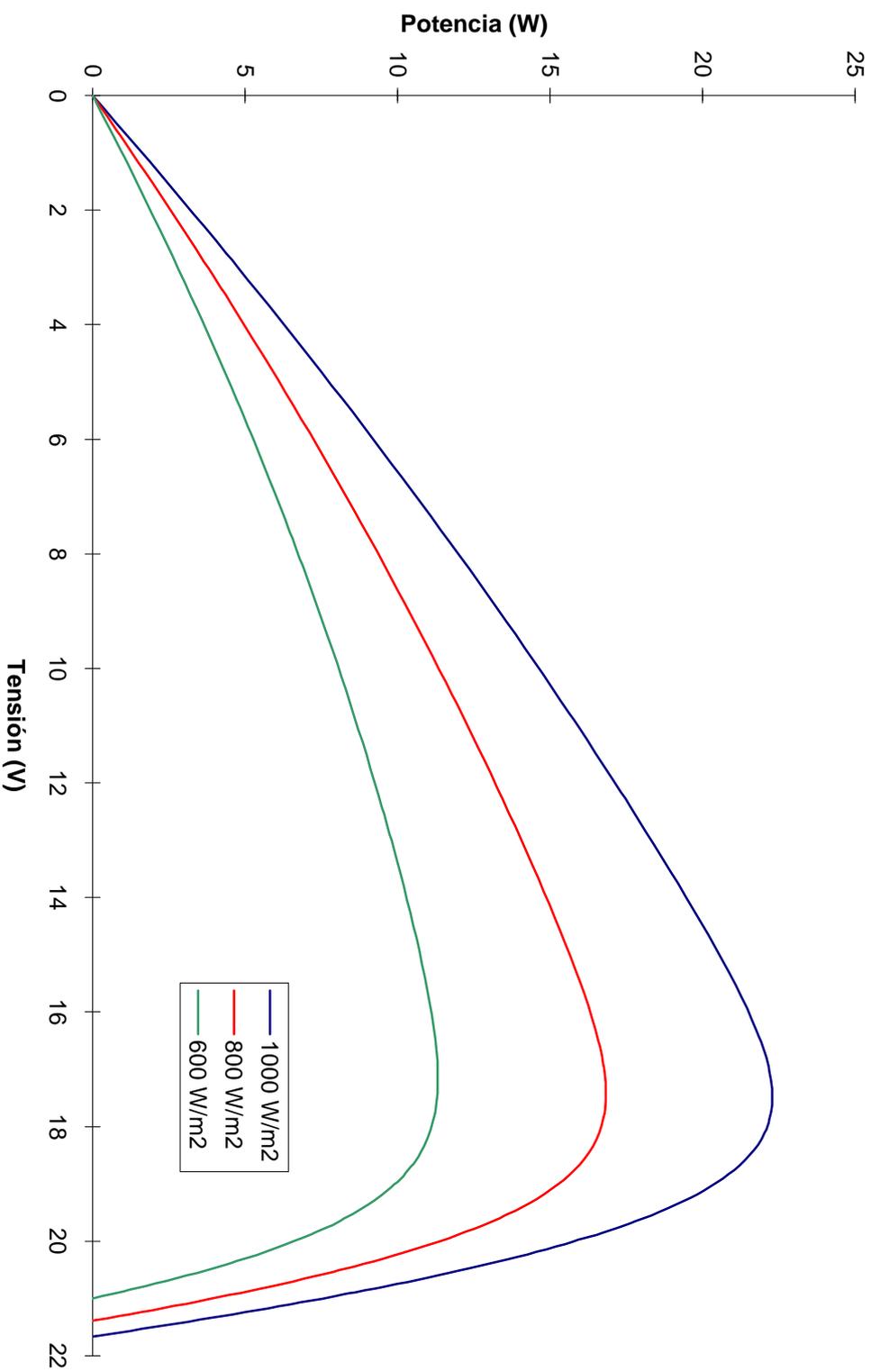
Características eléctricas

$I_{SC} = 1,64 \text{ A}$
 $V_{OC} = 21,6 \text{ V}$
 $I_{mp} = 1,26 \text{ A}$
 $V_{mp} = 17,4 \text{ V}$
 $P_{max} = 22 \text{ W} \pm 10 \%$
 (*) a 1000 W/m^2 , 25°C y AM 1,5 G
TONC = 47 °C
 (800 W/m^2 , 20°C ambiente, AM 1,5 G y velocidad del viento de 1 m/s)

I-22









ISO FOTON

Variación de la potencia con la temperatura

I-22

