

Herramientas para la docencia de créditos prácticos en asignaturas directamente relacionadas con la energía solar fotovoltaica.

J. de la Casa, M. Fuentes, J. V. Muñoz, D.L. Talavera, G. Nofuentes, J. Aguilera.

Grupo de Investigación IDEA

Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática.

Escuela Politécnica Superior. Universidad de Jaén.

Campus de las Lagunillas s/n

CP 23071, Jaén, España.

Tlf: +34 953 212804, Fax: +34 953 211967

email: delacasa@ujaen.es

Abstract— Cada vez son más las universidades españolas que están incorporando dentro de su oferta académica asignaturas o materias directamente relacionadas con las energías renovables.

En concreto, la Escuela Politécnica Superior de Jaén (EPS-JAÉN), dentro del título de Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial, recoge en su plan de estudios verificado por la ANECA, la posibilidad de que sus estudiantes obtengan su título con una mención en “Sistemas Fotovoltaicos”.

La Universidad de Jaén, y dentro de su Plan Propio de Innovación Docente - Bienio 2010-2012, está financiando un proyecto que tiene como objetivo principal, evaluar la viabilidad de incorporar como equipamiento docente para impartir créditos prácticos aquellas “herramientas de diseño propio” que actualmente se están utilizando de forma exclusiva en los laboratorios de investigación del Grupo IDEA (Investigación y Desarrollo en Energía Solar).

Las materias y asignaturas que se beneficiaran de la ejecución de este proyecto son las directamente relacionadas con la Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos responsabilidad del área de Tecnología Electrónica del Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática de la Universidad de Jaén.

Se presentará en esta ponencia, el contexto académico en el que se desarrolla este proyecto, el estado actual del mismo y los resultados más relevantes obtenidos hasta la fecha.

Index-Terms -- Docencia en energía solar fotovoltaica. Menciones en nuevos títulos de Grado. Módulos didácticos para prácticas.

I. PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS

Para una adecuada formación en cualquier ámbito de la ingeniería, el carácter experimental de los créditos prácticos tiene una importancia vital para la formación del alumno.

Desde esta premisa, algunos profesores del área de Tecnología Electrónica de la Universidad de Jaén, implicados en la puesta en marcha del nuevo título de Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial, y especialmente, dado nuestro perfil investigador, en las materias directamente relacionadas con la

tecnología fotovoltaica, detectamos un serio inconveniente: Bajo nuestro punto de vista, no existe un “equipamiento comercial orientado a la docencia universitaria” que pueda adquirirse en el mercado y ayudarnos a conseguir los objetivos de formación que se pretenden para un ingeniero de esta especialidad.

Por otro lado, durante los últimos veinte años, investigadores del Grupo de Investigación y Desarrollo en Energía Solar (Grupo IDEA) hemos desarrollado “INSTRUMENTOS” diseñados y construidos por nosotros mismos, y que han sido claves para poder ejecutar nuestras labores de investigación. Entiéndase instrumentos o herramientas en un sentido amplio, ya que no se refiere exclusivamente a una clase o tipo de equipo, sino a un variado conjunto de propuestas; por ejemplo: programas software específicos desarrollado para dar respuesta a estudios teóricos puntuales, prototipos electrónicos de diseño propio pensados con el propósito de resolver alguna cuestión o problema específico, o macro-sistemas diseñados “ad hoc” utilizando equipamiento comercial que han sido programados o configurados para un fin específico.

Esto ha sido posible gracias a que somos conocedores del problema a solucionar, y como ingenieros, poseemos la capacidad y las aptitudes para construir nuestras propias herramientas. Puede considerarse como una situación especial que se podría definir como “autarquía por necesidad”, ya que en la mayoría de los casos, y de modo parecido a la situación que se exponía al principio relativa al equipamiento didáctico, nuestras necesidades iban por delante de la oferta que el mercado ofrecía.

En este marco se desarrolla el proyecto de innovación docente que tiene como título el mismo que el de la presente ponencia y como objetivo principal la elaboración de **Material Didáctico Manipulable** correctamente documentado, y orientado para su aplicación en tareas docentes de asignaturas relacionadas con la tecnología fotovoltaica.

Las mejoras en el proceso de aprendizaje de los alumnos, consecuencia de la ejecución del proyecto, se derivan de su objetivo:

1. Este proyecto sería un primer paso que permitiría dotar a los laboratorios docentes del departamento de Ingeniería Electrónica y Automática de módulos didácticos. Los estudiantes podrán realizar prácticas experimentales con las ventajas intrínsecas que este hecho supone.
2. Las asignaturas de grado objeto de este proyecto se integran dentro de una mención del título de Grado en Ingeniería Electrónica. La mayoría de los conceptos teóricos utilizados para el diseño y desarrollo de las herramientas son estudiados previamente por los alumnos en las materias de los módulos comunes de la rama industrial y el módulo de tecnología específica de la rama de Electrónica Industrial. Que los estudiantes realicen las prácticas de las asignaturas de esta mención con módulos diseñados por sus profesores, y en base a conocimientos que ellos ya han estudiado, redundará muy positivamente en su formación integral como ingenieros de la especialidad.

Este proyecto se encuentra todavía en proceso de ejecución, estando prevista su finalización en diciembre 2012. Por otro lado, se tardaran años en ver los resultados completos del mismo; faltan al menos dos cursos académicos completos para que el plan de estudios se implante en su totalidad, y los resultados de este tipo de acciones no pueden evaluarse hasta que no se reciba realimentación por parte del alumnado, pero aprovecharemos esta ponencia para presentar algunos de los avances realizados hasta la fecha. De forma previa, en el siguiente apartado, se describirá el contexto académico en que se desarrolla la acción.

II. LA MENCIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN EL GRADO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL EN LA ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE JAÉN.

En todos los títulos de Grado en Ingeniería que oferta la Universidad de Jaén [1], para completar los 240 créditos exigidos, los estudiantes deberán cursar al menos 30 créditos de asignaturas optativas (5 asignaturas) que se sumarán a los 210 créditos correspondientes a los módulos de Formación Básica, Común a la Rama Industrial, de Tecnologías Específicas y Trabajo Fin de Grado (12 créditos).

El estudiante puede escoger libremente entre las 14 asignaturas optativas ofertadas para cada uno de los Grados, pero con el propósito de que pueda cursar de modo coherente estos 30 créditos optativos, consiguiendo de este modo una especialización real que redunde de manera positiva en su

futuro laboral, la Escuela Politécnica Superior de Jaén ha implantado el concepto de **Mención**.

Un estudiante recibirá su título de Grado en Ingeniero en una especialidad (Mecánica, Eléctrica, Electrónica Industrial u Organización Industrial) con una mención en el caso de que curse de manera conjunta un paquete de asignaturas optativas de una misma materia.

Se ha procurado que, en la medida de lo posible, se relacionara estrechamente la investigación llevada a cabo por los profesores y grupos de investigación directamente implicados en el centro con las menciones o especializaciones propuestas.

Para que el estudiante obtenga la correspondiente mención es preciso que cumpla alguna de las tres siguientes condiciones:

1. Elegir en su itinerario curricular cinco asignaturas optativas de una misma mención.
2. Elegir en su itinerario curricular cuatro asignaturas optativas de una misma mención y además realizar prácticas de empresa (6 créditos) en trabajos específicos de la mención.
3. Elegir en su itinerario curricular cuatro asignaturas optativas de una misma mención y además realizar el Trabajo Fin de Grado en la especialidad de la mención.

MENCIÓN	MATERIAS	ASIGNATURA
SISTEMAS ELECTRÓNICOS	Electrónica Avanzada	Sistema Digitales
		Sistemas Electrónicos de Alimentación y Potencia
		Tecnología Electrónica y Desarrollo de Prototipos Electrónicos
		Microelectrónica
	Programación	Programación
	Sistemas de Adquisición de Datos	Sis. Adq. de Datos
AUTOMÁTICA	Automática Avanzada	Sistemas de Percepción Industrial
		Robótica Industrial
		Control y Regulación de Máquinas Eléctricas
	Automática Aplicada	Aplicación de la Automatización en Edif.
	Programación	Programación
	Sistemas de Adquisición de Datos	Sis. Adq. de Datos
SISTEMAS FOLTOVOLTAICOS	Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica	Instalaciones FVs (*)
		Electrónica Aplicada a los SFV (*)
		Gestión y Mantenimiento de SFV
		Tecnología Eléctrica en SFV
	Programación	Programación
	Sistemas de Adquisición de Datos	Sis. Adq. de Datos

Tabla 1. Oferta de asignaturas optativas en el Grado de Ingeniería en Electrónica Industrial en la EPS-JAÉN.

En la Tabla 1 se muestran las asignaturas optativas ofertadas para el título de **Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial**, en cuya memoria verificada aparece reflejada la puesta en marcha de la mención en **Sistemas Fotovoltaicos**.

La decisión parece adecuada. El Grupo IDEA, formado mayoritariamente por profesores del área de Tecnología Electrónica y adscritos al departamento de Ingeniería Electrónica y Automática (departamento que impartirá casi a totalidad de los créditos específicos de la rama), lleva realizando labores de investigación en esta tecnología de producción eléctrica desde 1989, especialmente centrados en el campo de la ingeniería de sistemas.

Con el objeto de poder formar a nuestros estudiantes en los entresijos de esta tecnología, y dentro del plan de estudios de Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial, la EPS-JAÉN ha previsto ofertar las siguientes asignaturas:

1. Una asignatura obligatoria cuya finalidad sea presentar e introducir a los estudiantes en este campo del conocimiento. La asignatura Introducción a los sistemas fotovoltaicos se impartirá en 5º semestre de Grado, será cursada por todos los estudiantes del Grado y abordará temas básicos fundamentales como son el recurso solar, la célula, módulo, etc.
2. Ofertar una materia optativa denominada Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica, impartida de manera conjunta entre las áreas de conocimiento de Ingeniería Eléctrica y Tecnología Electrónica. Esta materia está compuesta por cuatro asignaturas donde se estudiará en profundidad el diseño, componentes, cálculo, evaluación, mantenimiento, aspectos económico-financiero-medioambiental, etc. de instalaciones y sistemas fotovoltaicos tanto autónomos como conectados a la red.

Las asignaturas de la Tabla 1 resaltadas en negrita serán las impartidas por el área de conocimiento de Tecnología Electrónica. De ellas, las marcadas con (*) son las que consideramos más propicias para enfocar la presente acción, especialmente la asignatura de *Electrónica Aplicada a los Sistemas Fotovoltaicos*.

III. BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO DIDÁCTICO DE PROPÓSITO GENERAL DISEÑADO PARA INCLUIR EN LAS PRÁCTICAS. MOTIVACIONES DE LA PROPUESTA.

A la hora de proponer los módulos didácticos que se desea utilizar en las asignaturas de esta mención, se parte de dos premisas fundamentales:

1. Los estudiantes que realizan estas prácticas tienen unos conocimientos previos de electrónica analógica, de potencia y de sistemas digitales, en especial de programación de sistemas microprocesadores. No olvidemos que fundamentalmente, las asignaturas de esta mención se impartirán en el 7º y 8º semestre de la titulación, habiéndose cursado previamente por los estudiantes asignaturas obligatorias de tecnologías específicas del grado como son: Electrónica Analógica, Digital, de Potencia, Instrumentación Electrónica, etc..

2. Nada ayuda más a la comprensión del funcionamiento de una tecnología o de un sistema que estar obligado a diseñarlo, construirlo y testarlo o, al menos, a utilizarlo. Desgraciadamente, bajo nuestro punto de vista, en la mayoría de las ocasiones, los docentes universitarios en ingeniería nos vemos abocados a utilizar, para impartir créditos prácticos, herramientas software que simulan el funcionamiento de los sistemas, por ejemplo herramientas tipo matlab, simulink, etc. , donde la herramienta se convierte en el fin, y el estudiante se olvida del objetivo de su uso.

La idea básica de la propuesta se fundamenta en el diseño y posterior construcción de un sistema procesador, basado en un PIC de bajo coste (hasta la fecha todos los prototipos construidos se han realizado en base a la familia 16F8XX), que permita abordar de manera experimental prácticas en el laboratorio de energía solar.

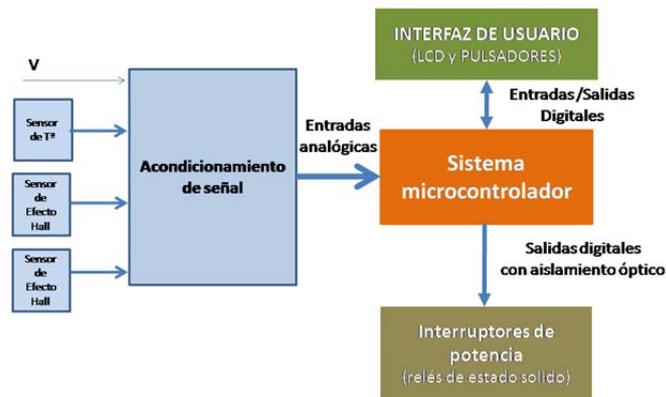


Figura 1. Diagrama de bloques simplificado del módulo de prácticas de propósito general propuesto.

El sistema contará con un máximo de cuatro entradas analógicas previamente acondicionadas, utilizadas para medir las variables eléctricas del sistema bajo test, unos interruptores de potencia (entre dos y cuatro en función de la aplicación), y un interfaz de usuario muy simple, integrado por un LCD de 2 líneas, 16 caracteres y 3 entradas digitales por pulsador.

Su concepción modular, dota al sistema de gran versatilidad. La etapa de acondicionamiento de señal se diseñará en función de las variables eléctricas adquiridas, adecuándose a unos márgenes de tensión de entrada a la etapa de control entre 0-2,5 voltios. Por otro lado, la etapa de potencia se diseñará en función de la misma que se desea controlar y podrá basarse en diversos dispositivos, también de potencia. Para el caso que nos ocupa, donde se manejarán pequeñas potencias, siempre inferiores a 500 Watios, por su

simplicidad y facilidad de uso se propone la utilización de relés de estado sólido controlados a partir de niveles TTL. Independientemente del tipo de etapa de potencia utilizada, hay que utilizar aislamiento entre control y potencia, en nuestro caso de tipo óptico.

La estructura propuesta lleva siendo probada con éxito durante los dos últimos años con fines de investigación en diferentes desarrollos. Por ejemplo, en una carga electrónica para generadores FV de gran potencia que permite obtener curvas características de generadores de hasta 300 A de corriente de cortocircuito y de 900 V de tensión de circuito abierto [2].

El nivel de complejidad de la práctica propuesta a los alumnos que utilicen los módulos didácticos desarrollados dependerá de la asignatura en la que se utilicen. Podrá ir desde una práctica de carácter demostrativo, en la que el profesor utilice los módulos para ilustrar algún conocimiento teórico en la asignatura de *Fundamentos de la Energía Solar Fotovoltaica*, a un diseño completo del sistema (cálculo de las etapas de acondicionamiento, programación del microcontrolador, etc.) en la asignatura de *Electrónica aplicada a los sistemas FV*.

Pasaremos a continuación a describir alguna de las propuestas desarrolladas.

IV. CARGA ELECTRÓNICA CAPACITIVA MICROCONTROLADA PARA LA OBTENCIÓN DE LA CURVA CARACTERÍSTICA V-I DE UN MÓDULO FV.

La obtención, posterior comprensión y translación a Condiciones Estándar de Medida (CEM) [3] de las curvas características V-I tomadas a sol real de una célula, módulo o generador fotovoltaico, probablemente sea una de las prácticas imprescindibles en cualquier asignatura relacionada con la tecnología FV.

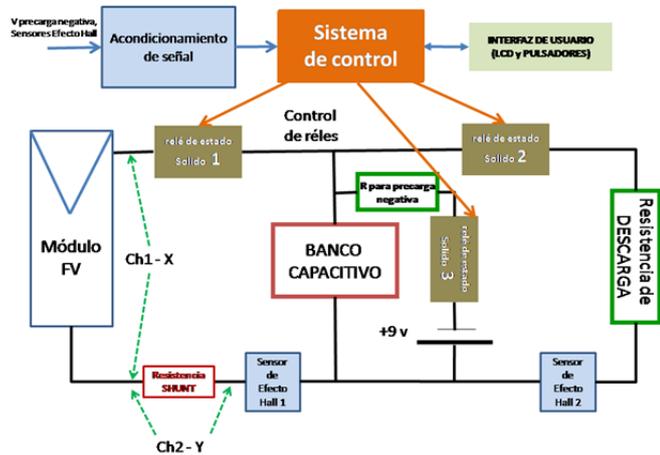


Figura 2. Diagrama de bloques de la Carga Electrónica Capacitiva propuesta implementado utilizando como base el módulo de prácticas propuesto.

El mercado podemos encontrar diversos equipos comerciales que permiten trazar esta curva [4], pero todos ellos están orientados a su uso profesional y se utilizan fundamentalmente en labores de mantenimiento y control de

calidad de este tipo de sistemas. El mercado no ofrece ningún equipo con fines didácticos que ayude a comprender el proceso de medida y los fundamentos que se deben manejar durante el mismo.

Para su uso en esta práctica, se propone realizar un conexionado del sistema de propósito general descrito en el apartado anterior, tal y como se muestra en la figura 2.

La elección del tamaño y capacidad del banco capacitivo, formado por condensadores electrolíticos, será función de las características en CEM del módulo FV bajo test y se calculará utilizando las recomendaciones indicadas en [5] y [6].

La resistencia de descarga deberá ser de potencia, y se utilizará un valor óhmico que proporcione una descarga lo más rápida posible del banco capacitivo por un lado y por otro asegurar que, en ningún caso, la corriente máxima de descarga supera los límites admitidos por el RELE 2 (de estado sólido).

El protocolo de funcionamiento que debe seguir el módulo didáctico que automatiza el proceso de medida de la curva característica es el siguiente:

1. Partiendo del banco capacitivo totalmente descargado y todos los relés en OFF, el bloque de control cierra el RELE 3 para cargar negativamente el banco de condensadores. Esta precarga negativa asegura la captura del valor de I_{sc} del módulo FV. El valor de la precarga no deberá de superar los -2 voltios, y será testeada, después de su acondicionamiento, gracias a las entradas analógicas del bloque de control. Acabado este proceso, el RELE 3 pasará de nuevo a OFF.

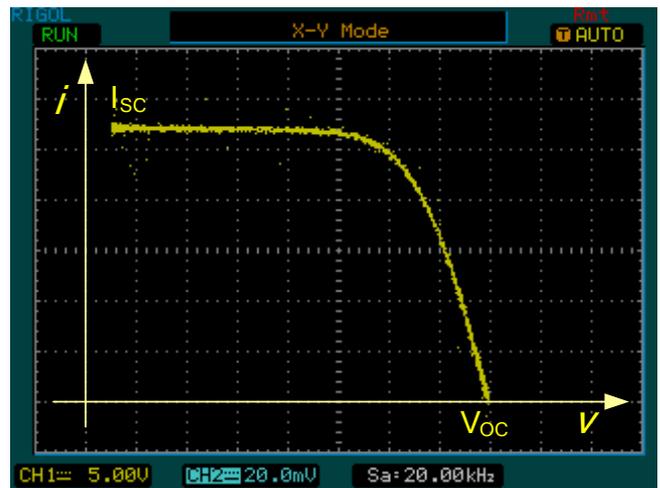


Figura 3. Curva característica de un módulo FV obtenida por el diseño propuesto y un osciloscopio digital de bajas prestaciones.

2. Una vez precargado negativamente el banco de condensadores se procederá al trazado de la curva. Para ello, el RELE 1 pasará a estado de ON. Para realizar la captura puede utilizarse un osciloscopio que registre simultáneamente, durante el transitorio de carga del banco de condensadores, la tensión en bornes del módulo FV y la corriente que proporciona. El osciloscopio debe estar configurado en modo de disparo único por flanco ascendente y controlado en este caso, por el canal 2. Se recomienda que el osciloscopio

utilizado disponga de canales totalmente independientes, pero con la configuración propuesta, no es imprescindible. En la figura 3 puede observarse un ejemplo de captura cuando se configura el osciloscopio en modo X-Y. Si el osciloscopio dispone de capacidad de registro de medidas y comunicación con PC, los valores obtenidos pueden utilizarse para su posterior paso a CEM tal y como se propone en [7]. El proceso de carga finalizará cuando el sensor de efecto HALL 1 nos indique que la corriente es igual a cero, procediéndose a continuación a situar el RELE 1 en estado de reposo.

3. El proceso finaliza con la descarga del banco para capacitivo activando el RELE 2. Para facilitar la disipación de potencia en la resistencia de descarga se recomienda utilizar una técnica software de modulación por ancho de pulsos (PWM) para el control del interruptor. El proceso de descarga finalizará cuando así nos lo indique el sensor de efecto HALL 2 con un valor nulo.

Durante todo el proceso de diseño del programa de control para el microcontrolador habrá que insistir al alumno en que tenga especial cuidado en dos aspectos fundamentales:

- En ningún caso, puede estar activado más de un RELE simultáneamente.
- Los sensores de efecto HALL no solo tienen la función de indicar cuándo se han finalizado los procesos de carga y descarga. También tienen una función implícita de seguridad dentro del sistema. Si en algún instante se detecta paso de corriente por ambos de manera simultánea es que se ha producido alguna situación de mal funcionamiento del sistema, por ejemplo, rotura de uno de los interruptores de estado sólido quedándose enclavado en situación de cortocircuito. Esta situación obligaría a una parada de emergencia, desconectando todos los interruptores que en ese instante de tiempo se encuentren activos.

V. PROPUESTA DE MÓDULO DE PRÁCTICAS PARA SU USO COMO REGULADOR O CONTROLADOR DE CARGA DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS AUTÓNOMAS.

En una instalación fotovoltaica aislada de la red o autónoma, es el controlador o regulador de carga de la batería el dispositivo electrónico encargado del control de todo el sistema [8]. La función principal del mismo es preservar la vida de las baterías, ya que estas son el punto más débil del sistema y las que cumplen con la labor imprescindible de adecuar el perfil de generación-consumo intrínseco a la mayoría de las aplicaciones de la tecnología FV cuando se encuentran en ausencia de conexión a red de distribución convencional.

El regulador de carga deberá evitar situaciones de sobrecarga o sobredescarga de la batería, procurando que el “estado de carga” de la misma (SOC) se encuentre dentro de sus márgenes funcionamiento óptimo. Para ello, se aplican diferentes estrategias tanto para la carga de las baterías como

para la determinación del SOC de la misma en un instante dado [9].

Las estrategias de gestión de la batería por parte del regulador de carga son uno de los temas más propicios para realizar prácticas de este tipo de sistemas porque obliga a un conocimiento exhaustivo del funcionamiento de la instalación completa.

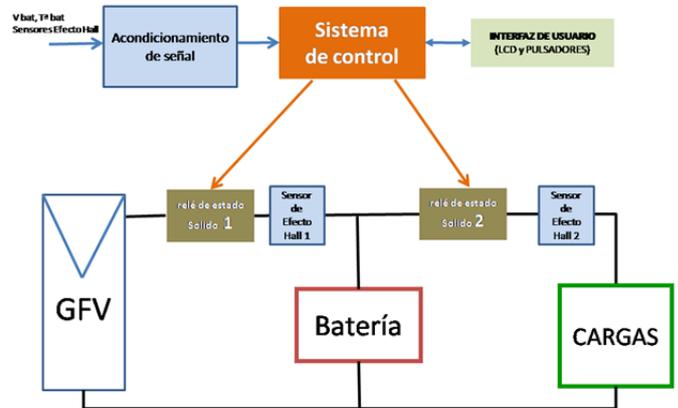


Figura 4. Diagrama de bloques del Controlador de Carga didáctico implementado utilizando como base el módulo de prácticas propuesto.

Por ello se propone el uso de un sistema genérico con la configuración que se muestra en la figura 4.

El esquema propuesto, con configuración de regulador serie, permite diferentes modos de carga de la batería (todonada, PWM), diferentes regímenes de carga (normal, flotación y gaseado), así como diferentes algoritmos o estrategias para determinar el SOC de la batería. Pueden implementarse algoritmos tan simples como la medida directa de la tensión de la batería en ausencia de carga y descarga (para evitar los efectos de la resistencia interna), incluir compensaciones por temperatura de trabajo o algoritmos que evalúen el balance neto de flujo de energía de carga-descarga. Incluso utilizar técnicas de control fuzzy o inteligencia artificial que permitan optimizar los rendimientos energéticos del sistema [10], aunque para ello será imprescindible utilizar un microcontrolador con mayor capacidad que el propuesto en el diseño implementado.

Con el objetivo de realizar una recreación lo más realista del funcionamiento de la Instalación Fotovoltaica Autónoma, el puesto básico de laboratorio podrá completarse con el programa GECON 2.0.

Este programa de elaboración propia en el seno del grupo IDEA y desarrollado en lenguaje C++ permite la generación rápida de perfiles de consumo de hasta ocho cargas independientes con base de tiempo horaria, diaria o mensual.

El programa puede ejecutarse sobre plataforma PC, utilizando en este caso el puerto paralelo para el control de las etapas de potencia que gobiernan las cargas, o también transferir la información a una memoria tipo I2C para que funcione de manera autónoma sobre un sistema basado en microcontrolador.

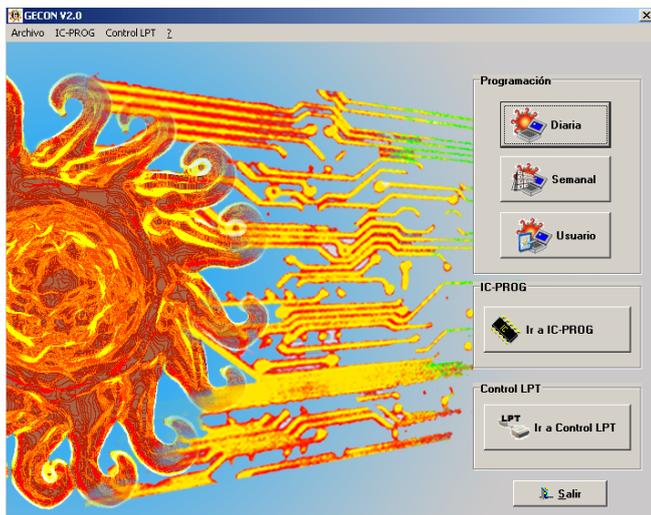


Figura 5. Pantalla de entrada de la aplicación GECON 2.0.

Por ejemplo, en la figura 6 se muestra un prototipo del sistema emulador de los perfiles de carga completo. En la parte inferior izquierda nos encontramos con la placa de control, realizada utilizando un microcontrolador de ATMEL. Las etapas de potencia se han desarrollado a partir de tecnología MOSFET.

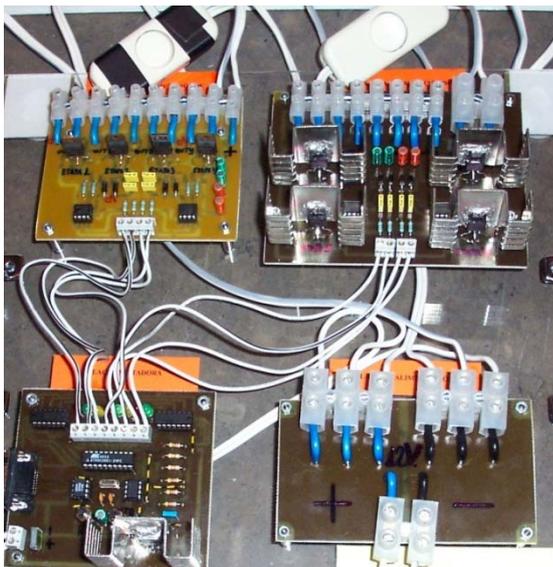


Figura 6. Prototipo para la generación automática de perfiles de consumo.

CONCLUSIONES

La conclusión más interesante que se puede extraer de este trabajo es que existe una vía de transferencia en el binomio Investigación - Docencia que la mayoría de los profesores universitarios realizamos en nuestra labor diaria.

La trayectoria de veinte años de trabajo en tecnología FV de un grupo de investigación ha posibilitado la puesta en marcha una mención específica, a priori, no directamente

relacionada con el título de Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido promovido y financiado por el Vicerrectorado de Ordenación Docente de la Universidad de Jaén dentro de su Programa BIANUAL de Proyectos de Innovación Docente 2010-2012.

REFERENCES

- [1] Memorias de Verificación de los Títulos de Grado en Ingeniería de la Universidad de Jaén. Disponibles para su consulta y descarga en <http://eps.ujaen.es>.
- [2] J.V. Muñoz, J. de la Casa, M. Fuentes, J. Aguilera, J.C. Bertolin, "New portable capacitive load able to measure PV modules, PV strings and large PV generators. Proceedings of 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference , 4276 – 4280, Hamburgo, Alemania. Septiembre 2011.
- [3] "IEC 1829. Crystalline silicon photovoltaic PV array on-site measurement of I-V characteristics". Geneva. International Electrotechnical Commission IEC, 1995.
- [4] C.Podewils, J.Neuenstein, "Los módulos y sus curvas". Photon. La revista de fotovoltaica (Edición Española), 54-71, November 2009.
- [5] G.Blesser and D.Munro, "Guidelines for Assessment of Photovoltaic Plants. Document A. Initial and periodic test on PV plants". Report EUR 16340 EN. Issue 2 (1995).
- [6] J. Muñoz, E. Lorenzo, "Capacitive load based on IGBTs for on-site characterization of PV arrays", Solar Energy, 80, pp. 1489-1497, (2006).
- [7] F. Martínez-Moreno, E. Lorenzo, J. Muñoz and R. Moretón , "On the testing of large PV arrays". Progress in Photovoltaics: Research and Applications. (2011) doi: 10.1002/pip.1102.
- [8] Varios autores, "Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica". Serie Ponencias. CIEMAT. Madrid 2003
- [9] F.J. Muñoz, I. Echbarthi, G. Nofuentes, M. Fuentes, J. Aguilera, "Estimation of the potential array output charge in the performance analysis of stand-alone photovoltaic systems without MPPT (Case study: Mediterranean climate)". Solar Energy, Volume 83, Issue 11, Pages 1985–1997. November 2009.
- [10] S.G.Galán, J.C. Bago, J. Aguilera, J.R. Velasco, L. Magdalena, "Genetic Fuzzy Systems in Stand-Alone Photovoltaic Systems". I International Workshop in Genetic Fuzzy Systems. Granada, Marzo 2005.