

ACTIVIDADES DEL LABORATORIO DE ENERGÍA SOLAR DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Horn, M.¹ y Ramos, M.²

¹ Manfred Horn, e-mail: mhorn@uni.edu.pe

² Miguel Ramos, e-mail: mramos@uni.edu.pe
Centro de Energías Renovables, CER - UNI

RESUMEN

Un sistema fotovoltaico (SFV) está compuesto de un conjunto armonioso de partes que funcionará tan bien o mal como lo hagan sus componentes principales: módulo fotovoltaico (FV), regulador o controlador de carga y acumulador de energía eléctrica; complementariamente también sus componentes eventuales: inversor de corriente, convertidor de voltaje, cables de conexión y controles correspondientes.

Un SFV no se fabrica como tal sino se lo compone ensamblando los componentes fabricados independientemente unos de otros con características técnicas previstas para lograr acoples buenos, muy buenos o, tal vez, perfectos.

De otro lado, se ubica el usuario final que desea o exige determinados comportamientos técnicos del SFV acordes con sus necesidades, pretensiones o deseos de comodidad que se traducen en condicionamientos técnicos para el SFV y sus componentes que no son, necesariamente, coincidentes con las especificaciones técnicas ofrecidas por los fabricantes.

A efectos de lograr el mejor encaje entre esta oferta y esta demanda tecnológicas, existen normas y procedimientos de dimensionamiento, instalación y ensayos de los componentes del SFV así como del SFV en conjunto.

En este contexto, la presente ponencia detalla la organización y funcionamiento del Laboratorio de Energía Solar de la Universidad Nacional de Ingeniería (LES – UNI) respecto a su equipamiento para la evaluación experimental y certificación de componentes y SFV, así como de su infraestructura para evaluaciones fotométricas.

Además, en el LES-UNI se realizan los cursos prácticos de la Segunda Especialización Profesional en Energía Solar que ofrece la UNI desde 1980.

I. INTRODUCCIÓN

Desde más de 40 años se han realizado en la Universidad Nacional de Ingeniería actividades en relación a energías renovables, en particular energía solar. Especial mención merece la iniciación de un programa de Segunda Especialización Profesional en Energía Solar desde 1980 (ver: <http://fc.uni.edu.pe/sepes>), la realización del proyecto de cooperación técnica peruano-alemana de secado solar de productos agrícolas en los años 80 y la creación del Centro de Energías Renovables, CER-UNI en 1989 (ver: <http://cer.uni.edu.pe>).

Estas actividades requerían trabajos experimentales de enseñanza, de investigación científica y de desarrollo tecnológico. Estos trabajos se han realizado mayormente en laboratorios de las Facultades de Mecánica y Ciencias, llevando a la consolidación del Laboratorio de Energía Solar, LES, en base a un acuerdo entre la Facultad de Ciencias y el CER-UNI.

En el presente artículo se describen brevemente las diferentes actividades que se realizan actualmente el LES, dando énfasis al trabajo de la evaluación y certificación de sistemas fotovoltaicos. Algunos de estos trabajos serán presentados en el presente simposio en más detalle en otras ponencias por miembros del LES.

II. ACTIVIDADES DEL LES

En el LES-UNI se realizan actividades que se enmarcan dentro de los siguientes temas:

1. Investigación y desarrollo tecnológico
2. Capacitación
3. Enseñanza universitaria
4. Servicios diversos

II.1. Investigación y desarrollo tecnológico: se realiza actividades relacionadas al diseño, construcción, pruebas de funcionamiento y elaboración de resultados de tecnologías que utilizan para su funcionamiento la energía renovable. Mencionamos, como ejemplo, el desarrollo de una refrigeradora para regiones rurales que no requiere electricidad, usando un ciclo de adsorción del sistema agua-zeolita.

II.2. Capacitación: se realiza diversas actividades relacionadas a la capacitación de profesionales y/o personas de instituciones externas a la UNI en la operación de tecnologías de energías renovables. Como ejemplo tenemos los cursos de 4 semanas que se ofrecerán en el verano 2008 sobre generación y uso del biogas, calentamiento solar de agua, e instalación y aplicaciones de sistemas fotovoltaicos.

II.3. Enseñanza universitaria: la Facultad de Ciencias y el CER-UNI ofrecen anualmente la Segunda Especialización Profesional en Energía Solar bajo la modalidad semi-presencial. La parte práctica, que es realizada entre los meses de enero y febrero de cada año, contiene experiencias de laboratorio que involucra el análisis de comportamiento de tecnología de energía renovables, como también la evaluación integral de equipos como cocinas solares, sistemas fotovoltaicos y colectores solares (termas solares). Mas información se puede obtener en <http://fc.uni.edu.pe/sepes>.

II.4. Servicios diversos: el laboratorio ofrece su capacidad al análisis y estudio del comportamiento de tecnologías de energías renovables bajo procedimientos de ensayos propios y externos. Importante son en especial los servicios de ensayos de los diferentes componentes y sistemas fotovoltaicos, como de los sistemas integrados, siguiendo procedimientos internacionales y la norma técnico peruana NTP 399.403-2006 sobre sistemas fotovoltaicos.

III. EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN

En el presente capítulo se describe brevemente los equipos e instrumentos que tiene el LES. La Facultad de Ciencias además cuenta con un goniofotómetro el cual está en la capacidad de medir el flujo luminoso (medido en lumen) de lámparas, en particular de lámparas fluorescentes compactas usadas en Sistemas Fotovoltaicos. Este laboratorio de fotometría está a punto de implementar un espectrofotómetro con esfera integradora de 1 m de diámetro que permitirá medir con precisión el flujo luminoso de lámparas.

Los equipos e instrumentos que tiene el LES-UNI son agrupados de acuerdo a lo siguiente:

- Sistema de adquisición de datos
- Instrumentos de medición
- Equipos de potencia
- Dispositivo para el ciclado de lámparas

III.1. Sistema de adquisición de datos

La toma de datos se realiza de dos formas:

Adquisidor de datos, tipo acumulador, el cual captura y almacenan datos en su memoria RAM, estos adquisidores son programados mediante software propio, actualmente tenemos dos adquisidores ambos de ocho entradas analógicas, uno de 12 bits y otro de 16 bits

Adquisidor de datos, tipo tarjeta externa, tiene una capacidad de colección de hasta 32 señales análogas a la vez. La programación es realizada vía programa externo.

III.2. Instrumentos de medición

Parámetros ambientales, la toma de datos es realizada mediante una estación meteorológica la cual tiene la capacidad de medir los siguientes parámetros:

- Velocidad de viento
- Radiación global
- Temperatura ambiente
- Humedad relativa
- Presión atmosférica
- Volumen de lluvia

Además de la estación meteorológica tenemos sensores radiación, sensores de temperatura de módulos fotovoltaicos, anemómetros, registradores portátiles de temperatura, humedad y luminosidad

Parámetros eléctricos, para la toma de datos de parámetros eléctricos como, voltaje, corriente, resistencia, se utilizan los siguientes equipos seleccionados de acuerdo a su nivel de precisión:

En primera línea, tenemos un multímetro Fluke 189 N/S 93530013, con certificado de calibración No. 07-440 trazable a NIST del 24 de octubre del 2007

En la segunda línea tenemos:

- 01 multímetro de banco Fluke 45 de 4½ dígitos
- 02 multímetros Fluke 179

En la tercera línea se tiene:

- 01 multímetros YFE
- 02 multímetro Unitest Hexagon 520
- 06 multímetros TM 145

Se cuenta con un programa de calibración el cual indica los tiempos en el que cada equipo debe ser sometido al proceso de calibración, todos los multímetros, a excepción del de primera línea, son calibrados bajo un procedimiento propio en el mismo LES, mientras que el de primera línea es calibrado en un laboratorio externo cada año.

También contamos con:

- Una pinza amperimétrica para DC y AC
- Un osciloscopio portátil con software
- Un analizador de calidad de energía con software

III.3. Equipos de potencia

Para la simulación de módulos fotovoltaicos y para los procesos de carga en los ensayos de baterías se utilizan fuentes que operan como corriente y voltaje constante

Actualmente tenemos la capacidad de ensayar hasta 24 baterías por vez, para ello contamos con igual de número de fuentes de corriente y voltaje

III.4. Dispositivo para el ciclado de lámparas

Este equipo ha sido diseñado y construido en el LES-UNI, posee un temporizador y un contador capaz de ciclar hasta 45 lámparas a la vez, los tiempos son programados de forma externa bajo un sistema de mando alimentado a 220 VAC. La operación de la lámpara es por grupo, para ello se utilizan fuentes electrónicas de voltaje constante

IV. ENSAYOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICO

El LES-UNI realiza ensayos de laboratorio con el objeto de obtener el comportamiento de los componentes principales de un sistema fotovoltaico, para ello hace uso del instrumental antes indicado, los ensayos son realizados de acuerdo a lo indicado en los siguientes documentos:

- Procedimientos de medida de Sistemas Fotovoltaicos del CER-UNI, el cual se encuentra en proceso de elaboración, hecho sobre la base de las experiencias en el desarrollo de pruebas de laboratorio
- Procedimientos de ensayo de componentes del Instituto de Energía Solar de Universidad Politécnica de Madrid
- Procedimientos de ensayo de componentes de Sistemas Fotovoltaicos contenido en el Reglamento Técnico Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes

Los ensayos son realizados, de acuerdo a lo solicitado por el cliente, haciendo uso de algunos de los documentos antes mencionados. Los criterios de calificación son sugeridos por el LES-UNI o, por comparación de resultados acuerdo a lo requerido por el cliente.

A continuación indicamos los ensayos y parámetros capaces de ser obtenidos, los cuales son indicados por componentes:

A. Evaluación de módulos fotovoltaicos

- **Inspección visual**, se identifica de manera visual
 - Alguna imperfección en la celda como manchas, decoloraciones, roturas
 - Burbujas en el encapsulado
 - Estado de la cubierta de vidrio
 - Estado del tedlar
 - Firmeza entre el marco de aluminio, cubierta, tedlar
 - Parámetros principales indicados en la etiqueta
 - Estado de la caja de conexión
 - Presencia de diodos de by pass
- **Determinación de los parámetros principales de funcionamiento**
Para ello se obtienen valores promedio de voltaje de circuito abierto y de corriente de corto circuito, con ellos, y mediante el uso de ecuaciones e iteraciones se caracterizan y se estiman estos valores, de voltaje y corriente, al punto de máxima potencia a CEM¹

¹ CEM. Condiciones Estándar de Medida, 1000 W/m²; T=25°C; AM=1,5



Fotografía N° 1. Ensayo de módulos fotovoltaicos (fuente, Laboratorio de Energía Solar –UNI)

B. Evaluación de baterías

- **Recepción e inspección visual**, se identifica de manera visual
 - Estado del contenedor
 - Señalización de polaridad
 - Etiquetado
 - Estado de las tapas de las celdas
- **Capacidad inicial**, cantidad de carga eléctrica que posee una batería al ser entregada por el fabricante
- **Capacidad estabilizada**, cantidad de carga eléctrica que es capaz de almacenar una batería luego de un proceso de carga controlada
- **Autodescarga**, disminución de carga durante su almacenamiento
- **Densidad del electrolito**

Los ensayos de capacidad inicial y estabilizada son realizados a corrientes constantes de acuerdo al valor que sea requerido, a I_{10} , I_{50} , I_{100} , generalmente a I_{20} .



Fotografía N° 2. Ensayo de baterías, proceso de descarga (fuente, Laboratorio de Energía Solar –UNI)

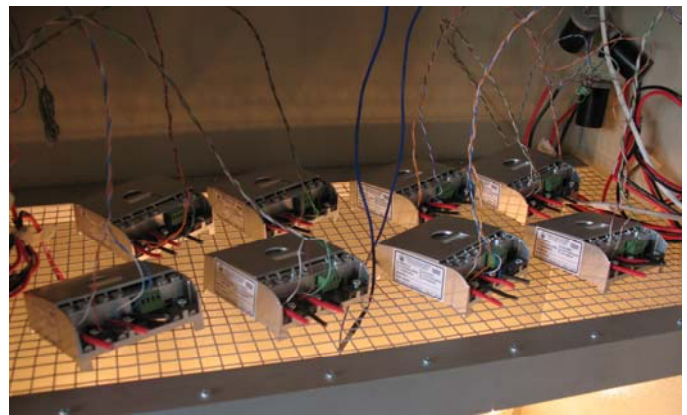
C. Evaluación de controladores de carga

- **Recepción e inspección visual**, se identifica de manera visual
 - Estado físico
 - Indicaciones de protección superficial
 - Etiquetado
- **Parámetros eléctricos**
 - Tensión de desconexión del consumo
 - Tensión de reposición del consumo
 - Tensión de desconexión y reposición de la carga del módulo fotovoltaico
 - Corriente nominal, lado del generador y del consumo
 - Autoconsumo
 - Caídas de tensión en los bornes del controlador
 - Evaluación de interferencias
 - Protecciones, como polaridad inversa y cortocircuito
 - Condiciones extremas
 - Interferencia, conducidas y transmitidas

Las pruebas indicadas pueden realizarse a diferentes temperaturas, por ejemplo a 40 °C y 0 °C



Fotografía N° 3. Ensayo de controladores a baja temperatura (fuente, Laboratorio de Energía Solar –UNI)



Fotografía N° 4. Ensayo de controladores a alta temperatura (fuente, Laboratorio de Energía Solar –UNI)

D. Evaluación de lámparas

- **Recepción e inspección visual**, se identifica de manera visual
 - Estado físico
 - Ennegrecimiento del tubo
 - Indicaciones del índice de protección superficial
- **Ciclado**, las lámparas son sometidas a sendos procesos de encendido y apagado con tiempos que son definidos de acuerdo a la capacidad de enfriamiento temperatura de su superficie
- **Potencia**, se mide la potencia real de operación luego de un determinado tiempo de “encendido” y en diferentes etapas del ensayo
- **Flujo luminoso**, para lámparas con rosca E27 es realizado mediante el uso de un goniómetro
- **Protecciones**, prueba de polaridad inversa
- **Condiciones extremas**, pruebas a temperaturas de 40 °C y 0 °C
- **Interferencia**, conducidas y transmitidas



Fotografía N° 5. Ensayo de lámparas, ciclado (fuente, Laboratorio de Energía Solar –UNI)

E. Inversor

- Potencia real
- Tipo de señal
- Tensiones entrada y salida
- Eficiencia para factores de carga
- Autoconsumo
- Desconexión y reconexión de consumo
- Frecuencia
- Protecciones
- THD en tensión
- Condiciones extremas de funcionamiento
- Interferencia

F. Convertidor DC/DC

- Inspección
- Capacidad
- Autoconsumo
- Interferencia

G. Sistema Integrado

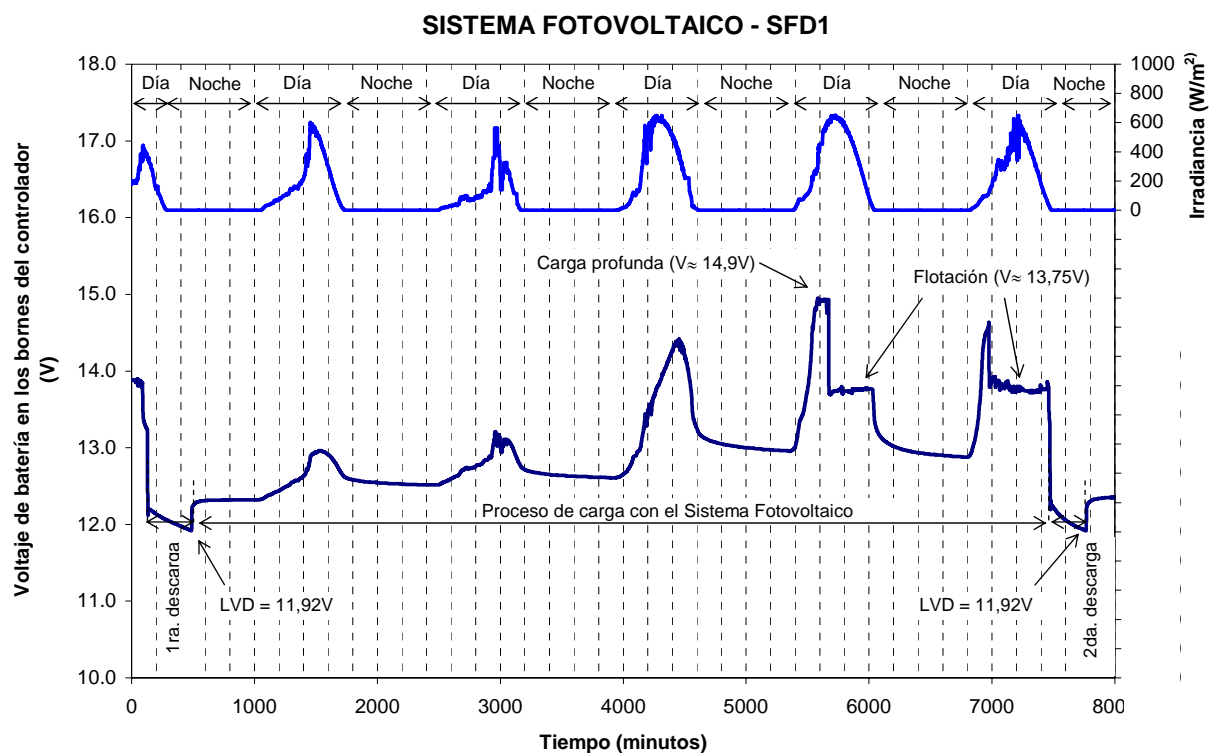
- Funcionamiento en conjunto

V. RESULTADO DE EVALUACIONES DE SISTEMAS INTEGRADOS

Procedimiento utilizado

Se realizan dos procesos de descarga a corriente controlada (corriente de diseño) y se realiza una comparación. El primer proceso de descarga es realizado luego de conectar una batería, con su capacidad estabilizada, (cargada previamente en el banco de ensayos), a la cual se le hace incidir 1,5 veces la radiación mínima del lugar de instalación. El segundo proceso de descarga es realizado luego que se deja incidir en la superficie del generador fotovoltaico hasta tres veces la radiación mínima del lugar de instalación. Se obtiene, con ello, la relación entre la segunda con la primera descarga, se espera que esta sea al menos el 95%.

A continuación se muestra un ejemplo de lo obtenido en un ensayo.



Gráfica N°1. Resultado del ensayo de un sistema fotovoltaico doméstico (fuente, Laboratorio de Energía Solar – UNI)

La curva superior muestra los valores de radiación instantánea durante el ensayo, mientras que la curva inferior muestra los valores de voltaje tomados en los bornes de controlador.

De la gráfica 1, mencionamos lo siguiente:

1. La toma de datos es minuto a minuto
2. Ambos puntos de corte de carga, conocidos por sus siglas en inglés como LVD son de 11,92V
3. Se observa, que el controlador evaluado posee un algoritmo de carga, que simula una fuente de voltaje constante, la cual tiene dos etapas, una, de carga profunda, luego de la activación LVD de aproximadamente 14,9 V la cual dura aproximadamente 2 horas, y una segunda etapa, de carga a voltaje constante de aproximadamente 13,75V.
4. Por el tipo de gráfica se concluye que el controlador es del tipo serie, las fluctuaciones registradas, mantienen voltaje constante, mientras que la corriente es llevada en tiempos cortos a cero.

5. Los procesos fueron realizados manteniendo constante la corriente de descarga, para esta experiencia a 4,2 A
6. Los valores de energía extraída entre la primera y segunda descarga arrojan una relación del 84%, lo que, dependiendo de los requerimientos del cliente, podría originar una regulación en los voltajes de flotación del controlador.

VI. COMENTARIOS FINALES

- La actividad de ensayos de sistemas fotovoltaicos y sus componentes se realiza en el LES-UNI desde la década de los 90. Durante estos años se ha mejorado el equipamiento en instrumentación, adquisición de datos y procedimientos de ensayos.
- Es importante los ensayos del comportamiento de sistemas fotovoltaicos ya que nos permite:
 - Verificar la características principales y compararlas con las nominales expresadas por el proveedor
 - Encontrar los puntos de voltaje en los que debe trabajar un controlador de carga para una mejor operatividad batería – controlador
 - Verificar la potencia real que un módulo fotovoltaico es capaz de generar
 - Verificar la capacidad real de una batería