



“Energía eléctrica limpia mediante celdas fotovoltaicas para la implementación en un sector de la Facultad de Sistemas de la Universidad Técnica de Ambato”

Carlos Salcedo *
Karen Ramírez **

RESUMEN

El propósito de este proyecto está enfocado a implementar un sistema fotovoltaico autosustentable en la Facultad de Ingeniería de Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato sobre la base de un análisis geoestacionario y la caracterización de la cantidad de radiación absorbida y difundida a través de la atmósfera en el punto específico establecido en función de cálculos matemáticos que determinan Valores Medios de Radiación Solar para todos los meses del año en función de latitud y longitud respecto a ejes geoestacionarios, el ecuatorial y el meridiano de Greenwich.

El proyecto tiene el carácter de secuencial y permanente, a medida que se vayan implementando los paneles y, en forma paulatina se deberá ir capacitando a los estudiantes en la operación y manejo de equipos y elementos constitutivos del proyecto actualizando la información, incluyendo una base de datos y un software para el registro continuo y el seguimiento del proyecto.

El sistema fotovoltaico consta de tres paneles solares de 100W, un regulador de 40A, un inversor de 2500W, tres luminarias de 70A, cuatro baterías de 105Ah, cables, y la estructura de soporte. Adicionalmente, se cuenta con la donación de siete paneles solares por parte del Instituto de Amistad Ecuatoriano – Chino.

Abstract

The purpose of this project aims to implement a self-sustaining photovoltaic system at the Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial of the Universidad Técnica de Ambato on the basis of a geostationary analysis and characterization of the amount of radiation absorbed and disseminated through the atmosphere at the specific point established on the basis of mathematical calculations to determine Solar Irradiation Mean Values for all months of the year depending on latitude and longitude on geostationary axis, the equator and the meridian of Greenwich.

The project is sequential and permanent character, as the panels are implemented, and should be gradually enabling students in the operation and management of equipment and elements of the project to update the information, including base data and software for continuous recording and monitoring.

The photovoltaic system consists of three solar panels and 100W, a controller of 40A, a inverter of 2500W, three lamps 70A, four batteries 105Ah, cables, and the support structure. Additionally, with the donation of seven solar panels by the Ecuadorian Institute of Friendship - Chinese.



* Ingeniero Electrónico, Docente Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, UTA
** Ingeniera Electrónica

PALABRAS CLAVES

Ambiente, Energía, Eficacia, Autosustentabilidad, Radiación.
Environment, Energy, Efficiency, Self-sustainability, Irradiation.

1. INTRODUCCIÓN**¿QUÉ ES UN SISTEMA FOTOVOLTAICO?**

Un conjunto de equipos construidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales:

Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica.
Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada.

Proveer adecuadamente la energía producida (el consumo) y almacenada.
Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada.

En el mismo orden antes mencionado, los componentes fotovoltaicos encargados de realizar las funciones respectivas son:

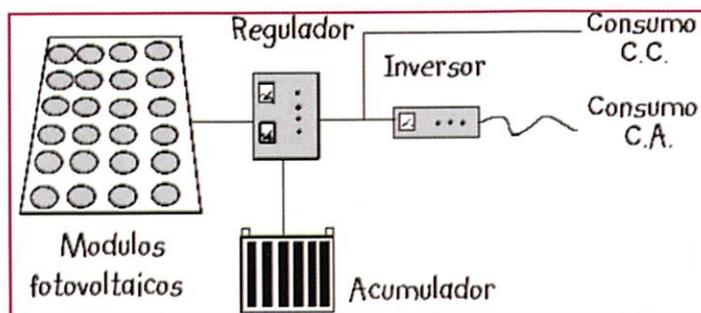


Fig. 1.1 Esquema de un sistema fotovoltaico

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA FV

En un sistema típico, el proceso de funcionamiento es el siguiente: la luz solar incide sobre la superficie del campo fotovoltaico, donde es transformada en energía eléctrica de corriente directa por las celdas solares; esta energía es recogida y conducida hasta un regulador de carga, el cual tiene la función de enviar toda o parte de esta energía hasta el banco de baterías, en donde es almacenada, cuidando que no se excedan los límites de sobrecarga; en algunos diseños, parte de esta energía es enviada directamente a las cargas. La energía almacenada es utilizada para abastecer las cargas durante la noche o en días de baja insolación, o cuando el campo fotovoltaico es incapaz de satisfacer la demanda por sí solo. Si las cargas a alimentar son de corriente directa, esto puede hacerse directamente desde el campo fotovoltaico o desde la batería; si, en cambio, las cargas son de corriente alterna, la energía proveniente del campo y de las baterías, limitada por el regulador, es enviada a un inversor de corriente, el cual la convierte a corriente alterna.

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES**REQUERIMIENTOS**

El objetivo de este proyecto es implementar un sistema de generación autosustentable de energía eléctrica fotovoltaica mediante paneles solares, por lo que primero, es necesario realizar un análisis de los niveles de radiación solar para la ciudad de Ambato a través del programa Retscreen, con los datos obtenidos se puede dimensionar los equipos necesarios para la implementación del sistema. Una vez ingresados los datos del Proyecto como la localización, la tecnología a utilizar, la capacidad de Energía y el factor de capacidad de la instalación, se procede a la importación de los datos meteorológicos del programa Retscreen, que son los datos de inicio para la elaboración de los cálculos para el diseño del Sistema Fotovoltaico a Implementarse en la Facultad.

Cabe mencionar que por la ubicación geográfica de la ciudad de Ambato (latitud: -1,2° Norte, longitud: -78,6° Occidente) se presentan dos condiciones climáticas: el periodo de lluvias que inicia en el mes de octubre y finaliza en el mes de mayo y el periodo seco que inicia en el mes de junio y finaliza en el mes de septiembre. Con



datos proporcionados por Retscreen y con la aplicación de la formulación respectiva, se determinaron valores promedios de radiación para los periodos especificados: Octubre – Mayo: 3,89 kWh/m² por día, Junio – Septiembre: 4,40 kWh/m² por día

DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

Con los datos obtenidos se procede a dimensionar los elementos requeridos para la implementación de este sistema, determinándose los siguientes parámetros:

- ❖ 3 Paneles Fotovoltaicos de 100Wp.
- ❖ 4 Baterías de 105Ah.
- ❖ 1 Regulador de Carga de 40A.
- ❖ 1 Inversor de 2500W.
- ❖ 3 Luminarias de 70W.

INSTALACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Se determina el sitio donde se pueden colocar los paneles, su orientación en dirección norte y una inclinación aproximada de 10° a 15° para el caso de Ecuador.

SOPORTES UTILIZADOS PARA LA INSTALACIÓN

Están contruidos con perfiles de acero galvanizado en caliente, tratamiento que asegura una protección completa contra las inclemencias climatológicas y, por tanto, una mayor duración y mantenimiento nulo.

CONEXIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS: SECCIÓN DEL CABLEADO

Los paneles se conectan en paralelo y se podrán emplear tantos módulos como admita el regulador de carga. El conductor a emplear nunca deberá tener una sección menor de conductor N° 12AWG y se permitirá una sección máxima de conductor N° 6AWG. Para este caso se emplea conductor de calibre N° 12AWG para la conexión en paralelo de los paneles fotovoltaicos.

INSTALACIÓN DEL BANCO DE BATERÍAS

Para almacenar la energía eléctrica generada durante las horas de radiación, se empleó un Banco de Baterías, para su utilización posterior en los momentos de baja o nula insolación, para su conexión se empleó conductor calibre N°8 AWG. Los terminales de las baterías se conectaron en paralelo.

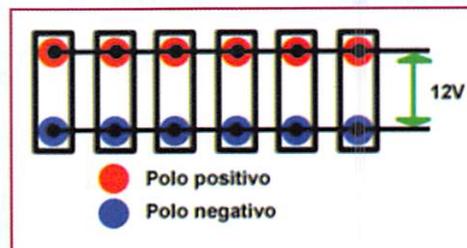


Fig. 2.1 Conexión de las Baterías

INSTALACIÓN DEL REGULADOR

Para instalar el regulador se requiere desconectar la batería y el campo FV antes de efectuar el cableado. Situar el puente de selección de tensión en 12V antes de suministrar alimentación al sistema.

CABLEADO DEL MODO DE REGULACIÓN DE CARGA FV

- ❖ Los campos fotovoltaicos generan corriente siempre que la luz incide en su superficie. Antes de conectar el regulador, se deberá cubrir o desconectar dicho campo para evitar que se genere corriente.
- ❖ Retirar los tapones de paso de la carcasa del regulador y pasar los cables de conexión por ellos.
- ❖ Conectar la salida del positivo (+) del campo FV al borne marcado PV POS/LOAD situado en la parte inferior de la tarjeta de circuito del regulador y apretar las orejetas.
- ❖ Conectar la salida del negativo (-) del campo FV al borne COMMON NEGATIVES y apretar las orejetas.
- ❖ Conectar el cable positivo (+) del banco de baterías al borne marcado BAT POS



- y apretar las orejetas.
- ❖ Conectar el cable negativo (-) del banco de baterías al borne marcado COMMON NEGATIVES y apretar las orejetas.
- ❖ Sujetar el cableado con abrazaderas contra tirones después de dejar un pequeño trozo sobrante dentro de la carcasa para evitar daños a la tarjeta de circuito del regulador.

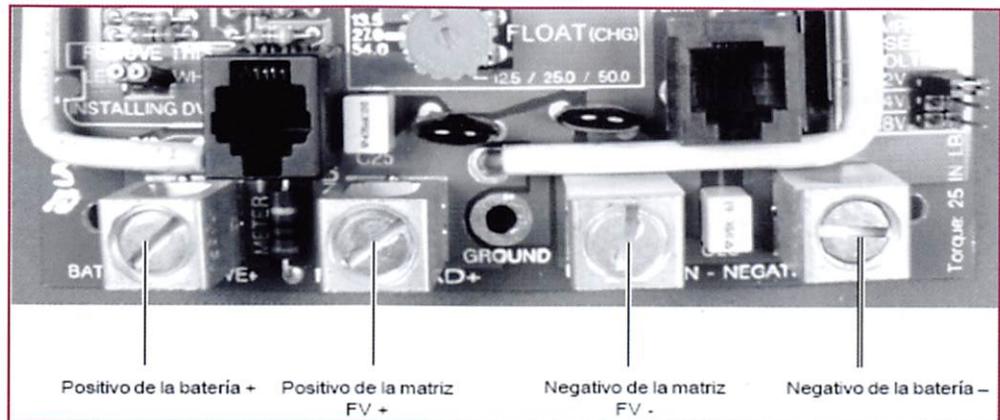


Fig 2.2 Cableado del modo de regulación de carga FV

CONEXIÓN A TIERRA

Los reguladores están diseñados para trabajar con sistemas eléctricos con el negativo a tierra y sin tierra. El bastidor metálico de este regulador se debe conectar a tierra siempre, mediante un cable de cobre conectado a un electrodo de toma de tierra, que puede ser una barra de toma de tierra introducida en el suelo.

INSTALACIÓN DEL INVERSOR

Para funcionar con seguridad y eficacia, el inversor necesita los cables y fusibles apropiados. Debido a la entrada de bajo voltaje y alta corriente es esencial que se utilice el cableado de baja resistencia entre las baterías y el inversor para entregar la cantidad máxima de energía usable a su carga, en este caso se debe utilizar un conductor de calibre N°8 AWG para las conexiones en el panel de DC y conductor de calibre N°12 AWG para las conexiones en el panel de AC, del inversor.

CONEXIONES DE CORRIENTE ALTERNA

Se puede conectar las cargas de CA directamente en los receptáculos del panel delantero del inversor. La potencia de salida a cada receptáculo es limitada por un interruptor de 1500W (15 A).

CONEXIÓN DE TIERRA DEL CHASIS

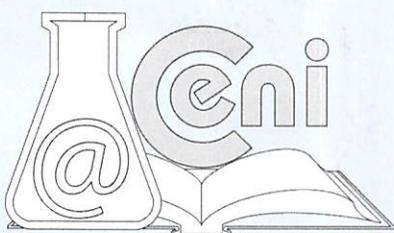
El inversor tiene un conector de tierra del chasis en el panel trasero. Esta se utiliza para conectar el chasis del inversor con el punto que pone a tierra la CC del sistema según lo requerido por regulaciones para instalaciones. No utilice la tierra de CC para poner a tierra la CA.

Para conectar el cable con la tierra del chasis:

- ❖ Asegúrese que el interruptor de encendido ON/OFF del inversor esté en la posición de apagado.
- ❖ Afloje el tornillo de tierra del chasis usando un destornillador.
- ❖ Tirar 3/8" (9,5 mm) del aislamiento a partir de un extremo del cable.
- ❖ Poner un extremo del cable en tierra.
- ❖ Apriete la tierra del chasis.

CONEXIONES DE CORRIENTE CONTINUA

- ❖ Conecte los cables de la fuente de CC del banco de baterías al inversor.
- ❖ Instale un fusible y desconecte el switch o breaker entre el inversor y el banco



de baterías.

- Una con un conector el cable positivo al terminal positivo de corriente continua en el extremo de CC del inversor, y luego una el otro conector del terminal positivo (+) al fusible o breaker.
- Conecte un conector en el cable negativo al terminal negativo en el extremo de CC del inversor. Antes de proceder, compruebe que la polaridad del cable está correcta, y después conecte el otro extremo del cable con signo negativo (-) al terminal negativo del banco de baterías.
- Una las cubiertas de los terminales de CC.
- Antes de continuar, comprobar que se han conectado los cables correctamente, positivo con positivo, negativo con negativo.

Girar el switch de desconexión o el breaker del banco de baterías.

Mueva el interruptor de encendido ON/OFF del inversor a la posición de trabajo.

Comprobar la visualización del voltaje de entrada. Debe mostrar entre 12 y 13V, dependiendo de la condición del banco de baterías. Si no lo hace, comprobar el banco de baterías, la conexión al inversor y el estado de la carga.

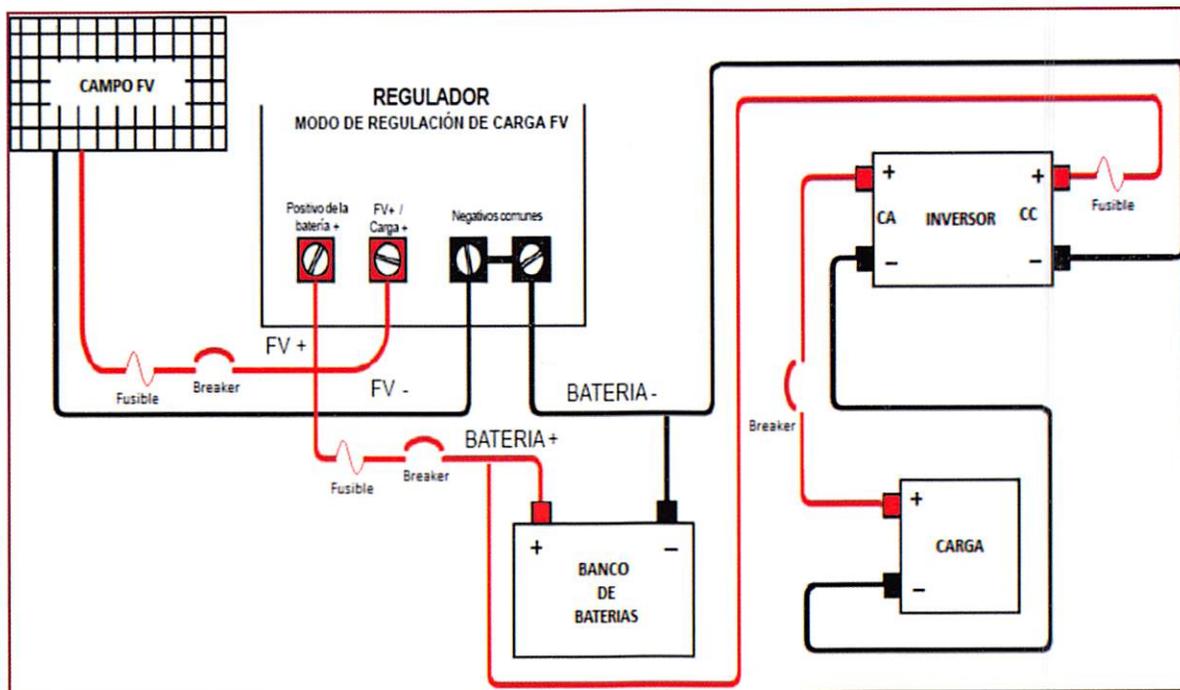


Fig 2.3 Diagrama del cableado del Inversor al Banco de Baterías y a la Carga.

INSTALACIÓN ELÉCTRICA

En la instalación eléctrica se debe contemplar todos los puntos necesarios para poder suministrar la energía eléctrica producida por la central fotovoltaica a las luminarias Metal Halide de 70W ubicadas en el ágora de la Facultad. Para ello es necesario dimensionar los conductores según las características de cada uno, seleccionándose el conductor de calibre N°12 AWG, que va desde el inversor en la parte de AC a la carga y se protegió la instalación colocando breakers para proteger al sistema frente a riesgos eléctricos. La conexión de la carga al inversor va:

- Del positivo del inversor en el panel de AC al positivo del breaker.
- Del negativo del breaker al positivo de la carga.
- Del negativo del inversor en el panel de AC al negativo de la carga.

3. RESULTADOS

Para utilizar el máximo rendimiento de los paneles solares, se debe realizar un estudio de la zona determinando el mejor sitio de ubicación. Los paneles fotovoltaicos



se colocaron en la terraza del edificio de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato (FISEI - UTA).



Fig 3.1 Fachada frontal del edificio de FISEI – UTA



Fig 3.2 Terraza del edificio FISEI – UTA

DETALLE DE LA CARGA

La iluminación que se implementa con energía fotovoltaica consta de tres luminarias Metal Halide de 70W/115V AC c/u, con un funcionamiento promedio de 4 horas diarias, sustituyendo las tres luminarias de sodio de 150W existentes, destinadas al alumbrado del ágora de la Facultad, las luminarias se deben conectar en forma independiente, con todas las protecciones y equipos de control necesarios para mantener las condiciones operativas de manera eficiente.



Fig 3.3 Carga Instalada actualmente en FISEI – UTA



SELECCIÓN DE LOS MÓDULOS

Los tres módulos de la instalación son fabricados en silicio policristalino, modelo ETP-636100 con potencia nominal de 100 Wp. Adicional a esto y por motivo de donación se instalan siete módulos de silicio amorfo de una potencia promedio de 10Wp.



Fig 3.4 Módulos Fotovoltaicos Instalados

TIPO DE CONEXIÓN

Se escoge un arreglo fotovoltaico conectado en paralelo. Con esta configuración, la conexión eléctrica del arreglo tienen una potencia nominal de 370Wp, proporcionando una tensión máxima al campo fotovoltaico de 17,5Vcc y una intensidad máxima de 17,70 A.

BANCO DE BATERÍAS

Para almacenar la energía eléctrica generada durante las horas de radiación, se empleó un Banco de Baterías, para su utilización posterior en los momentos de baja o nula insolación.

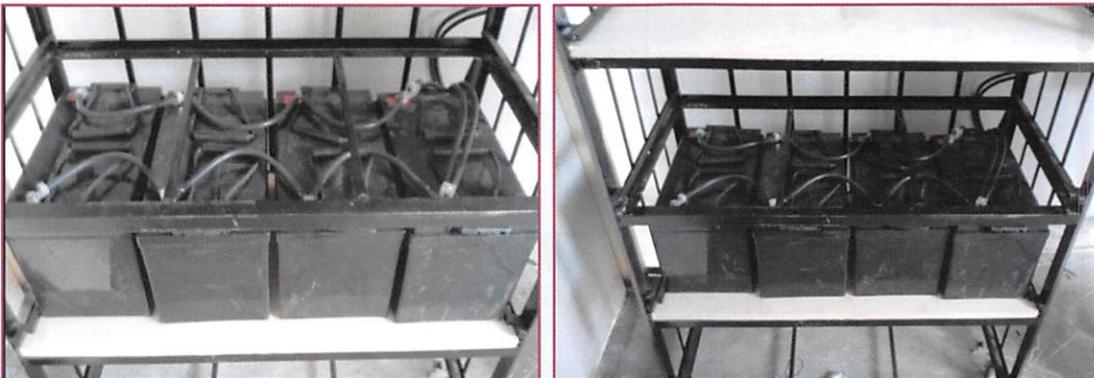


Fig 3.5 Ubicación del Banco de Baterías

En este proyecto se utilizan 4 baterías de plomo ácido (Pb-ácido) **SELLADAS** marca Coopower, modelo CP12V – 105AH, con un voltaje de almacenamiento de 12V y una profundidad máxima de descarga profunda u ocasional de 0,6 (PDmáx). Estas baterías tendrán que ser capaces de suministrar energía eléctrica a las luminarias de la Facultad durante un periodo de 3 días de forma autónoma.

REGULADOR CONTROLADOR DE CARGA

El regulador de carga realiza un ciclo rápido de activación y desactivación de la fuente de corriente para controlar la corriente y la tensión de la batería. En el caso de una desconexión, el regulador se rearmará automáticamente transcurridos diez minutos (si no persisten las condiciones de sobrecarga). Al utilizarlo como controlador de carga solar, el regulador puede controlar el funcionamiento de grupos de 12, 24 ó 48 VCC. El regulador utilizado es marca XANTREX 40Amp/12V, modelo C40.

SELECCIÓN DEL INVERSOR

La instalación de los módulos fotovoltaicos produce una potencia nominal instalada



de 370Wp, por lo que se decide instalar un inversor, con potencia nominal de 2,5kW. De esta forma sobredimensionamos la instalación para posibles ampliaciones sin la necesidad de cambiar ninguno de sus elementos. Simplemente se tendría que añadir más paneles fotovoltaicos para una proyección futura. El inversor escogido es Xantrex 12Vdc/ 115Vac, de 2500W Onda senoidal modificada Modelo Xpower 3000 Plus.

SELECCIÓN DE LOS CONDUCTORES

PASO DE LA CORRIENTE CONTINUA (CC): Los conductores usados para la conexión son de aislamiento simple y tensión de 600V. La conexión del Campo Fotovoltaico hacia el Regulador, es de cable flexible, bipolar de sección nominal (#) 3,31mm² de Calibre (#) 12AWG. La conexión entre el regulador y el banco de batería es de cable flexible, bipolar de sección nominal (#) 3,31mm² de Calibre (#) 12AWG y del banco de baterías al Inversor, es de cable flexible, bipolar de sección nominal (#) 8,37mm² de Calibre (#) 8AWG. Estos cables se conectan en los propios módulos y en los perfiles del sistema de sustentación a través de grapas metálicas. Como la corriente prevista para el campo Fotovoltaico es de 17,70 A y la distancia máxima de cada tramo del cable es de aproximadamente 5 mts del campo fotovoltaico al regulador y 1mts del regulador hacia el banco de baterías y del regulador al inversor respectivamente, el uso de estos cables mantiene una caída de tensión inferior al 1%.

PASO DE CORRIENTE ALTERNA (AC): Los conductores que se usan para la conexión de la salida del inversor a la carga, son monofásicos (fase y neutro) con aislamiento doble y de tensión de 600V, con sección nominal (#) 3,31mm² de Calibre (#) 12AWG. Como la corriente de salida máxima del inversor es de 1,82A y la distancia entre el inversor y la carga es de aproximadamente 20mts, los cables escogidos mantienen una caída de tensión inferior al 1%.

PROTECCIÓN

PASO DE CORRIENTE CONTINUA (CC): La protección usada entre el campo fotovoltaico y el regulador es un fusible con el aislamiento para 600V de 32A, y entre el regulador y el banco de baterías es de 20A.

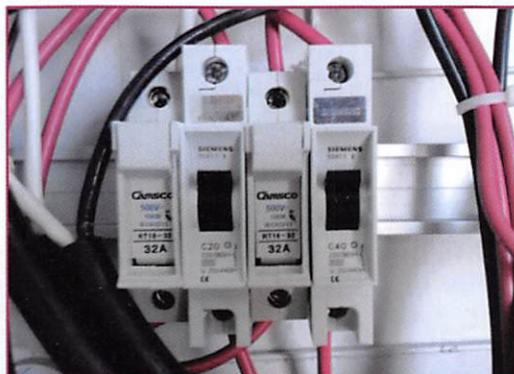
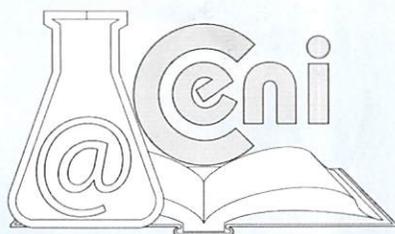


Fig. 3.6 Detalle de protección en CC.

PASO DE CORRIENTE ALTERNA (AC): La protección usada entre el inversor y la carga, en el tramo del circuito de corriente alterna es un fusible con el aislamiento para 500V de 100A. La conexión va del positivo del inversor en la placa de CC al fusible de 100A que protege al circuito tanto contra sobrecargas como contra cortocircuitos.

Esta protección también sirve para abrir el circuito, aislando la producción fotovoltaica restante de la instalación y haciendo posible el mantenimiento de los equipos de corriente alterna sin riesgos al sistema.



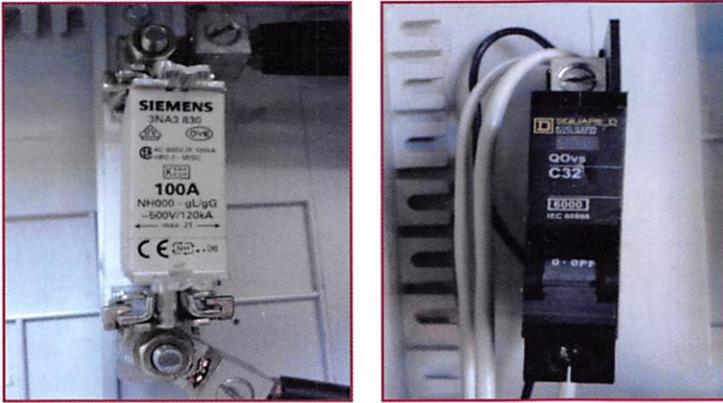


Fig. 3.7 Detalle de protección en CA.

VISIÓN GLOBAL DEL SISTEMA

A continuación se muestra el sistema fotovoltaico instalado en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.

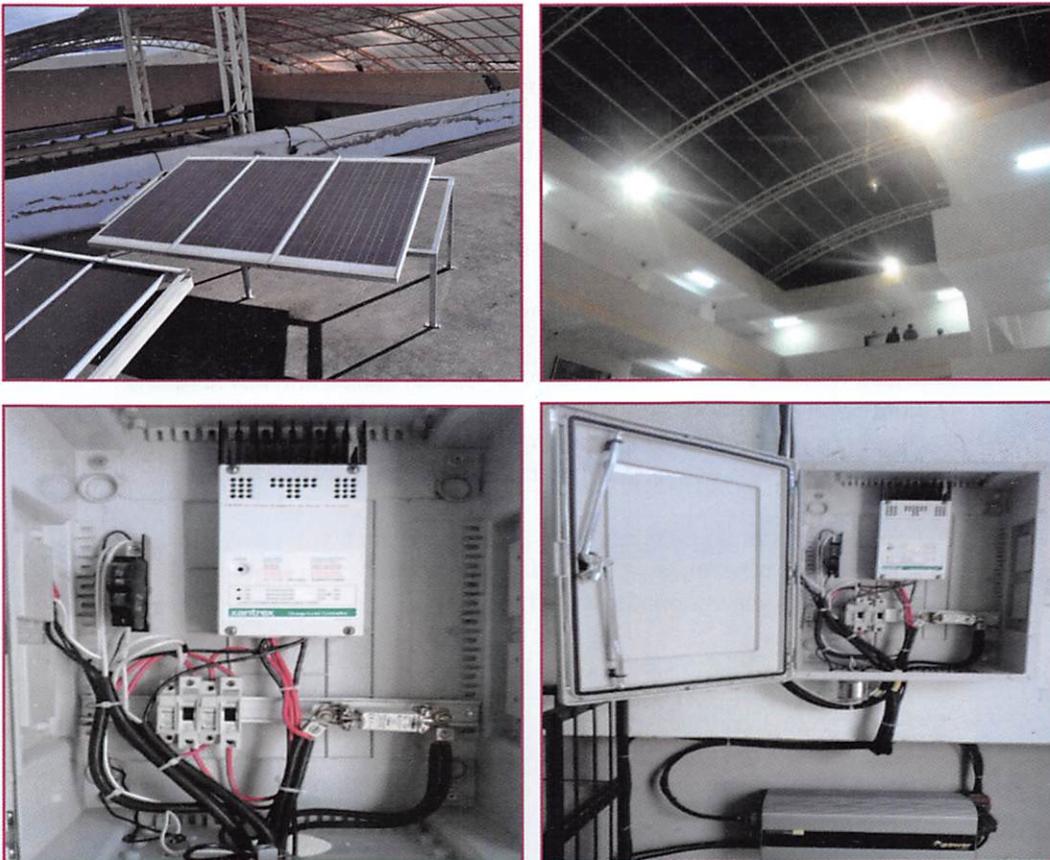


Fig. 3.8 Sistema Fotovoltaico Instalado

4. DISCUSIÓN

El proyecto implementado, constituirá un punto de partida para emprender en la investigación y desarrollo de tecnologías diferentes a las convencionales, que posibiliten la implementación y utilización de recursos nuevos, cuyo valor agregado será la auto sustentación de la Facultad en lo que a compra de energía se refiere y la posibilidad de generar la misma para cubrir los picos de carga del total del requerimiento energético del campus universitario que además, elevará la imagen académica dentro y fuera de la Universidad, permitiendo a la UTA transformarse en la pionera y líder en la investigación de este tipo de proyectos.

La sustentabilidad está asegurada, y a futuro, podrá ser el Centro de Investigaciones



(CENI) de la FISEI, el encargado de la promoción de esta tecnología. Este emprendimiento tendrá vigencia debido al hecho de que permanentemente se incorporara nuevos elementos al sistema, así como el mantenimiento y operación de los ya existentes, necesitando una capacitación permanente de los estudiantes y operadores del sistema.

5. RECOMENDACIÓN

Es recomendable que la FISEI de la mano de la Universidad motive y comience a generar mas proyectos basados en energías renovables, esto generará a más de un ahorro económico una vinculación directa con la nueva tecnología y por ende con la sociedad.

5. REFERENCIAS

Información Básica: Introducción y Conceptos Básicos de Energías Renovables

- ◆ **Energía Solar en el mundo (2007).** Disponible en: <http://www.energias-renovables.com/paginas/ContenidoSecciones.asp?ID=15&Cod=18&Tipo=&Nombre=Solar%20fotovoltaica>.
- ◆ **Presentación Solar Generation 2007.** Disponible en: <http://www.google.com.ec/#q=presentaci%C3%B3n-solar-generation.pdf&hl=es&biw=1440&bih=683&source=Int&sa=X&ei=0-HSTMOgMoOB8gaBz34Dg&ved=0CAYQpwU&fp=ac6b56319790911>
- ◆ **Junta de Castilla y Leon.** Guía de usuario de Energía Solar fotovoltaica. Disponible en: http://www.res-regions.info/fileadmin/res_e_regions/WP_2/EREN_Project_developers_leaflet_WP2_Guide_Solar_PV_EREN.pdf
- ◆ **Conductores Electricos** Concepto y Tipos. Disponible en: http://www.proco-bre.org/archivos/peru/conductores_electricos.pdf
http://www.retscreen.net/es/d_data_w.php
- ◆ **Pascual A.** Sistemas de energía solar. Disponible en: http://www.it46.se/courses/wireless/materials/es/15_Energía-Comunicaciones/15_es_energía_solar_comunicaciones_dimensionado_rc1.pdf

