

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN**



**Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables**

**“Diseño e implementación de un analizador con sistema Scada para evaluación de parámetros de funcionamiento de un mini parque solar fotovoltaico de 2.0 kW en sistemas aislados y conectados a red para la UNAJ”.**

**Tipo de investigación: Investigación científica de desarrollo tecnológico**

**Línea de investigación: Tecnologías para la generación de energía eléctrica, datos del sistema solar conectado a la red.**

**INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN**

Juliaca- Perú

2019

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

## **COMISION ORGANIZADORA**

Dr. Freddy Martín Marrero Saucedo  
**Presidente de Comisión Organizadora**

Dr. Percy Francisco Gutiérrez Salas  
**Vicepresidenta Académica**

Dr. Domingo Jesús Cabel Moscoso  
**Vicepresidente de Investigación**

## **DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN**

Dra. Ingrid Rossana Rodríguez Chokewanca  
**Director (e) General de Investigación**

## **EQUIPO DE INVESTIGACIÓN**

### **Investigador principal**

M.Sc. Reynaldo Condori Yucra

### **Co-investigadores**

Ph.D. Norman Jesús Beltrán Castañón

Ing. Isis Cristel Cordova Barrios

### **Co-investigadores Externos:**

Ph.D. César Armando Beltrán Castañón  
Doctor en BioInformática – USP – Brasil

M.Sc. José Manuel Ramos Cutipa

### **Estudiantes:**

Milagros Lizet Jimenez Pongo

Frey Paul Chambi Vilcapaza

Henry Josue Condori Quilla

Juan Andres Portugal Bellido

Mario Angel Flores Ponce

Romael Elías Mamani Pampa

### **Personal Administrativo:**

Nurcia Maria bustincio Turpo

Gladis Rogelia Rojas Nina

## **DEDICATORIA**

Los profesionales que investigan  
Las energías renovables  
En el Perú y el mundo

## **AGRADECIMIENTOS**

A los docentes, estudiantes y administrativos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables de la Universidad Nacional de Juliaca, con eterna gratitud a todos, quienes fueron los motivadores para caminar en un proyecto de investigación, a ellos agradecemos por sus consejos, orientación y enseñanza que hizo posible la culminación del presente trabajo de investigación.

<b>CAPITULO 1 - MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
1.1 Trabajos teóricos científicos previos relacionados con la investigación. ....	8
1.1.1 Introducción .....	8
1.1.2 La Célula Fotovoltaica. ....	9
1.1.3 Composición de una Célula Fotovoltaica. ....	10
1.1.4 Modulo Fotovoltaico. ....	11
1.1.5 Generador Fotovoltaico. ....	12
1.1.6 Producción de energía de un sistema fotovoltaico. ....	13
1.1.7 Sistemas conectados a la Red (Grid Connected). ....	14
1.1.8 Sistemas Aislados (Stand Alone). ....	15
1.1.9 Aplicaciones de un sistema fotovoltaico. ....	16
1.1.10 Ventajas de un sistema Fotovoltaico. ....	17
1.1.11 Inconvenientes de un sistema fotovoltaico. ....	18
1.1.12 Barreras para su desarrollo. ....	18
 <b>CAPITULO 2 - METODOLOGÍA .....</b>	 <b>19</b>
2.1 Tipo de Investigación. ....	19
2.2 Carácter de la Investigación. ....	19
2.3 Unidad de Análisis, población y fijación de la muestra estadística. ....	19
2.4 Materiales y métodos. ....	19
2.4.1. Diseño Experimental de la investigación. ....	20
 <b>CAPITULO 3 - RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	 <b>23</b>
3.1 Introducción .....	23
3.2 Sistema fotovoltaico. ....	24
3.3 Sistema de monitorización. ....	27
3.4 CÁLCULOS DE INGENIERÍA .....	30
3.4.1. Cálculos en base a la norma IEC 61724-2017. ....	30
3.5 Evaluación de los parámetros del SFCR-UNAJ .....	35
3.5.1 Comportamiento de la temperatura del módulo media mensual. ....	36
3.5.2 Comportamiento de la temperatura de ambiente media mensual. ....	37

3.5.3	Comportamiento de la irradiancia media mensual.....	37
3.5.4	Comportamiento de la irradiación promedio diaria mensual.....	38
3.5.5	Comportamiento del promedio mensual de la eficiencia del arreglo. . .....	39
3.5.6	Comportamiento del promedio mensual de la eficiencia del sistema... .....	39
3.5.7	Comportamiento del rendimiento final y pérdidas del sistema.....	40
3.5.8	Comportamiento de la eficiencia del balance del sistema. ....	41
<b>CAPITULO 4 - CONCLUSIONES.....</b>		<b>42</b>
<b>CAPITULO 5 - RECOMENDACIONES.....</b>		<b>43</b>
<b>CAPITULO 6 - REFERENCIAS .....</b>		<b>44</b>

## Lista de figuras

FIGURA 1. DIAGRAMA DE FLUJO DE ENERGÍA (ABELLA, 2005) .....	8
FIGURA 2. CONVERSIÓN DE FOTOVOLTAICA (ABELLA, 2005).....	10
FIGURA 3. FOTOVOLTAICA PARA PROFESIONALES (REMMERS, 2008) .....	10
FIGURA 4. MANTENIMIENTO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS (LÓPEZ, 2010).....	11
FIGURA 5. EVOLUCIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS. MANTENIMIENTO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS (LÓPEZ, 2010).....	12
FIGURA 6. MANTENIMIENTO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS (LÓPEZ, 2010).....	13
FIGURA 7. MANTENIMIENTO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS (LÓPEZ, 2010).....	14
FIGURA 8. SISTEMAS CONECTADOS A LA RED (LÓPEZ, 2010).....	15
FIGURA 9. MANTENIMIENTO DE EQUIPOS FOTOVOLTAICOS (LÓPEZ, 2010).....	16
FIGURA 10. INVERSOR PARA LA CONEXIÓN A RED MARCA STECA.....	26
FIGURA 11. INTERCONEXIÓN DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS Y PEINADO DE CABLES. ....	26
FIGURA 12. PREPARACIÓN DEL SOPORTE METÁLICO PARA LA INSTALACIÓN DE LOS 12 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS. ....	27
FIGURA 13. PANELES FOTOVOLTAICOS Y SOPORTE DE PANELES.....	27
FIGURA 14. ESQUEMA DE CONEXIONES DE LA INSTRUMENTACIÓN. ....	28
FIGURA 15. CONJUNTO INSTRUMENTAL DE LA MARCA CARLO GAVAZZI.....	29
FIGURA 16. INTERFAZ DEL MONITOREO DEL SFCR.....	30
FIGURA 17. TEMPERATURA DEL MÓDULO MEDIA MENSUAL SFCR-UNAJ. ....	36
FIGURA 18. TEMPERATURA DEL AMBIENTE MEDIA MENSUAL SFCR-UNAJ. ....	37
FIGURA 19. IRRADIANCIA MEDIA MENSUAL SFCR-UNAJ. ....	38
FIGURA 20. PROMEDIO DIARIA MENSUAL DE LA IRRADIACIÓN. ....	38
FIGURA 21. PROMEDIO MENSUAL DE LA EFICIENCIA DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO. ....	39
FIGURA 22. PROMEDIO MENSUAL DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA. ....	40
FIGURA 23. PROMEDIO MENSUAL DEL RENDIMIENTO FINAL Y PÉRDIDAS.....	41
FIGURA 24. COMPORTAMIENTO PROMEDIO MENSUAL DE LA EFICIENCIA DEL BALANCE DEL SISTEMA .....	41

## **Lista de Tablas**

TABLA 1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MODULOS FOTOVOLTAICOS.....	24
TABLA 2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL INVERSOR.....	25
TABLA 3. DATOS DE PROCESO SEGÚN LA NORMA IEC 61724-2017.....	30

## RESUMEN

En la actualidad los problemas por el uso de energía convencional; la cual tiene origen de generación en las centrales hidráulicas, térmicas o nucleares que dañan el ecosistema donde operan las mismas; todo esto afecta al medio ambiente en magnitudes grandes (áreas extensas) destruyendo a flora y fauna de nuestra región y Perú.

El proyecto de investigación es de tipo práctico, el diseño y la implementación permitirá la toma y análisis de datos, tales como la fuerza electromotriz generada por el sistema, potencia y frecuencia.

Por otro lado, los parámetros de funcionamiento de la Mini planta Solar Fotovoltaica de 2.0 KW de potencia en sistema aislado y conectado a la red eléctrica, serán evaluados gracias al tipo de tecnología utilizado, el cual es de 10 paneles fotovoltaicos, regulador de carga, acumuladores e inversores trifásicos de tipo senoidal. Para el caso de que el sistema se conecte a la red eléctrica será necesario implementar un sincronizador de secuencia en fase, que será supervisado con un sistema de control y adquisición de datos (SCADA).

**Palabras claves:** SCADA, conectado a la red, sistemas aislados, sensores, potencial energético.

# INTRODUCCIÓN

## **Descripción y planteamiento del problema**

El sistema convencional energético usado en la actualidad contamina y daña en proporciones grandes al medio ambiente, como son las centrales hidráulicas que destruyen hectáreas inmensas de bosques o selvas, flora y fauna; las centrales térmicas contaminan al medio ambiente con CO y CO<sub>2</sub>; y las centrales nucleares generan desechos radioactivos y si no se almacenan adecuadamente en contenedores radioactivos, estos causan degeneración y muerte celular a la población más cercana.

En la región de Puno, no se tiene experiencias para evaluación del comportamiento de Mini Parques Solares Fotovoltaicos, en sistemas aislados y sobre todo en sistemas conectados a la red eléctrica. Por lo tanto, el presente trabajo de investigación busca evaluar los parámetros de funcionamiento de un Mini Parque Solar Fotovoltaico de 2.0 KW el cual servirá como prototipo para implementar este sistema en el sistema eléctrico de sectores rurales y urbanos.

¿En qué medida el Mini Parque Solar Fotovoltaico de 2.0 KW dará a conocer nuevas técnicas de evaluación de parámetros de funcionamiento el sistema solar fotovoltaico?

## **Objetivo general**

Diseñar e implementar de un analizador con sistema SCADA para evaluación de parámetros de funcionamiento de un mini parque solar fotovoltaico de 2.0 kw en sistemas aislados y conectados a red para la UNAJ.

## **Objetivos específicos**

- Diseñar un mini parque solar fotovoltaico para la evaluación de parámetros e indicadores fotovoltaicos.

- Dimensionar y seleccionar los dispositivos adecuados para la medición de parámetros del mini parque solar fotovoltaico.
- Implementar, configurar y programar el entorno de supervisión SCADA para la evaluación de parámetros fotovoltaicos.
- Realizar la interconexión de un sistema aislado a un sistema interconectado de red eléctrica.
- Análisis de datos con el Sistema SCADA.

### **Contexto de la investigación**

A partir del Convenio específico de cooperación académica entre la Universidad de Jaén (España) y la Universidad Nacional de Juliaca (Perú) se está llevando el proyecto “Emergiendo con el sol” la cual implementaron cuatro sistemas fotovoltaicos conectados a la red en tres universidades: Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ), Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Universidad Nacional de San Agustín (Arequipa) y Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (Tacna). Los mencionados sistemas vienen generando energía y almacenamiento de datos los cuales serán procesados para generar proyectos de investigación y artículos.

En el proyecto de investigación, ha tenido cambios por el convenio de la universidad nacional de Juliaca y la universidad de JAEN –ESPAÑANA, se tuvo cambios como la potencia instalada antes de 2.0KW ahora de 3.0 kW, por lo que ahora se tiene la cantidad de doce paneles, con una potencia cada uno de 250Wp, como el monitoreo en base a la norma IEC 61724-2017

Los cuales contemplan las características del SFCR-UNAJ de 3.0KW los cuales son: como la irradiación, la energía, el rendimiento final, la eficiencia del sistema y rendimiento global, definidas en la Norma IEC 61724-2017, por lo que se obtendrá una mejor evaluación.

# CAPITULO 1 - MARCO TEÓRICO

## 1.1 Trabajos teóricos científicos previos relacionados con la investigación.

### 1.1.1 Introducción

#### El sol como fuente de energía renovable

La energía solar, asociada al enorme flujo de radiaciones emitido por el sol y capturado por nuestro planeta, es el origen de la vida y permite perpetuarse, marca además el tiempo de los ciclos biológicos y de las estaciones. Desde siempre el hombre ha puesto en el sol sus esperanzas, sus necesidades de seguridad y prosperidad y ha utilizado su energía como fuente de calor y de luz.

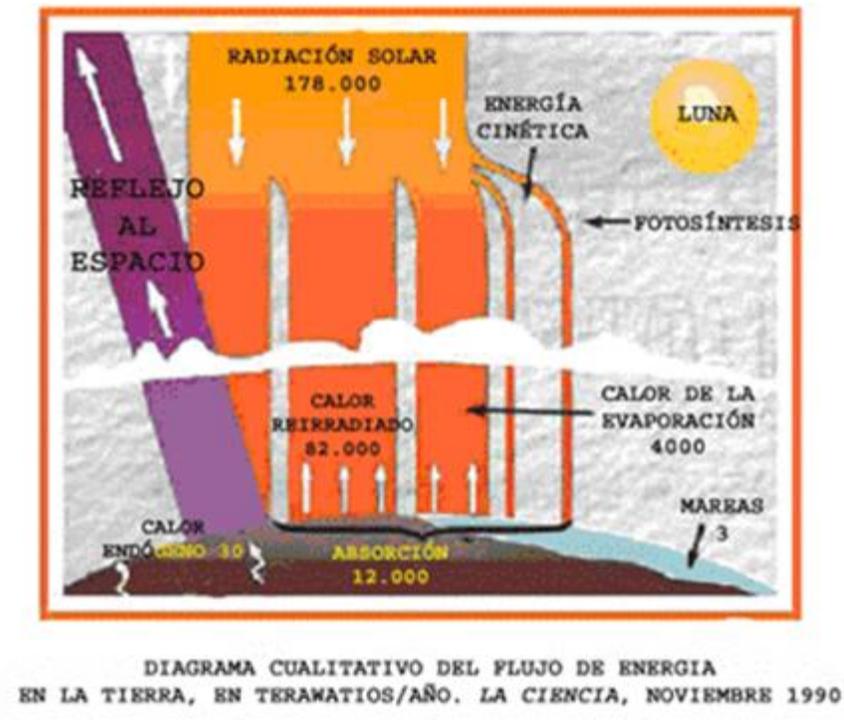


Figura 1. Diagrama de flujo de energía (Abella, 2005)

La energía solar es la fuente de energía más abundante de la Tierra: renovable, disponible, gratuita y en cantidad muy superior a las necesidades energéticas de la población mundial. Sin embargo, su aprovechamiento presenta problemas técnicos y económicos que hacen difícil utilizarla en la práctica. Hoy en día utilizamos solo una pequeña parte de la enorme cantidad de energía que nos llega del sol, por lo que el camino a recorrer es todavía largo para poder aprovechar la energía solar a gran escala (Abella, 2005).

Las perspectivas son que la energía del sol tenga un papel significativo, lo que producirá un cambio de tendencia que es indispensable para la ecología del planeta.

### **1.1.2 La Célula Fotovoltaica.**

La palabra fotovoltaico procede de *photo = luz* y *voltaico = electricidad* y significa electricidad producida a través de la luz. El efecto fotovoltaico se basa sobre la capacidad de algunos semiconductores, como el silicio, de generar directamente energía eléctrica cuando se exponen a la radiación solar (Abella, 2005).

La conversión de la radiación solar en energía eléctrica tiene lugar en la célula fotovoltaica, que es el elemento base del proceso de transformación de la radiación solar en energía eléctrica.

La luz está formada por partículas, los fotones, que transportan energía. Cuando un fotón con suficiente energía golpea la célula, es absorbido por los materiales semiconductores y libera un *electrón*. El electrón, una vez libre, deja detrás de sí una carga positiva llamada *hueco* (Remmers, 2008)

Por lo tanto, cuanto mayor será la cantidad de fotones que golpean la célula, tanto más numerosas serán las parejas electrón-hueco producidas por efecto fotovoltaico y por lo tanto más elevada la cantidad de corriente producida.

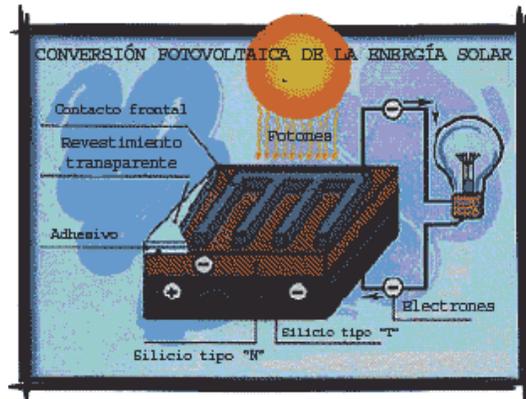


Figura 2. Conversión de fotovoltaica (Abella, 2005)

### 1.1.3 Composición de una Célula Fotovoltaica.

La célula fotovoltaica es un dispositivo formado por una delgada lámina de un material semi-conductor, muy a menudo de silicio. Se trata del mismo silicio utilizado en la industria electrónica, cuyo coste es todavía más alto (Eduardo, 1994)

Actualmente el material más utilizado es el **silicio mono-cristalino**, que presenta prestaciones y duración en el tiempo superiores a cualquier otro tipo de silicio:

- **Silicio Mono-cristalino:** Rendimiento energético hasta 15 – 17 %.
- **Silicio Poli-cristalino:** Rendimiento energético hasta 12 – 14 %.
- **Silicio Amorfo:** Rendimiento energético menos del 10 %.



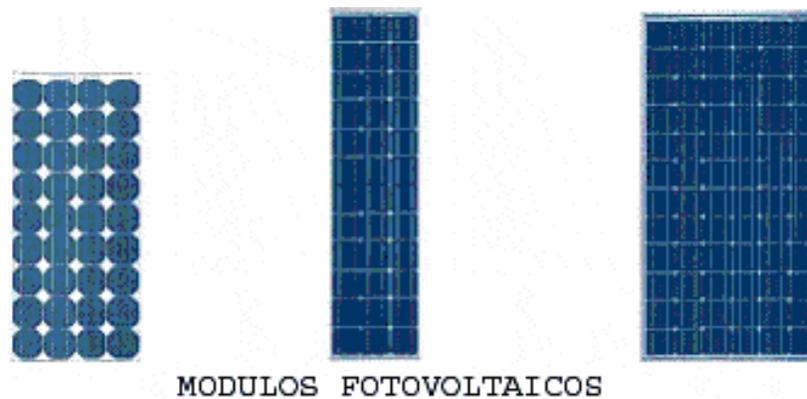
Figura 3. Fotovoltaica para Profesionales (Remmers, 2008)

#### 1.1.4 Modulo Fotovoltaico.

Las células solares constituyen un producto intermedio: proporcionan valores de tensión y corriente limitados en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos usuarios, son extremadamente frágiles, eléctricamente no aisladas y sin un soporte mecánico. Se ensamblan de la manera adecuada para formar una única estructura: el módulo fotovoltaico, que es una estructura sólida y manejable.

Los módulos pueden tener diferentes tamaños: los más utilizados están formados por 36 células conectadas eléctricamente en serie, con una superficie que oscila entre los 0,5 m<sup>2</sup> a los 1,3 m<sup>2</sup>. Las células están ensambladas entre un estrato superior de cristal y un estrato inferior de material plástico (Tedlar). El producto preparado de esta manera se coloca en un horno de alta temperatura, con vacío de alto grado. El resultado es un bloque único laminado en el que las células están “ahogadas” en el material plástico fundido (Progenssa, 2006).

Luego se añaden los marcos, normalmente de aluminio; de esta manera se confiere una resistencia mecánica adecuada y se garantizan muchos años de funcionamiento. En la parte trasera del módulo se añade una caja de unión en la que se ponen los diodos de by-pass y los contactos eléctricos (López, 2010)



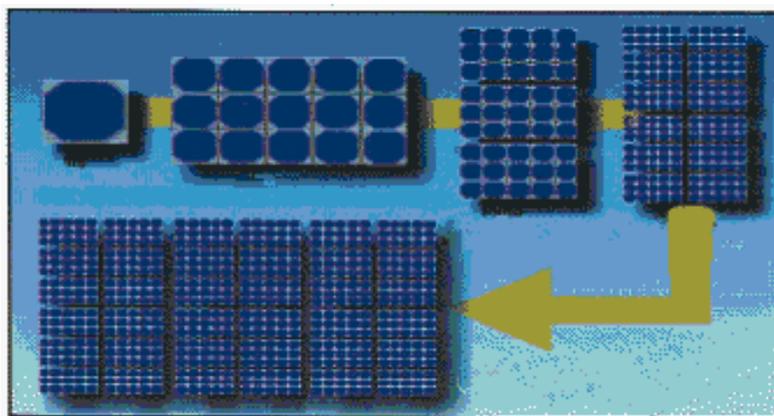
**Figura 4. Mantenimiento de células fotovoltaicas (López, 2010).**

### 1.1.5 Generador Fotovoltaico.

Más módulos fotovoltaicos ensamblados mecánicamente entre ellos forman el panel, mientras que un conjunto de módulos o paneles conectados eléctricamente en serie, forman la rama. Más ramas conectadas en paralelo, para obtener la potencia deseada, constituyen el generador fotovoltaico. Así el sistema eléctrico puede proporcionar las características de tensión y de potencia necesarias para las diferentes aplicaciones.

Los módulos fotovoltaicos que forman el generador, están montados sobre una estructura mecánica capaz de sujetarlos y orientada para optimizar la radiación solar. La cantidad de energía producida por un generador fotovoltaico varía en función de la insolación y de la latitud del lugar (López, 2010).

La producción de energía eléctrica fotovoltaica, al depender de la luz del sol, no es constante, sino que está condicionada por la alternancia del día y de la noche, por los ciclos de las estaciones y por la variación de las condiciones meteorológicas. Además, el generador fotovoltaico proporciona corriente eléctrica continua.



**Figura 5. Evolución de paneles fotovoltaicos. Mantenimiento de células fotovoltaicas (López, 2010).**

A menudo estas características no se adaptan a las necesidades de los usuarios que, normalmente, necesitan corriente eléctrica alterna, con valores constantes de tensión. Por lo tanto, el envío de la energía del sistema fotovoltaico al usuario se realiza a través de otros dispositivos necesarios para transformar y adaptar la corriente continua producida por los

módulos a las exigencias de utilización: el más significativo es un dispositivo estático (*Inversor*), que transforma la corriente continua en corriente alterna.



**Figura 6. Mantenimiento de células fotovoltaicas (López, 2010).**

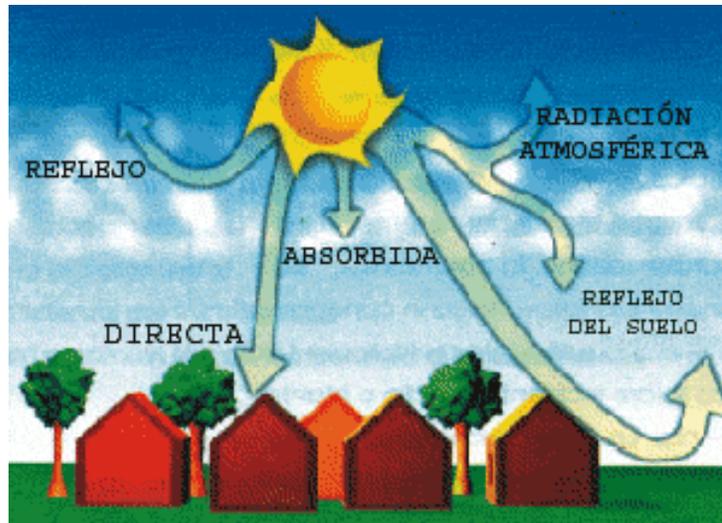
### **1.1.6 Producción de energía de un sistema fotovoltaico.**

La radiación solar incidente en la tierra tiene un valor variable en función de la distancia entre la Tierra y el Sol, o de la latitud de la localidad donde están instalados los módulos fotovoltaicos. También es importante la inclinación de los módulos: una correcta inclinación influye mucho en la cantidad de energía solar captada y por lo tanto en la cantidad de energía eléctrica producida.

La presencia de la atmósfera, finalmente, implica una serie de fenómenos sobre la radiación incidente, entre los cuales el efecto de filtro que reduce considerablemente la intensidad de la radiación en el suelo y la fragmentación de la luz.

Se calcula aproximadamente que un metro cuadrado de módulos fotovoltaicos de buena calidad, puede producir de media 180 KWh al año (0,35 KWh al día en periodo invernal, y 0,65 KWh. al día en periodo estival).

La célula fotovoltaica está hecha por una placa de silicio, normalmente de forma cuadrada, con aproximadamente 10 cm de lado y con un grosor que varía entre los 0,25 y los 0,35mm, con una superficie de más o menos 100 cm<sup>2</sup>.



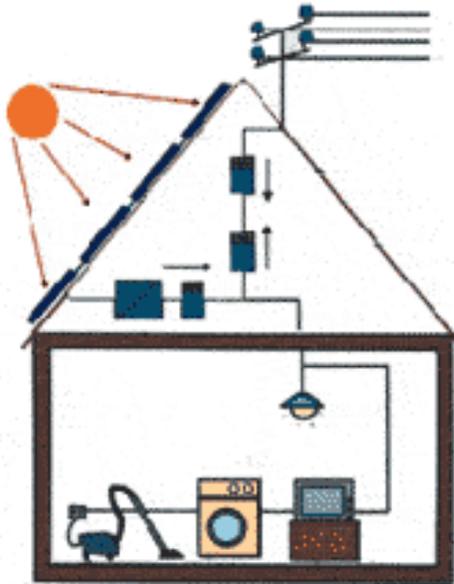
**Figura 7. Mantenimiento de células fotovoltaicas (López, 2010).**

### **1.1.7 Sistemas conectados a la Red (Grid Connected).**

Los sistemas conectados a la red están permanentemente conectados a la red eléctrica nacional. En las horas de irradiación solar escasa o nula, cuando el generador fotovoltaico no produce energía suficiente para cubrir la demanda de electricidad, es la red que proporciona la energía necesaria. Viceversa, si durante las horas de irradiación solar el sistema fotovoltaico produce más energía eléctrica de la que se gasta, el exceso se transfiere a la red (Aparicio, 2010).

Por decisión administrativa se permite a los operadores que gestionan sistemas fotovoltaicos conectarse a la red eléctrica nacional. Gracias a las mediciones realizadas por un contador y a los precios establecidos por la Autoridad misma, se puede vender a la red

eléctrica la energía producida en exceso y coger energía de la red cuando la cantidad de energía auto producida es insuficiente (Aparicio, 2010) .



**Figura 8. Sistemas conectados a la red (López, 2010).**

### **1.1.8 Sistemas Aislados (Stand Alone).**

Los sistemas aislados se utilizan normalmente para proporcionar electricidad a los usuarios con consumos de energía muy bajos para los cuales no compensa pagar el coste de la conexión a la red, y para los que sería muy difícil conectarlos debido a su posición poco accesibles: ya a partir de distancia de más de 3 Km de la red eléctrica, podría resultar conveniente instalar un sistema fotovoltaico para alimentar una vivienda (Aparicio, 2010).

En los sistemas fotovoltaicos aislados es necesario almacenar la energía eléctrica para garantizar la continuidad de la erogación incluso en los momentos en los que no es producida por el generador fotovoltaico.

La energía se acumula en una serie de acumuladores recargables (*baterías*), dimensionados de la manera que garanticen una suficiente autonomía para los periodos en los que el sistema fotovoltaico no produce electricidad.

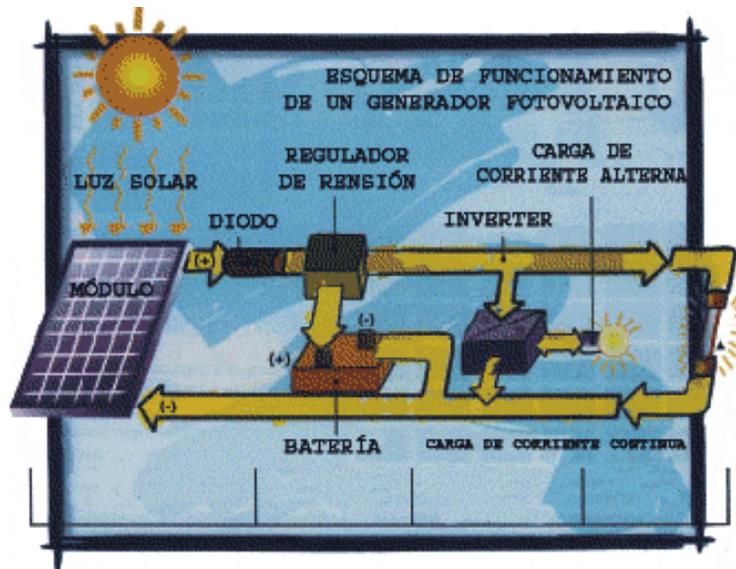


Figura 9. Mantenimiento de equipos fotovoltaicos (López, 2010).

### 1.1.9 Aplicaciones de un sistema fotovoltaico.

En una primera gran división las instalaciones fotovoltaicas se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Instalaciones aisladas de la red eléctrica.
- Instalaciones conectadas a la red eléctrica.

En el primer tipo, la energía generada a partir de la conversión fotovoltaica se utiliza para cubrir pequeños consumos eléctricos en el mismo lugar donde se produce la demanda. Es el caso de aplicaciones como la electrificación de:

- viviendas alejadas de la red eléctrica convencional, básicamente electrificación rural;

- servicios y alumbrado público: iluminación pública mediante farolas autónomas de parques, calles, monumentos, paradas de autobuses, refugios de montaña, alumbrado de vallas publicitarias, etc. Con la alimentación fotovoltaica de luminarias se evita la realización de zanjas, canalizaciones, necesidad de adquirir derechos de paso, conexión a red eléctrica, etc. (Aparicio, 2010).

- aplicaciones agrícolas y de ganado: bombeo de agua, sistemas de riego, iluminación de invernaderos y granjas, suministro a sistemas de ordeño, refrigeración, depuración de aguas, etc.;

- señalización y comunicaciones: navegación aérea (señales de altura, señalización de pistas) y marítima (faros, boyas), señalización de carreteras, vías de ferrocarril, repetidores y reemisores de radio y televisión y telefonía, cabinas telefónicas aisladas con recepción a través de satélite o de repetidores, sistemas remotos de control y medida, estaciones de tomas de datos, equipos sismológicos, estaciones meteorológicas, dispositivos de señalización y alarma, etc. El balizamiento es una de las aplicaciones más extendida, lo que demuestra la alta fiabilidad de estos equipos. Por su parte, en las instalaciones repetidoras, su ubicación generalmente en zonas de difícil acceso obligaban a frecuentes visitas para hacer el cambio de acumuladores y la vida media de éstos se veía limitada al trabajar con ciclos de descarga muy acentuados (Tomás, 2010).

#### **1.1.10 Ventajas de un sistema Fotovoltaico.**

- Al no producirse ningún tipo de combustión, no se generan contaminantes atmosféricos en el punto de utilización, ni se producen efectos como la lluvia ácida, efecto invernadero por CO<sub>2</sub>, etc.
- El Silicio, elemento base para la fabricación de las células fotovoltaicas, es muy abundante, no siendo necesario explotar yacimientos de forma intensiva.
- Al ser una energía fundamentalmente de ámbito local, evita pistas, cables, postes, no se requieren grandes tendidos eléctricos, y su impacto visual es reducido. Tampoco tiene unos requerimientos de suelo necesario excesivamente grandes (1kWp puede ocupar entre 10 y 15 m<sup>2</sup>).
- Prácticamente se produce la energía con ausencia total de ruidos.
- Además, no precisa ningún suministro exterior (combustible) ni presencia relevante de otros tipos de recursos (agua, viento).

### **1.1.11 Inconvenientes de un sistema fotovoltaico.**

- Impacto en el proceso de fabricación de las placas: Extracción del Silicio, fabricación de las células.
- Explotaciones conectadas a red: Necesidad de grandes extensiones de terreno  
Impacto visual.

### **1.1.12 Barreras para su desarrollo.**

- De carácter administrativo y legislativo: Falta de normativa sobre la conexión a la red.
- De carácter inversor: Inversiones iniciales elevadas
- De carácter tecnológico: Necesidad de nuevos desarrollos tecnológicos.
- De carácter social: Falta de información.

## CAPITULO 2 - METODOLOGÍA

### 2.1 Tipo de Investigación.

Presente proyecto de investigación es de tipo experimental (Científico – aplicada).

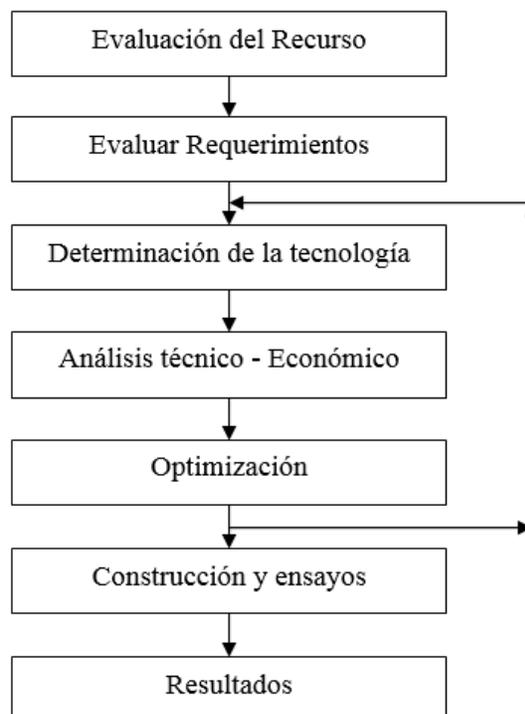
### 2.2 Carácter de la Investigación.

La investigación es de tipo cuantitativo y práctico. Mediante el Sistema SCADA se podrá realizar el monitoreo, evaluación y análisis de los parámetros de funcionamiento de una Mini Planta Solar Fotovoltaica en sistema aislado y conectado a la red eléctrica.

### 2.3 Unidad de Análisis, población y fijación de la muestra estadística.

### 2.4 Materiales y métodos.

Para el desarrollo y análisis de la investigación de metodología experimental (científico – aplicado) es necesario tener un esquema bien detallado.



Para desarrollar el presente trabajo de investigación se utilizó y se revisó los siguientes materiales bibliográficos básicos para el cumplimiento de los objetivos:

a) Bibliografía referente al tema central de Sistema solar fotovoltaico, construcción de plantas solares fotovoltaicas, sistemas SCADA.

b) Documentos oficiales, catálogos, manuales de instituciones, empresas que comercializan equipos y materiales referidas al Sistema solar, Automatismos industriales y tecnologías del área actualizadas.

c) Otro de los materiales que se utilizará, en la construcción de la Mini Planta Solar Fotovoltaica de 3.0 kW, así como diferentes instrumentos para la obtención de información técnica – estadística.

d) Información de bibliografía referente a experiencias de laboratorio, el cual nos permitirá elaborar las guías de laboratorio.

#### **2.4.1. Diseño Experimental de la investigación.**

Para el desarrollo de la investigación se vio por conveniente utilizar las siguientes técnicas:

##### **A.1 Observaciones directas.**

La experiencia, motivo a Docentes, estudiantes y administrativos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables a iniciar este tipo de trabajos de investigación, viendo la realidad energética de nuestra región y nuestro país, por el impacto ambiental y el uso de la energía no convencional.

##### **A.2 Cálculos justificativos para el diseño.**

Desarrollaremos detalladamente en lo que respecta a los cálculos que justifican la selección de los equipos y/o accesorios que componen la Mini Planta Solar Fotovoltaica de 3.0 kW y el sistema SCADA.

Desarrollándose los cálculos y dimensionamiento para los siguientes equipos y/o accesorios del sistema:

- Cálculo del sistema de la Mini Planta Solar Fotovoltaica.
- Selección y dimensionamiento de los paneles solares a escala.
- Diseño del sistema SCADA.
- Cálculos justificativos de diseño de Mini Plantas Solares Fotovoltaicas, realizados en la EPIER por nuestros docentes en el área.

Todos los cálculos justificativos se determinaran gracias a la aplicación de relaciones matemáticas, tablas de incidencia solar y fluida hidráulica, diagramas de selección, carta psicométrica, etc; los cuales se adjuntan en la sección de Anexos de la presente propuesta de trabajo de investigación.

### **A.3 Selección de equipos y accesorios.**

Para proceder a realizar la selección de los equipos y/o accesorios de la Mini Planta Solar Fotovoltaica, se tendrá bastante cuidado en efectuar primeramente los cálculos de diseño respectivos, y luego en base a estos resultados se procederá a seleccionar los equipos y accesorios, de catálogos, tablas y diagramas de diversos fabricantes y proveedores (Anexos), para posteriormente realizar la adquisición de estos equipos y accesorios seleccionados.

### **A.4 Confección de instrumentos de recolección de datos.**

- Técnicas e Instrumentos de recolección de datos:

Con el fin de lograr los objetivos planteados se han elegido las siguientes técnicas e instrumentos:

<b>Técnicas</b>	<b>Sensores e Instrumentos</b>
<p><b>A.</b> Medición.- Permite identificar y establecer datos reales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensores solares: Sensor de radiación solar, luxómetro.</li> <li>• Sensores e instrumentos de medición eléctrica: Analizador de redes trifásicas (voltaje, intensidad, frecuencia, potencia, THD), sensor de velocidad, y muchos más instrumentos de medición.</li> </ul>
<p><b>B.</b> Hojas de datos.- Los datos serán llenados en formatos debidamente diseñados y estructurados técnicamente.</p>	<p>- Consignación de datos experimentales para el equipo, hojas estructuradas de datos y técnicos del equipo.</p>

#### **A.5 Procedimiento de recolección de datos.**

- **Recolección de información para la investigación:**

La información necesaria para el trabajo de Investigación se recopilará en bibliotecas especializadas, Internet, consulta a ingenieros especialistas en diseño y control automático de sistemas solares fotovoltaicos, universidades y centros de investigación a nivel nacional e internacional que puedan contribuir al desarrollo óptimo del trabajo.

Toda la información que se recopile será copiada y resumida en fichas o tarjetas, de acuerdo a la fecha en que fueron publicados.

- **Procesamiento de datos:**

Se rescatará información del Sistema SCADA para el monitoreo y evaluación de parámetros de funcionamiento de la Mini Planta Solar Fotovoltaica de 2.0 KW.

## **CAPITULO 3 - RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1 Introducción**

En el departamento de Puno es el primer SFCR, cuarto a nivel de universidades del estado Peruano con el mismo sistema y el apoyo de la universidad de JAEN-ESPAÑA, con el cual se monitorea actualmente el comportamiento técnico en tiempo real del sistema fotovoltaico conectado a la red de 3.0kW de la Universidad nacional de Juliaca con el que se podrán desarrollar diferentes artículos y proyectos de investigación en el área solar.

La universidad nacional de Juliaca (UNAJ)-Juliaca instala su sistema fotovoltaico de 3.0kW conectado a la red en el edificio administrativo de la UNAJ (azotea cuarto piso) en el año 2018 y desde el mes de Junio del mencionado año se instaló el sistema de monitorización, por lo cual empezaron a almacenar sus datos reales, a partir de mayo del 2018 la cual permite la caracterización energética acorde a la norma IEC 61724-2017.

La universidad nacional de ingeniería (UNI)-Lima instalo su sistema fotovoltaico conectado a la red en el mes de diciembre del 2013 y en abril del 2015 se instaló el sistema de monitorización, por lo cual empezaron a almacenar sus datos reales, a partir de mayo del 2015 la cual permite la caracterización energética acorde a la norma IEC 61724-2017.En la

La universidad nacional de San Agustín (UNSA)-Arequipa se instaló su sistema fotovoltaico conectado a la red en el mes de noviembre del 2014 y en abril del 2015 se instaló el sistema de monitorización, por lo cual empezaron a almacenar sus datos reales, a partir de mayo del 2015 la cual permite la caracterización energética acorde a la norma IEC 61724-2017.

En la universidad Jorge Basadre Grohmann (UNJBG)-Tacna instalo sus sistema fotovoltaico conectado a la red en el mes diciembre del 2014 y en abril del 2015 se instaló el sistema de monitorización ,por lo cual empezaron a almacenar sus datos reales , a partir de mayo del 2015 la cual permite la caracterización energética acorde a la norma IEC 61724-2017 .

### 3.2 Sistema fotovoltaico.

El sistema fotovoltaico conectado a la red de 3.0kW de la universidad de Juliaca cuenta con los siguientes equipos solares constituido por las siguientes componentes:

- Panel solar 12 módulos SUNMODULE (SW 250-260 POLY).Las especificaciones técnicas en el anexo A.

**Tabla 1. Especificaciones técnicas del módulos fotovoltaicos.**

Ubicación	SFCR UNAJ				
Tipo de Célula Modelo	Policristalino SW250				
Parámetros	STC 1000 W/m2		NOCT 800 W/m2		
Wp	250	W	194.9	W	
VOC	37.6	V	34.5	V	
Vmpp	30.5	V	28.9	V	
ISC	8.81	A	7.19	A	
Imp	8.27	A	6.74	A	
Medidas del módulo	dimensiones del módulo, mm				
	Largo		Ancho		
	1675		1001		
	dimensión de superficie, m2				
	Total		de células		
	1.68		1.46		
Parámetros	12 módulos monocristalino				
	STC 1000 W/m2		NOCT 800 W/m2		
	Wp	3000	W	2338.8	W
	VOC	451.2	V	414	V
	Vmpp	366	V	346.8	V
	ISC	8.81	A	7.19	A
Imp	8.27	A	6.74	A	
Instalaciones	dimensión de superficie, m2				
	Total		De células		
	20.12		17.52		
	ángulos de orientación				
	inclinación		Azimut		
	15 grados		0 grados		

- Inversor para conectar a la red 01 inversor para la conexión a red marca STECA, modelo Colcept-x 3010x. Las especificaciones técnicas en el anexo A.

**Tabla 2. Especificaciones técnicas del inversor**

Ubicación	SFCR UNAJ
<b>Marca y Modelo</b>	STECAGRID 3010x
<b>Datos de entrada CC (generador FV):</b>	
Tensión de entrada máxima	600 V
Tensión mínima de entrada para inyección	125 V
Tensión MPP para potencia nominal	270 V ... 500 V
Corriente de entrada máxima	11,5 A
Máxima potencia de entrada con la máxima potencia activa de salida	3070 W
Potencia FV máxima recomendada	3 800 Wp
<b>Datos de salida CA (conexión a la red):</b>	
Tensión de salida	185 V – 276 V
Tensión de salida nominal	230 V
Corriente máxima de salida	14 A
Potencia máxima activa (cos phi = 1)	3 000 W
Potencia máxima activa (cos phi = 0,95)	3 000 W
Potencia aparente máxima (cos phi = 0,95)	3160 VA
Potencia nominal	3 000 W
Frecuencia nominal	50 Hz y 60 Hz
Consumo propio nocturno	< 1,2 W
Fases de inyección	monofásico
Coefficiente de distorsión (cos phi = 1)	< 2 %
Factor de potencia (cos phi)	0,95 (Ind., Cap.)
<b>Funcionamiento:</b>	
Eficiencia máxima	98%
Consumo propio	< 4 W
Monitorización de la red	sí, integrado
Área de uso	Interior o exterior
Temperatura ambiente	-15 °C ... +60 °C
Humedad relativa	0% ... 100%
Emisiones de ruido (típico)	29 dBA
<b>Equipamiento y diseño:</b>	
Grado de protección	IP 65
Dimensiones (X x Y x Z)	399 x 657 x 227 mm
Peso	12 kg



**Figura 10. Inversor para la conexión a red marca STECA.**

- Kit de cables y accesorios para la conexión de componentes.



**Figura 11. Interconexión de módulos fotovoltaicos y peinado de cables.**



**Figura 12.** Preparación del soporte metálico para la instalación de los 12 módulos fotovoltaicos.



**Figura 13.** Paneles fotovoltaicos y soporte de paneles.

### **3.3 Sistema de monitorización.**

El sistema de monitoreo, que consiste en un conjunto instrumental de la marca CARLO GAVAZZI denominada “Eos-Array” y es una solución compacta, sencilla, versátil y modular para la gestión y control de sistemas fotovoltaicos. Asimismo, se presenta en el Anexo B las especificaciones técnicas de los equipos que componen el sistema de monitoreo. El conjunto instrumental está formado por 4 módulos que se describen a continuación:

- Módulo VMU-M: Unidad maestra y registrador de datos.
- Módulo VMU-S: Unidad de registro de los módulos FV.
- Módulo VMU-P: Unidad de registro de variables ambientales.
- Módulo analizador de energía: Unidad de registro de energía eléctrica.

Adicionalmente, para el registro de la irradiancia se cuenta con un sensor que es una célula FV de 15x20 cm debidamente calibrada y que se encuentra ubicado al costado de los módulos FV. También se cuenta con un sensor de temperatura del módulo FV adherido a la espalda de uno de los módulos. Además, se cuenta con sensor de temperatura ambiente. Todos los equipos descritos se encuentran conectados. Para recibir las señales de los sensores y equipos se utiliza la interface RS485, para su conexión con la PC se usa los convertidores de comunicación SIU-TCP2 (RS485 a TCP/IP) y SIU-PC2 (RS485 a RS232).



**Figura 14.** Esquema de conexiones de la instrumentación.



**Figura 15.** Conjunto instrumental de la marca CARLO GAVAZZI.

El monitoreo se dan en intervalos de tiempo en cuatro valores cada 1 segundo durante las 24 horas del día. Los registros iniciaron el mes de junio de 2018 a la actualidad. El sistema de monitoreo registra las siguientes características: tensión AC, corriente AC, potencia activa, potencia aparente, potencia, reactiva, frecuencia, factor de potencia, energía total, energía parcial, tensión DC, corriente DC, potencia DC, irradiancia, temperatura de modulo y temperatura ambiente. Las 9 características iniciales se agrupan información en corriente alterna (AC), los tres siguientes son características en corriente continua (DC) y los tres últimos son características ambientales.

Los datos son almacenados en una PC local la que se encuentra en el laboratorio de control y automatización del cuarto piso en el edificio administrativo de la universidad nacional de Juliaca y también en un servidor web. También, los datos son mostrados a través de una interfaz diseñada en LabVIEW.

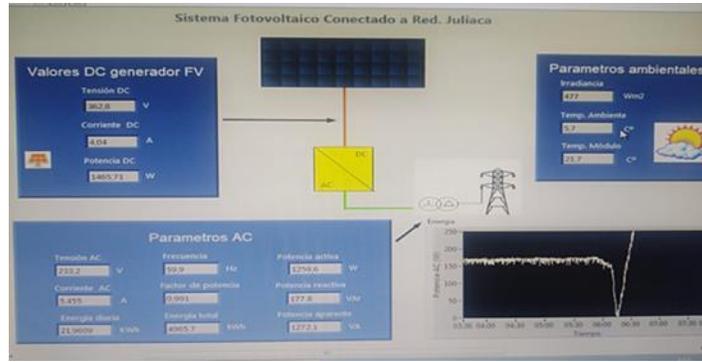


Figura 16. Interfaz del monitoreo del SFCR.

### 3.4 CÁLCULOS DE INGENIERÍA

#### 3.4.1. Cálculos en base a la norma IEC 61724-2017.

##### Base de cálculo

De acuerdo a la norma IEC 61724-2017 los datos procesados son los siguientes:

Tabla 3. Datos de proceso según la norma IEC 61724-2017

Característica	Símbolo	Unidad
<b>Irradiación</b>		
Irradiación en el plano	$H_i$	$\text{kWh m}^{-2}$
<b>Energía eléctrica</b>		
Energía de salida del arreglo FV (DC)	$E_A$	kWh
Energía de salida del Sistema FV (AC)	$E_{out}$	kWh
<b>Potencia nominal del arreglo</b>		
Potencia nominal del arreglo (DC)	$P_0$	kW
Potencia nominal del arreglo (AC)	$P_{0,AC}$	kW
<b>Rendimientos y pérdidas de rendimiento</b>		
Rendimiento del arreglo FV	$Y_A$	$\text{kWh kW}^{-1}$
Rendimiento final del sistema	$Y_f$	$\text{kWh kW}^{-1}$
Rendimiento de referencia	$Y_r$	$\text{kWh kW}^{-1}$
Pérdidas de captura del arreglo	$L_c$	$\text{kWh kW}^{-1}$
Pérdidas del balance del sistema	$L_{BOS}$	$\text{kWh kW}^{-1}$
<b>Eficiencias</b>		
Eficiencia del arreglo	$\eta_A$	-
Eficiencia del sistema	$\eta_f$	-
Eficiencia del balance del sistema	$\eta_{BOS}$	-

- **Irradiación**

Se da por la siguiente ecuación:

$$H = \sum_k G_k \times \tau_k \quad (1)$$

Dónde: H, es la irradiación; G, es la irradiancia; y  $\tau$ , es un periodo de tiempo.

- **Energía eléctrica**

- **Energía de salida DC**

La energía de salida del arreglo FV está dado por:

$$E_A = \sum P_{A,k} \times \tau_k \quad (2)$$

Dónde:  $P_A$ , es la potencia promedio en un intervalo de tiempo.

- **Energía de salida AC**

La energía de salida AC está dado por:

$$E_{OUT} = \sum P_{OUT} \times \tau_k \quad (3)$$

Dónde:  $P_{out}$ , es la potencia activa promedio en un intervalo de tiempo.

- **Potencia nominal del arreglo**

- **Potencia nominal DC**

La potencia nominal del arreglo DC,  $P_0$ , es el total de potencia de salida en DC de todos los módulos FV en condiciones de referencia, que generalmente son las condiciones estándares de prueba.  $P_0$  puede ser calculado usando la información de la hoja de datos del fabricante.

- **Potencia nominal AC**

La potencia nominal del arreglo AC,  $P_0$ , AC, es menor que  $P_0$ , o la suma de los valores Nominales de los inversores en el sistema a una temperatura de operación nominal.

- **Rendimientos**

Los rendimientos son las relaciones de una cantidad de energía y la potencia nominal del arreglo  $P_0$ . Estos indican la operación real del arreglo en relación a su capacidad nominal. Los rendimientos tienen unidades de  $kWh.kW-I$ , la relación de unidades es equivalente a horas, por lo cual el rendimiento indica la cantidad de tiempo la cual el arreglo requería ser operado a  $P_0$  para proporcionar la cantidad de energía medido durante el periodo reportado.

- **Rendimiento del arreglo FV**

Es la relación entre la energía de salida DC y los kW nominales del arreglo FV instalado en condiciones estándares de medición.

$$Y_A = \frac{E_A}{P_0} \quad (4)$$

Dónde:  $E_A$ , es la energía de salida DC y  $P_0$ , es la potencia nominal del arreglo en DC.

- **Rendimiento final del sistema**

Es la relación entre la energía de salida del sistema en AC y los kW nominales del arreglo FV instalado.

$$Y_F = \frac{E_{OUT}}{P_0} \quad (5)$$

Dónde:  $E_{out}$ , es la energía de salida AC y  $P_0$ , es la potencia nominal del arreglo en DC.

- **Rendimiento de referencia**

Esta puede ser calculado dividiendo la irradiación total entre la irradiancia del plano de referencia del módulo.

$$Y_r = \frac{H_i}{G_{i,ref}} \quad (6)$$

Dónde:  $H_i$ , es la irradiación y  $G_{i,ref}$ , es la irradiancia de referencia. El rendimiento de referencia representa el número de horas durante el cual la radiación solar tendría que ser el nivel de irradiación de referencia para contribuir con la misma solar incidente. Si el periodo de reporte es igual a un día, el  $Y_r$  sería, en efecto, el número equivalente de horas sol en la irradiancia de referencia por día.

- **Rendimiento de pérdidas**

Los rendimientos de pérdidas son calculados por la substracción de rendimientos. Ellos representan la cantidad de tiempo que el arreglo debería ser requerido para operar a su potencia nominal para proporcionar las respectivas pérdidas durante el periodo reportado.

- **Pérdidas de captura del arreglo**

Las pérdidas de captura del arreglo  $L_C$  representa las pérdidas debido a la operación del arreglo, que incluye los efectos de temperatura del arreglo, ensuciamiento, etc., y se define como:

$$L_C = Y_r - Y_A \quad (7)$$

Dónde:  $Y_r$ , es el rendimiento de referencia y  $Y_A$ , es el rendimiento del arreglo.

- **Pérdidas del balance del sistema**

Las pérdidas del balance del sistema  $L_{BOS}$  representa las pérdidas de los componentes del sistema, que incluye el inversor, todo el cableado y cajas de conexión, y se define como:

$$L_{BOS} = Y_A - Y_F \quad (8)$$

Dónde:  $Y_A$ , es el rendimiento del arreglo, y  $Y_F$ , es el rendimiento de final del sistema.

- **Eficiencias**

- Eficiencia del arreglo (DC)

La eficiencia media del arreglo sobre un periodo de tiempo está dada por:

$$\eta = \frac{E_A}{H_i \times A_a} \quad (9)$$

Donde  $A_a$  es el área total del arreglo, correspondiente a la suma de las áreas de las superficies frontales de los módulos FV según lo definido por sus bordes externos.

- **Eficiencia del sistema (AC)**

La eficiencia media del sistema sobre un periodo de tiempo está definida por:

$$\eta_F = \frac{E_{OUT}}{E_A} \quad (10)$$

Dónde:  $E_{out}$ , es la energía de salida AC, y  $H_i$  es la irradiación.

- **Eficiencia del balance del sistema**

La eficiencia media del balance del sistema sobre un periodo de tiempo está definida por:

$$n_{BOS} = -\frac{E_{OUT}}{E_A} \quad (11)$$

Dónde: Eout es la energía de salida AC, y EA es la energía de salida DC.

#### - Rendimiento Global

Las mediciones de rendimiento son relativamente sencillas de calcular, pero puede omitir factores conocidos que causan que la medición de potencia del sistema se desvíe de las expectativas basadas solo en la placa de datos. Por ejemplo, los sistemas con relación alta de DC a AC operan por lo menos al valor indicado en la placa de datos durante el tiempo de alta irradiancia, pero este es un atributo esperado del diseño del sistema. Dichos efectos se tratan mejor mediante un índice de rendimiento basado en un modelo detallado del sistema.

El rendimiento global PR es el cociente del rendimiento final del sistema y su rendimiento de referencia, e indica el efecto global de las pérdidas en la producción del sistema debido a efectos de la temperatura, ineficiencias o fallas en los componentes. Es definido como:

$$PR = \frac{Y_F}{Y_r} \quad (12)$$

El numerador y denominador de la ecuación se tiene unidades de kWh.kW-1 (horas). Moviendo P0 al denominador, las expresiones de suma tanto en el numerador y denominador tienen unidades de energía. El rendimiento global se interpreta como la relación de la energía medida y la energía esperada (basado solo sobre la medida de irradiancia y despreciando otros factores). El rendimiento global anual *PRanual*, es la evaluación de la formula anterior en el periodo de un año.

### 3.5 Evaluación de los parámetros del SFCR-UNAJ

Para la presentación de la evaluación de resultados del SFCR-UNAJ cabe aclarar que el almacenamiento de datos fueron interrumpidos y se tienen los datos desde el mes de octubre del 2018 hasta los 5 días de diciembre del mencionado año y una interrupción de los meses del 6 de diciembre hasta el 5 de marzo del 2019 por motivos del deterioro de la fuente

de la misma que almacenaban los datos por lo que se la reemplazo la fuente en la fecha del 18 de marzo del 2019 , de la cual se almacena los datos hasta la fecha por lo que se evalúan los datos del SFCR 3.0 kW-UNAJ de los periodos de tiempo que se tiene ,como también es necesario mencionar que cada cuarto de segundo almacenan los siguientes dato: tensión AC, corriente AC,potencia activa, potencia aparente, potencia, reactiva, frecuencia, factor de potencia, energía total, energía parcial, tensión DC, corriente DC, potencia DC, irradiancia, temperatura de modulo y temperatura ambiente. Las 9 características iniciales se agrupan información en corriente alterna (AC), los tres siguientes son características en corriente continua (DC) y los tres últimos son características ambientales.

### 3.5.1 Comportamiento de la temperatura del módulo media mensual.

En la figura 17, podemos apreciar el comportamiento de la temperatura del módulo media mensual. En el periodo de tiempo de las 06:00 hasta las 07:00 horas se tienen las temperaturas más bajas sobre todo en el mes de mayo que se obtuvo 2,96°C y el mayor en el mes de noviembre con 26,86°C. Después de este periodo y a partir de las 08:00 horas la temperatura del módulo es creciente hasta las 11:00 horas, alcanzando una temperatura máxima de 47,30°C. En el mes de diciembre, pasado este periodo de tiempo la temperatura del módulo decrece hasta llegar como valor máximo en las 18:00 horas de 12,38°C. En el mes de diciembre. Por lo que el mes con más baja temperatura es el de mayo y la temperatura máxima se da entre los meses de diciembre y noviembre.

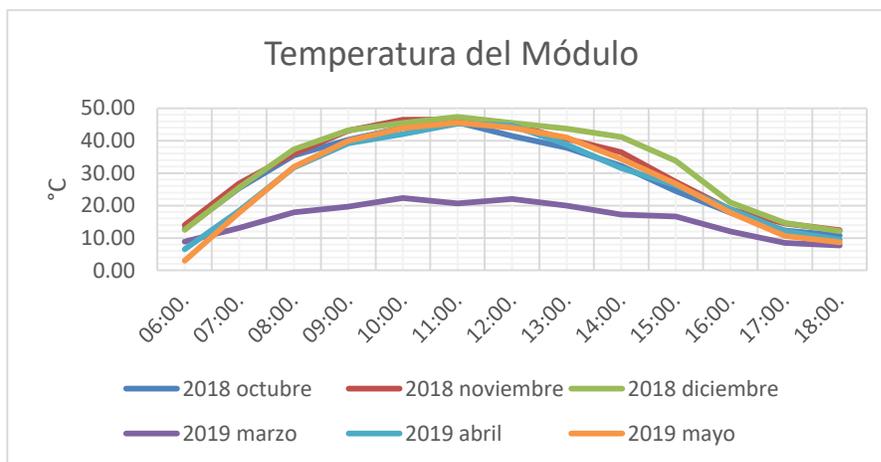


Figura 17. Temperatura del módulo media mensual SFCR-UNAJ.

### 3.5.2 Comportamiento de la temperatura de ambiente media mensual.

En la figura 18, podemos apreciar el comportamiento de la temperatura media mensual en el periodo de tiempo desde las 06:00 horas hasta las 18 horas en la que se puede puntualizar que entre las 06:00 hasta las 13:00 horas la temperatura del ambiente es creciente obteniendo como valor mínimo de 4,18 °C en el mes de mayo y como un valor máximo alcanzado de 23,08°C en el mes de noviembre. Y desde a partir de las 14:00 hasta las 18:00 horas la temperatura media mensual decrece hasta llegar a una temperatura máxima

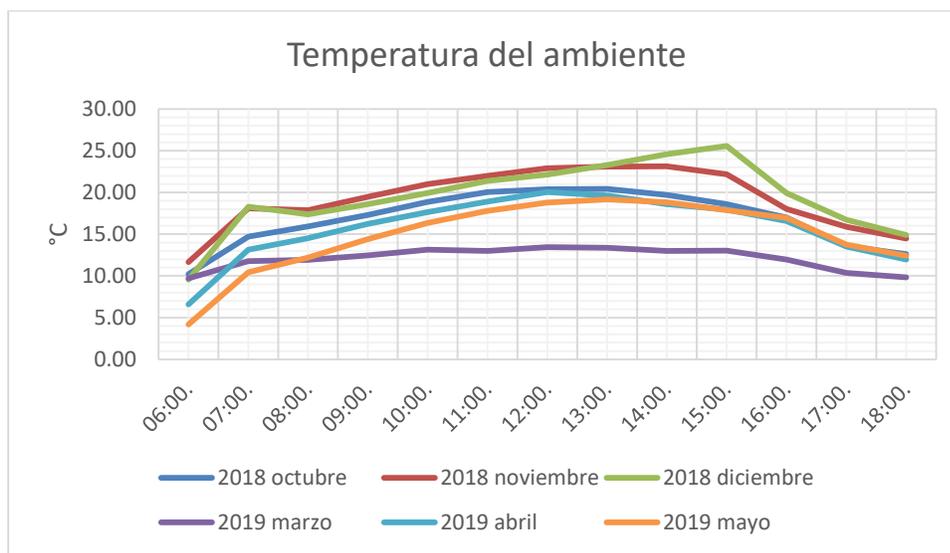
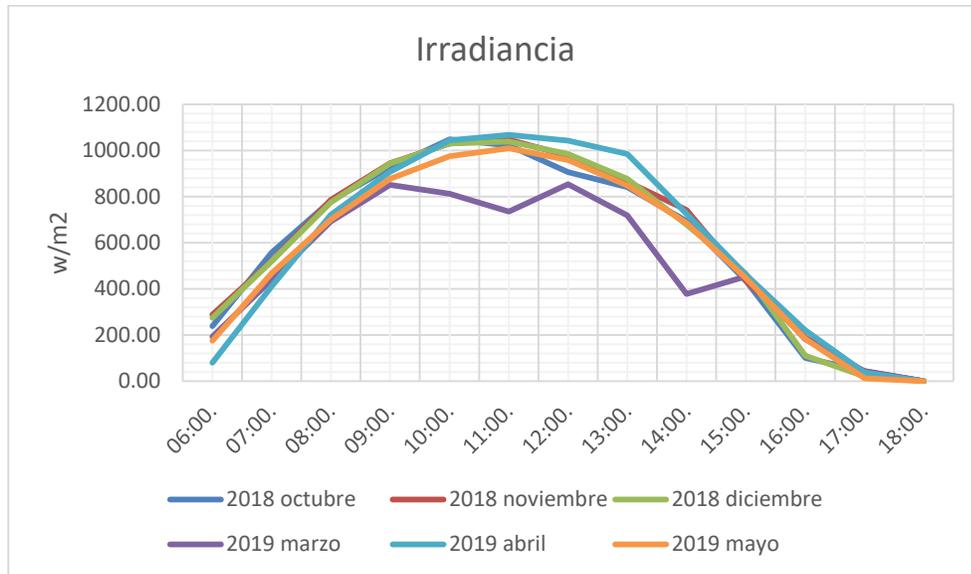


Figura 18. Temperatura del ambiente media mensual SFCR-UNAJ.

### 3.5.3 Comportamiento de la irradiancia media mensual.

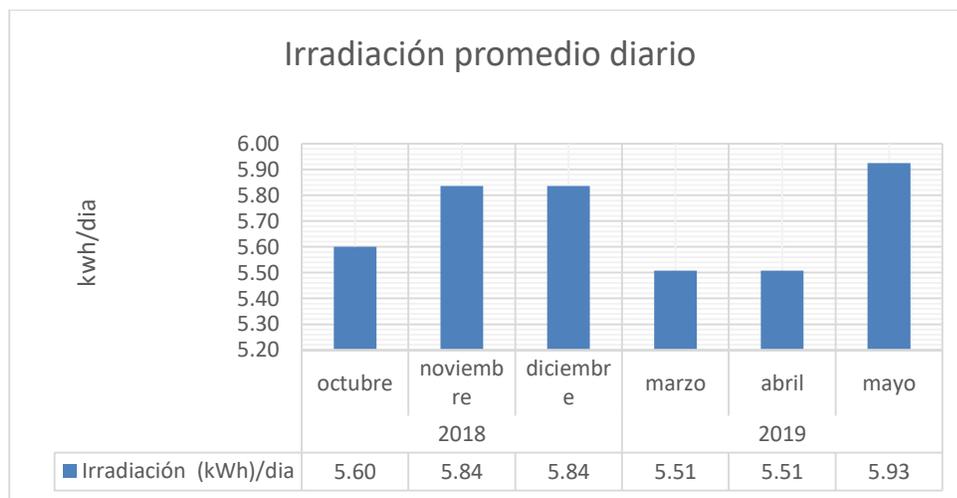
En la figura 19, se tiene el comportamiento de la irradiancia media mensual, el crecimiento de la irradiancia se da desde las 06:00 horas hasta las 11:00 horas en la cual como máximo valor de 1045,83 W/m<sup>2</sup> el mencionado dato. Se da en el mes de noviembre y como valor mínimo se da en todos los meses con un valor de 0 W/m<sup>2</sup> en as 18:00 horas por lo que cabe aclarar el valor máximo a las horas de 06:00 horas es de 287 W/m<sup>2</sup> en el mes de noviembre.



**Figura 19.** Irradiancia media mensual SFCR-UNAJ.

### 3.5.4 Comportamiento de la irradiación promedio diaria mensual.

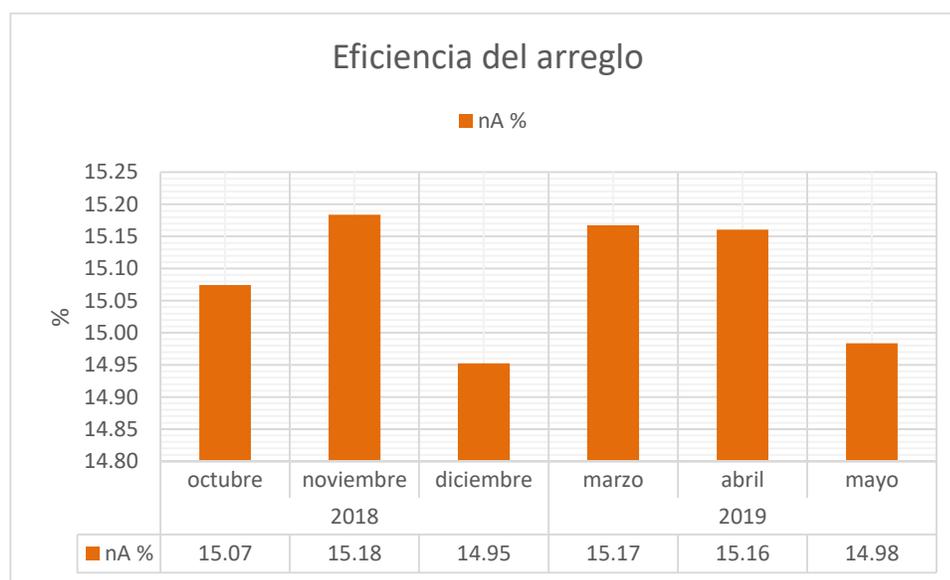
En la figura 20 se grafica los valores máximos y mínimos del promedio diario mensual, de la irradiación la cual se divide entre 1000 w/m<sup>2</sup> el valor de irradiancia estándar por lo que obtenemos las horas equivalentes de sol promedio diario. En lo que se obtuvo un valor mínimo 5,52 horas en el mes de abril y marzo y un valor máximo de 5,93 horas de sol diario en el mes de mayo.



**Figura 20.** Promedio diaria mensual de la irradiación.

### 3.5.5 Comportamiento del promedio mensual de la eficiencia del arreglo.

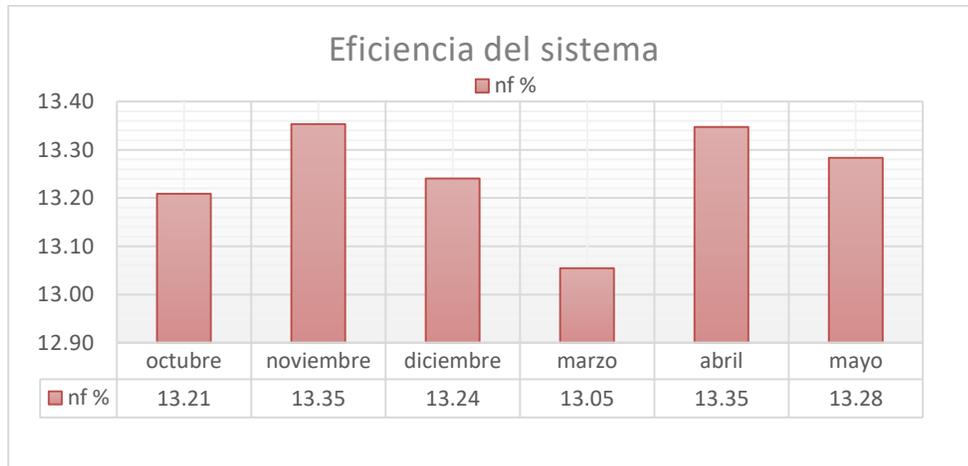
En la figura 21 se representa el comportamiento de la eficiencia del arreglo fotovoltaico (nA). Directamente son los paneles solares en los diferentes meses de evaluación y monitoreo, por lo que se tiene casi una eficiencia uniforme en los cuales se tienen variaciones notorias son los meses de diciembre y mayo. En los mencionados meses se tenía la mayor cantidad corrientes de viento y polvo los cuales se cubrieron los paneles del SFCR-UNAJ. Los valores máximos obtenidos son en el mes de noviembre con una eficiencia de 15,18%.



**Figura 21.** Promedio mensual de la eficiencia del arreglo fotovoltaico.

### 3.5.6 Comportamiento del promedio mensual de la eficiencia del sistema.

En la figura 22, se muestra el comportamiento promedio mensual de la eficiencia del sistema .En donde se encuentran valores aceptables. Con valor máximo de 13,35% en el mes de noviembre y un valor mínimo de 13,05. En la mencionada figura se tiene un comportamiento semi-homogeneo.



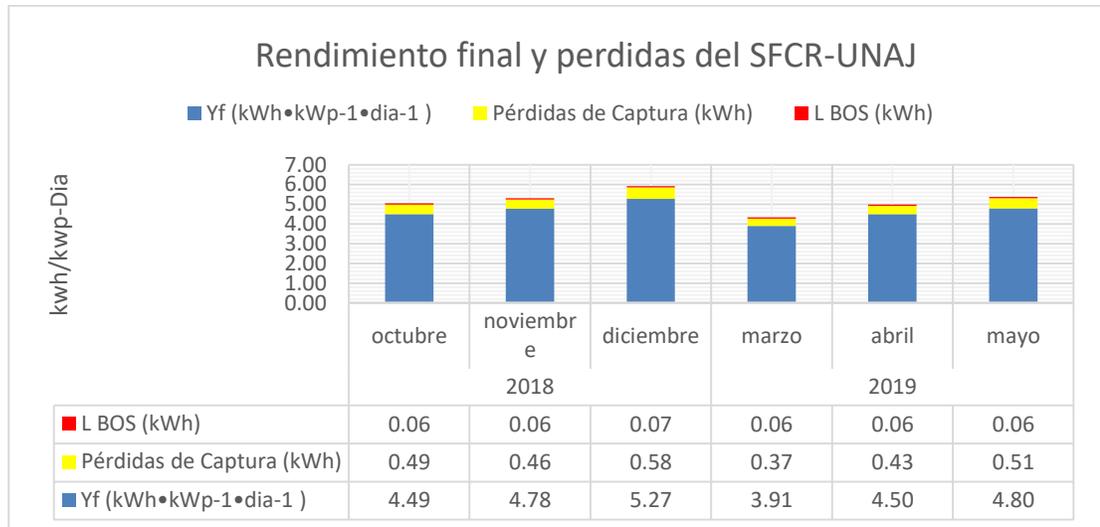
**Figura 22.** Promedio mensual de la eficiencia del sistema.

### 3.5.7 Comportamiento del rendimiento final y pérdidas del sistema.

En la figura 23 se tiene el comportamiento del rendimiento y perdidas del sistema en la cual:

- Yf: rendimiento final del sistema
- Lc: pérdidas de captura
- LBOS: perdidas del balance del sistema

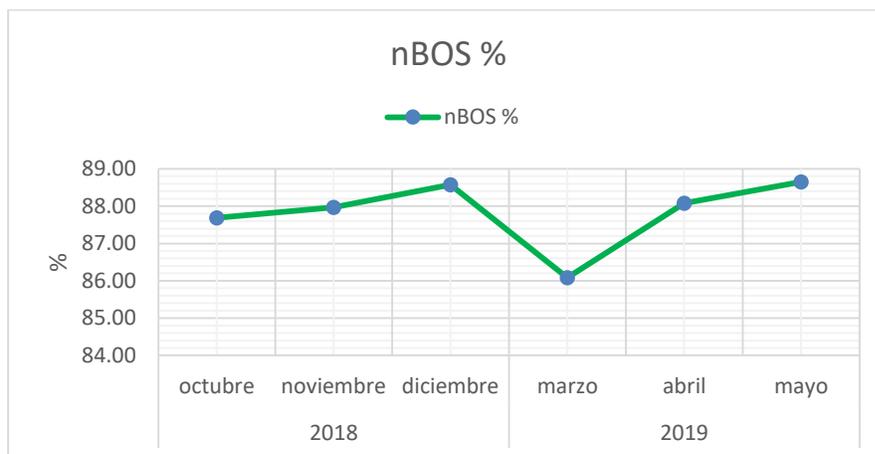
Por lo que se puede decir que al valor kWh/kWp-Día le quitamos el valor kW obtendríamos el valor de horas de sol promedio diario mensual por lo que se puede decir que los valores mínimos y máximos alcanzados son en el mes de marzo y diciembre respectivamente.



**Figura 23.** Promedio mensual del rendimiento final y pérdidas.

### 3.5.8 Comportamiento de la eficiencia del balance del sistema.

En la figura 24, se muestra el comportamiento de la eficiencia del balance del sistema donde se puede ver la curva, en donde se aprecia que la eficiencia baja en el mes de marzo y los picos más alto son en el mes de mayo y diciembre. Esta curva es directamente proporcional a la temperatura del módulo, en donde se ve también estos máximos y mínimos valores alcanzados



**Figura 24.** Comportamiento promedio mensual de la eficiencia del balance del sistema

## CAPITULO 4 - CONCLUSIONES

- El SFCR del edificio administrativo de la UNAJ. Es un mini parque solar de 3.0 kW monitoreado con un conjunto instrumental de la marca CARLO GAVAZZI denominada “Eos-Array, es un control de sistemas fotovoltaicos. En base a la norma IEC61724-2017, el cual por su equipamiento cumple un rol un generador de anergia eléctrica y también un laboratorio de sistemas fotovoltaicos conectados a la red.
- El SFCR del edificio administrativo de la UNAJ tiene 12 módulos fotovoltaicos de una potencia de 250W , 01 inversor de conexión a la red de 3.0KW de marca STECAGRID, una estructura de soporte de 12 módulos fotovoltaicos de fierro galvanizado , un conjunto de equipo electrónico de la maraca CARLOS GAVAZZI , 01 computadora de escritorio con un sistema scada para el monitoreo en tiempo real del SFCR-UNAJ de los parámetros: tensión AC, corriente AC, potencia activa, potencia aparente, potencia, reactiva, frecuencia, factor de potencia, energía total, energía parcial, tensión DC, corriente DC, potencia DC, irradiación, temperatura de modulo y temperatura ambiente. Las 9 características iniciales se agrupan información en corriente alterna (AC), los tres siguientes son características en corriente continua (DC) y los tres últimos son características ambientales que son la temperatura del módulo y la temperatura del ambiente en grados Celsius.
- Se tiene una potencias 3.0 kW en el SFCR-UNAJ, el cual genera un promedio mensual de 32,24 kWh de energía activa.
- El SFCR-UNAJ según los resultados obtenidos en el periodo de verano(lluvias y granizo) en la ciudad de Juliaca se ha obtenido una irradiación incidente de 4,57kWh/día lo que significa de que queda demostrado que la energía solar en nuestra ciudad calcetera diseño del contiene potencial para el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica.
- la temperatura del módulo y del ambiente es influyente en la eficiencia de los paneles y por consecuencia en la eficiencia del sistema fotovoltaico de conexión a la red.
- De los resultados del proyecto se generó un artículo análisis económico de un sistema fotovoltaico de 3.0 kW conectado a la red de la universidad nacional de Juliaca anexo C

## **CAPITULO 5 - RECOMENDACIONES**

- Los datos del SFCR-UNAJ se debe aplicarse para proyectos de investigación futuras en el área de energía solar para poder explotar esta fuente renovable en nuestra ciudad de Juliaca.
- En lo que respecta al lugar de la instalación del sistema de monitoreo se debe de priorizar .Que sea en un lugar con sombra y ventilado con un servidor, puesto que la Pc que almacena datos funciona las 24 horas del día y tiene inconvenientes los cuales perjudican el almacenamiento de datos.
- Se debería de implementar más de un SFCR en un edificio. Pero con diferentes tipos de celdas solares (monocristalino,policristalino,amorfo,etc) para poderlos comparar y determinar, cuál de las celdas fotovoltaicas es más eficiente para la costa , sierra y selva del Perú
- Es necesario implementar el reglamento de generación distribuida. Para que los SFCR puedan ser aplicados y usados en domicilios comunes que puedan generar energía eléctrica, a partir de los sistemas fotovoltaicos para así contrarrestar la contaminación ambiental y poderse beneficiarse cualquier persona natural.
- Es necesario concientizar a la sociedad para que pueda apostar por esta fuente renovable para poder hacer uso de la misma.

## CAPITULO 6 - REFERENCIAS

- Abella, M. A. (2005). sistemas fotovoltaicos.introduccion al diseño y dimensionado de intalaciones de energia solar fotovoltaica. ediciones S.A.P.T.
- Aparicio, M. P. (2010). Energía Solar Fotovoltaica, . Marcombo Boixareu Editores.
- Baitsell, G. (1982). *Uso directo de la energía solar*. Blume ediciones.
- Beckman, W. (1984). *Proyecto de sistemas térmico-solares*. Index New York.
- Crueger, W., & Crueger, A. (1989). *Bioteconología: microbiológico industrial*. Acribia S.A.
- De la Peña, R. (1981). *Introducción al análisis ingenieril de los reactores químicos*. Limusa - México.
- Discovery, S. (1990). *Aceros inoxidable*. Inca Lima - Perú.
- Eduardo, L. (1994). SOLAR ELECTRICITY. Engineering of Photovoltaic Systems. Progenza.
- Estrada, Q. (2001). *Aceros inoxidable*. México.
- Gold, J. (1985). *Principios de diseño de equipos de proceso*. Limusa - México.
- Holland, F. (1973). *Flujo de fluidos para ingenieros químicos*. Géminis-Buenos aires.
- ITINTEC. (1980). *Serie energía solar*. Lima Perú.
- López, M. G. (2010). Manual de mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red. Fundacion Mapfre.
- Luque, A. (2010). Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. Wiley-Blackwell&Sons.
- Perry-Chilton, A. (1984). *Biblioteca del Ingeniero Químico*. México.

- Progensa, E. L. (2006). Radiación solar y dispositivos fotovoltaicos. Volumen II, Electricidad Solar Fotovoltaica. . S.A. Sevilla.
- Remmers. (2008). fotovoltaica para profesionales. promotora general de estudios.
- Rose, H., & Barrow, M. (1984). *Ingeniería de proyectos para plantas industriales*. Continental México.
- Scriban, R. (1985). *Producción de metano a partir de residuos de ganado*. El manual moderno.
- Seoanez, M. (1995). *Aguas residuales urbanos*. Internet.
- Tomás, D. (2010). Instalaciones solares fotovoltaicas. McGraw Hill.
- Valderrama, J., Montenegro, C., Arrue, O., & Jimenez, T. (1990). *Revista de ingeniería en Energías Renovables*. España.
- Valera, P. (1993). *Energía solar básica*. Hozlo SCRL.

# **ANEXOS**

**ANEXO A**

**ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL PANELES E**

**INVERSOR**

# Sunmodule<sup>®</sup> Plus SW 250 - 260 poly



## Data Sheet



Produced in Germany,  
the center for solar technology



TUV Power controlled:  
Lowest measuring tolerance in industry



Sunmodule Plus:  
Positive performance tolerance



25 year linear performance warranty and  
10 year product warranty



SolarWorld AG relies on Germany as its technology location, thereby ensuring sustainable product quality.

The TUV Rheinland Power controlled inspection mark guarantees that the nominal power indicated for solar modules is inspected at regular intervals and thus ensured. The deviation to TUV is maximum 2 percent.

The positive power tolerance guarantees utmost system efficiency. Only modules achieving or exceeding the designated nominal power in performance tests are dispatched. The power tolerance ranges between -0 Wp and +5 Wp.

With its linear performance warranty covering a period of 25 years, SolarWorld guarantees a maximum performance depression of 0.7% p.a., a significant added value compared to the two-phase warranties common in the industry. Therefore, the service certificate offers comprehensive protection for your investment in the long term.

# Sunmodule<sup>®</sup> Plus SW 250 - 260 poly



PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)\*

		SW 250	SW 255	SW 260
Maximum power	$P_{max}$	250 Wp	255 Wp	260 Wp
Open circuit voltage	$U_{oc}$	37.6 V	38.0 V	38.4 V
Maximum power point voltage	$U_{mpp}$	30.5 V	30.9 V	31.4 V
Short circuit current	$I_{sc}$	8.81 A	8.88 A	8.94 A
Maximum power point current	$I_{mpp}$	8.27 A	8.32 A	8.37 A
Module efficiency	$\eta_m$	14.91 %	15.21 %	15.51 %

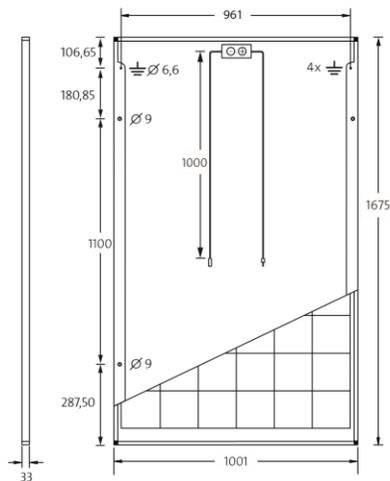
Measuring tolerance ( $P_{max}$ ) traceable to TUV Rheinland: +/- 2% (TUV Power controlled)

\*STC: 1000W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM 1.5

PERFORMANCE AT 800 W/m<sup>2</sup>, NOCT, AM 1.5

		SW 250	SW 255	SW 260
Maximum power	$P_{max}$	185.4 Wp	188.7 Wp	192.4 Wp
Open circuit voltage	$U_{oc}$	34.2 V	34.5 V	34.8 V
Maximum power point voltage	$U_{mpp}$	27.8 V	28.1 V	28.5 V
Short circuit current	$I_{sc}$	7.24 A	7.30 A	7.35 A
Maximum power point current	$I_{mpp}$	6.68 A	6.72 A	6.76 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200 W/m<sup>2</sup>, 100% (+/-2%) of the STC efficiency (1000 W/m<sup>2</sup>) is achieved.



## DIMENSIONS

Length	1675 mm
Width	1001 mm
Height	33 mm
Frame	Clear anodized aluminum
Weight	18.0 kg

## COMPONENT MATERIALS

Cells per module	60
Cell type	Poly crystalline
Cell dimensions	156 mm x 156 mm
Front	tempered glass (EN 12150)

## THERMAL CHARACTERISTICS

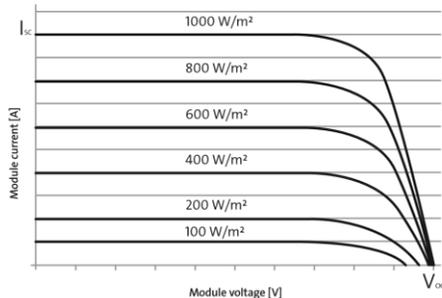
NOCT	46 °C
TC $I_{sc}$	0.051 %/K
TC $U_{oc}$	-0.31 %/K
TC $P_{mpp}$	-0.41 %/K

## ADDITIONAL DATA

Power sorting	-0 Wp / +5 Wp
J-Box	IP65
Connector	H4

## PARAMETERS FOR OPTIMAL SYSTEM INTEGRATION

Maximum system voltage SC II	1000 V
Maximum reverse current	25 A
Load / dynamic load	5.4 / 2.4 kN/m <sup>2</sup>
Number of bypass diodes	3
Operating range	-40 °C to +85 °C



SolarWorld AG reserves the right to make specification changes without notice.  
This data sheet complies with the requirements of EN 50380.

KB8821 | 2015-03-02 EN

## coolcept-x

StecaGrid 1800x, StecaGrid 2300x, StecaGrid 3010x,  
StecaGrid 3600x, StecaGrid 4200x

### Máxima eficiencia con larga vida útil

Gracias a la alta eficiencia, se alcanza un coeficiente de rendimiento máximo del 98,6 % y un coeficiente de rendimiento europeo del 98,3 %, lo que disminuye la pérdida de potencia que se expulsaría a la atmósfera. Estas constituyen sus ventajas de rendimiento.

Además, un nuevo y único sistema de refrigeración garantiza que el calor se reparte de manera uniforme en el interior del inversor y, con ello, se asegura una larga vida útil del aparato.

### Diseño de producto y visualización

Tanto el StecaGrid dispone de un display LCD gráfico con el que se pueden visualizar valores de rendimiento energético, los rendimientos actuales y los parámetros de funcionamiento de la instalación. Un innovador menú ofrece la posibilidad de seleccionar los distintos valores de medición de manera individual.

La puesta en funcionamiento final del aparato se lleva a cabo sin dificultades a través de un menú guiado y preprogramado.

### Montaje

Los ligeros con sólo 11,5 kg / 12 kg, el montaje mural puede efectuarse de un modo seguro y sin esfuerzos. Asimismo, el soporte mural incluido en el suministro, así como los prácticos tiradores encastrar para diestros y zurdos, permiten un montaje fácil y cómodo. Tampoco es necesario abrir el aparato para la instalación, puesto que todas las conexiones, así como el dispositivo de desconexión de CC, son accesibles desde el exterior.

Los aparatos cumplen todas las prescripciones del grado de protección IP65: Su robusta carcasa de acero inoxidable los protege de forma fiable contra el polvo y el agua, incluido el chorro de agua. Por lo tanto, los inversores se pueden instalar a la intemperie sin problemas.



StecaGrid 1800x  
StecaGrid 2300x  
StecaGrid 3010x  
StecaGrid 3600x  
StecaGrid 4200x

### Características del producto

- Mínimo coeficiente de rendimiento
- Instalación sencilla
- Registrador de datos integrado
- Se puede actualizar el firmware
- Mínimo consumo propio
- Carcasa de plástico ecológica y de perfecta funcionalidad
- Mínimo consumo propio
- Interruptor de CC integrado
- Aislamiento protector según clase de protección II
- Larga vida útil
- Droop Mode para la integración en sistemas híbridos (para más información: catálogo Steca PV aislada / Sistemas Híbridos CA, monofásicos o trifásicos)
- Función de tensión fija para otras fuentes de energía
- Menú de servicio para el ajuste de parámetros

### Indicaciones

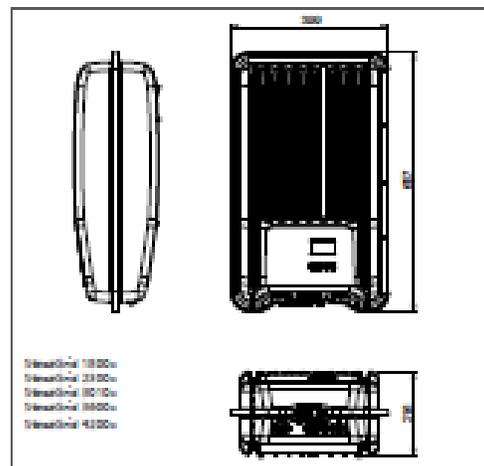
- Display LCD gráfico multifuncional con iluminación de fondo
- Representación animada del rendimiento

### Manejo

- Fácil manejo con menú
- Navegación de menú multilingüe

### Opciones

- Posibilidad de conectar la unidad de visualización StecaGrid Vision o un gran display



**ANEXO B**

**ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS  
DE MONITORIZACION**

## Contadores y analizadores de energía

### Analizador de redes trifásico compacto

#### Modelo EM24 DIN



- Clase 1 (kWh) según norma EN62053-21
  - Clase B (kWh) según norma EN50470-3
  - Clase 2 (kvarh) según norma EN62053-23
  - Precisión:  $\pm 0,5$  lec. (intensidad/tensión)
  - Analizador de energía
  - Lectura de variables instantáneas: 4 dígitos.
  - Lectura de energías/gas/agua : 8 dígitos.
  - Variables del sistema: VLL, VLN, Admd max, VA, VAdmd, VAdmd max, W, Wdmd, Wdmd max, var, PF, Hz, secuencia de fase.
  - Variables de cada fase: VLL, VLN, A, VA, W, var, PF
  - Medidas de energía: kWh y kvarh totales y parciales o basados en 4 tarifas distintas; medidas de cada fase
  - Lecturas de gas, agua fría, agua caliente, kWh de calefacción mediante control remoto
  - Contador horario (6+2 dígitos)
  - Valor TRMS de tensión/intensidad de ondas distorsionadas
  - Autoalimentación (entradas AV2-AV9)
  - Alimentación auxiliar (entradas AV5-AV6)
  - 3 entradas digitales para selección de tarifa, sincronización DMD o lecturas de gas/agua (caliente-fría) y lectura remota de calefacción (opcional)
  - 2 salidas digitales por pulsos proporcionales a valores de energía o de alarma, o para una combinación de ambas
- Dimensiones: 4 módulos DIN
  - Grado de protección (frontal): IP50
  - Salida serie RS485 (MODBUS-RTU), compatibilidad con iFIX SCADA
  - Puerto de comunicación M-bus (opción M1)
  - Capacidad de comunicación con Dupline (opción DP)
  - Display y programación adaptables a la aplicación (función *Easyprog* fácil programación)
  - Conexión sencilla
  - Certificado según la Directiva MID, (opción PF), ver "Código de pedido" más abajo
  - Disponibles versiones sin certificado MID (opción X): ver selección del modelo en la siguiente página

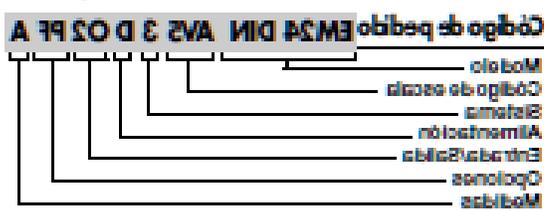
### Descripción del Producto

Analizador de energía trifásico con joystick incorporado y display de datos LCD; especialmente indicado para medidas de energía activa y reactiva y asignación de costes. Caja para montaje a

carril DIN con grado de protección (frontal) IP50. Conexión directa de hasta 65A y por medio de transformadores externos de intensidad y tensión. Además, el medidor puede incorporar salidas

digitales, que pueden ser utilizadas como salidas digitales, proporcionales a la energía activa (generada y consumida) y reactiva medidas, o como salidas de alarma. Otras alternativas son el

puerto de comunicación RS485 y 3 entradas digitales o el puerto Dupline y 3 entradas digitales o el puerto de comunicación M-bus, disponibles como opción



**MID**

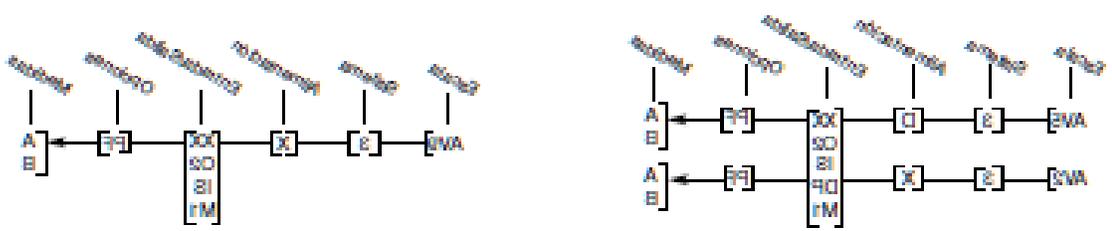
Certificado conforme con la Directiva MID, Anexo "B" y Anexo "C", referente a los medidores de energía eléctrica activa (ver Anexo M-003 MID). Puede usarse para metrología legal (legal) dependiendo de la normativa de cada país.

### Selección del Modelo para versión MID

Código de escala	Sistema	Alimentación	Entradas/Salidas
AV2: 400V CA - 1/2 (10) (conexión medidor CT)	B: Trifásico, 4 hilos	X: Autoalimentación	XX: Ninguna
AV2: 400V CA 10(20) (conexión directa)	Medidas	(Ver las especificaciones de alimentación)	OS: Dos salidas de colector separadas (dos salidas de buses o una salida de buses + una salida de star-4) o dos salidas de star-4
AV2: 400V CA - 10(20) (conexión directa)	A: Integra la potencia positiva y negativa (no importa la polaridad del traf. sistema) para medir la potencia y refleja en positivo el resultado de la generación y consumo. Y el medidor de energía positiva total está certificado conforme con MID.	D: 1 120V VCA (20Hz) ó más	IS: 2 entradas digitales para selección de tarifa o medidas de Gas, Agua/calor. - opción relé + punto RS485
Opciones	B: Solo el medidor de energía total positiva consumida está certificado conforme con MID. El medidor de energía total negativa generada no tiene certificación MID.		OP: Punto Opción más 2 entradas digitales para medidas Gas \ Agua \ calefacción relé
PF			MF: Punto M-pus relé

NOTA: consultar la disponibilidad del código en las tablas de verificación antes de realizar el pedido

CT = Traf. de intensidad; VT = Traf. de potencia; PT = Traf. de potencia

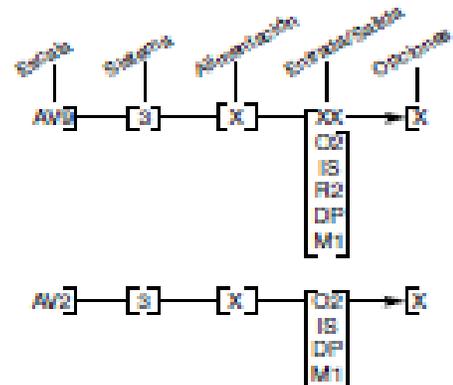
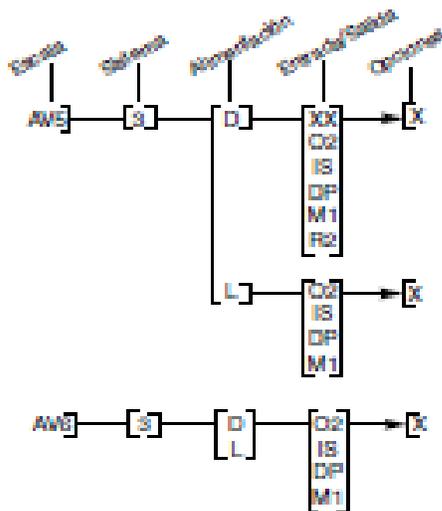


**STANDARD**

Sin certificación MID. No puede usarse para metrología fiscal (legal).

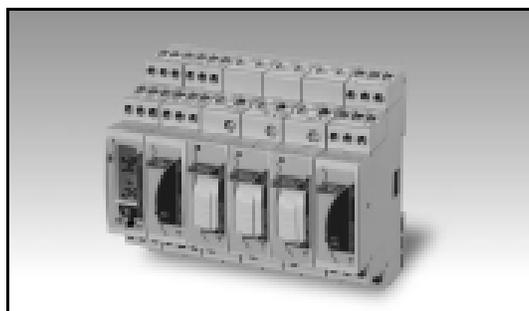
**Código de pedido EM24 DIN AV 5 3 D O2 X****Selección del Modelo para versión estándar**

Códigos de escala	Sistema	Alimentación	Entrada/Salida	
<b>AV5:</b> 400V <sub>L</sub> CA - 1/5 (10A) (conexión mediante CT) V <sub>ca</sub> : 160V - 480V <sub>ca</sub> V <sub>ll</sub> : 277V - 690V <sub>ll</sub>	<b>3:</b> Carga equilibrada y desequilibrada: Trifásico, 4 hilos; Trifásico, 3 hilos; Bifásico, 3 hilos; Monofás., 2 hilos	<b>X:</b> Autoalimentación (Ver "las especificaciones de alimentación")	<b>XX:</b> Ninguna <b>O2:</b> Dos salidas de colector abierto (dos salidas digitales o una salida digital + una salida de alarma o dos salidas de alarma)	
<b>AV6:</b> 208V <sub>L</sub> CA - 1/5(10A) (conexión mediante VT/PT y CT) V <sub>ca</sub> : 40V - 144V <sub>ca</sub> V <sub>ll</sub> : 70V - 250V <sub>ll</sub>		<b>L:</b> 18 a 60VCA/DC (48 a 62Hz)	<b>D:</b> 115/230 VCA (48 a 62Hz)	<b>R2:</b> Dos salidas de relé (funcionan como "O2") <b>IS:</b> 3 entradas digitales para selección de tarifa o medidas de Gas/ Agua/calentación remota + puerto RS485
<b>AV2:</b> 400V <sub>L</sub> CA 10(25)A (conexión directa) V <sub>ca</sub> : 113V - 369V <sub>ca</sub> V <sub>ll</sub> : 199V - 480V <sub>ll</sub>		<b>Opciones</b>		
<b>AV6:</b> 400V <sub>L</sub> CA - 10(25)A (conexión directa) V <sub>ca</sub> : 184V - 276V <sub>ca</sub> V <sub>ll</sub> : 318V - 480V <sub>ll</sub>		<b>NOTA:</b> consultar la disponibilidad del código en las tablas de verificación antes de realizar el pedido	<b>X:</b> Ninguna	<b>DP:</b> Puerto Duplina más 3 entradas digitales para medidas Gas / Agua / calentación remota <b>M1:</b> Puerto M-bus



## Gestión y Control de Energía Control para aplicaciones solares fotovoltaicas (FV) Modelo Eos-Array

CARLO GAVAZZI



- Sistema modular de control local para las instalaciones de paneles fotovoltaicos
- Configuración máxima de 17 módulos DIN equivalentes a 280mm
- Software freeware EOS-ArraySoft para una configuración fácil
- Eos-Array está formado por un máximo 17 módulos (sin tener en cuenta los módulos VMU-M y VMU-1)
- Eos-Array gestiona, además de una unidad maestro VMU-M, hasta:
  - 1 unidad VMU-P;
  - máx. 15 unidades VMU-S;
  - máx. 7 unidades VMU-O;
  - máx. 1 unidad VMU-1.

### VMU-M, Módulo maestro y registro de datos



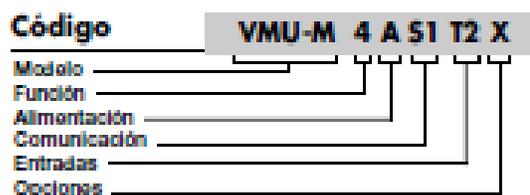
- Capacidad de comunicación maestro
- Puerto de comunicación RS485 (Modbus)
- Gestión del bus de comunicación hasta 15 unidades VMU-S, VMU-P y VMU-O combinadas
- Dos entradas digitales
- Dos entradas de temperatura: Pt100 o Pt1000
- Puntos de consigna de alarma virtual o real que pueden ser asociados a cualquier variable disponible
- Sistema de registro de eventos y de datos con fecha y hora
- Lectura en display: 6 dígitos
- Alimentación de 12 a 28 VCC
- Dimensiones: 1 módulo DIN
- Grado de protección (frontal): IP40

### Descripción del producto

Eos-Array es una combinación de módulos que realizan un control completo de una planta fotovoltaica. La unidad principal es VMU-M que gestiona el bus local de las unidades de medición VMU-S y VMU-P y de la unidad de E/S VMU-O. VMU-M asigna automáticamente la dirección de la unidad local (hasta 15 unidades) y recoge todas las mediciones locales que proceden de las unidades de medición VMU-S y VMU-P. VMU-M puede pro-

porcionar por medio de los módulos VMU-O dos salidas de relé para la gestión de alarmas y/o las cargas externas (como un sistema de alumbrado; un sistema de lavado del módulo etc.) y dos entradas de temperatura. Estas dos últimas entradas de medición pueden también convertirse, según sea la función programada, en dos entradas digitales. Se presenta en caja à carril DIN, grado de protección IP40 (frontal).

### Código



### Selección del Modelo

Función	Alimentación	Comunicación	Entradas
4: Almacenamiento de datos 4Mbyte (*)	A: De 12 a 28VDC (*)	S1: RS485 Modbus (*)	T2: dos entradas de temperatura o dos entradas digitales para contactos libres de potencial (*)
Opción	(*) estándar.		
X: Ninguna			

## VMU-S, unidad de medición de string



- Portafusible integrado (10x38mm) para la protección de string
- Dimensiones: 1 módulo DIN
- Grado de protección (frontal): IP40

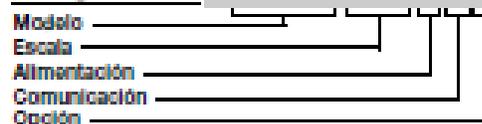
- Medición directa de intensidad CC hasta 16A (hasta 30A sin fusible)
- Formato de datos variables instantáneas: 4 dígitos
- Formato de datos de energía: 6 dígitos
- Variables instantáneas: V, A, W.
- Mediciones de energías: Kwh.
- Precisión: Clase 1 (KWh),  $\pm 0,5$  lectura (tensión/intensidad)
- Medición directa de tensión CC hasta 1000V
- Alimentación auxiliar desde la unidad VMU-M
- Gestión de alarma de string por medio de la unidad VMU-M
- Detección de fusible fundido por medio de la unidad VMU-M
- Control de conexión del panel fotovoltaico sólo por medio de la unidad VMU-M

## Descripción del producto

Unidad de medición de variables con portafusible de protección incorporado (el fusible no se incluye) adecuada para la medición de intensidad CC, tensión, potencia y energía en aplicaciones solares fotovoltaicas. Las entradas/salidas de intensidad y las entradas de tensión facilitan las conexiones de los string. Conexión directa hasta 16A o 30A

según el modelo. Además la unidad está provista de un bus de comunicación auxiliar. Las alarmas, la detección de fusible fundido, la conexión de paneles fotovoltaicos y la comunicación se gestionan por medio del módulo VMU-M. Se presenta en caja a carril DIN con grado de protección IP40 (frontal).

## Código

**VMU-S AV10 X S FX**


## Selección del Modelo

Escala	Alimentación	Comunicación	Opción
<b>AV10:</b> 1000V CC, 16A (Conexión directa) (*) <b>AV30:</b> 1000V CC, 30A (Conexión directa) (**). En este caso, la opción es "XX".	<b>X:</b> Autoalimentación de 12 a 28VDC; alimentado por la unidad VMU-M	<b>S:</b> Bus de comunicación auxiliar, sólo compatible con el módulo VMU-M (*)	<b>XX:</b> Ninguna (sin portafusible) <b>FX:</b> Con portafusible

(\*) estándar.  
 (\*\*) opcional

## VMU-1, unidad de aislamiento reforzado



- Unidad de aislamiento reforzado para aplicaciones donde es necesario un aislamiento de entradas de medida del VMU-S superior a 800VCC.
- Ampliación de aislamiento respecto a tierra de 800VCC (sin VMU-1) a 1000VCC
- Dimensiones: 1 módulo DIN
- Grado de protección (frontal): IP40

### Descripción del producto

La unidad VMU-1 permite aumentar el aislamiento de la entrada de medida de tensión respecto a tierra de 800VCC a 1000VCC. El módulo VMU-1 debe instala-

arse entre el primer VMU-S y el resto de módulos VMU. Se presenta en caja a carril DIN con grado de protección IP40 (frontal).

### Código

**VMU-1 1000**

Modelo estándar

### Selección del Modelo

Modelo estándar

Tensión de aislamiento  
1000V:

Refuerzo de la entrada de medida de tensión respecto a tierra desde 800VCC (sin módulo) hasta 1000VCC.

Nota: se necesita solo un módulo VMU-1 por cada grupo de Eos-Array.

## VMU-P, unidad de variables ambientales



- Mediciones: temperatura de módulos fotovoltaicos, temperatura del aire, irradiancia solar y velocidad del viento
- Dos entradas de temperatura: Pt100 o Pt1000
- Una entrada de 120mV CC o 20mA CC con capacidad de escala para medición de la irradiancia
- Una entrada de pulsos para medición de la velocidad del viento
- Bus de comunicación auxiliar a la unidad VMU-M
- Alimentación auxiliar de la unidad VMU-M
- Dimensiones: 1 módulo DIN
- Grado de protección (frontal): IP40

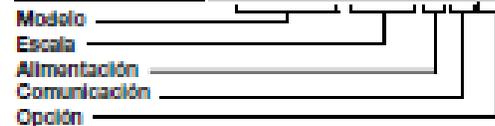
### Descripción del producto

Unidad de medición de las variables ambientales adecuada para medir la temperatura del panel fotovoltaico, la temperatura del aire, la irradiancia solar y la velocidad del viento en aplicaciones solares fotovoltaicas.

Además, la unidad está provista de un bus de comunicación que se gestiona por medio del módulo adicional VMU-M. Se presenta en caja a carril DIN con grado de protección IP40 (frontal).

### Código

**VMU-P 2TIW X S X**



### Selección del Modelo

Escala	Alimentación	Comunicación	Opción
<p><b>2TIW:</b> Dos sondas de temperatura tipo "Pt", entradas de medición mV de la irradiancia solar y velocidad del viento (*)</p> <p><b>2TCW:</b> Dos sondas de temperatura tipo "Pt", entradas de medición mA de la irradiancia solar y velocidad del viento (*)</p>	<p><b>X:</b> Autoalimentación de 12 a 28VCC, desde la unidad VMU-M</p>	<p><b>S:</b> Bus de comunicación auxiliar, sólo compatible con el módulo VMU-M (*)</p>	<p><b>X:</b> Ninguna</p>

(\*) estándar.

## VMU-O, unidad de entradas/salidas



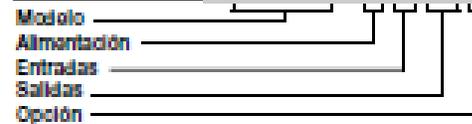
- Módulo de entradas y salidas digitales
- Dos salidas de relé gestionadas por el módulo VMU-M
- Dos entradas digitales gestionadas por el módulo VMU-M
- Alimentación auxiliar desde el módulo VMU-M
- Dimensiones: 1 módulo DIN
- Grado de protección (frontal): IP40

### Descripción del producto

Unidad de E/S para su uso con módulos VMU-M. Dos entradas digitales y dos salidas de relé. Se presenta en caja a carril DIN con grado de protección IP40 (frontal).

### Código

**VMU-O X I2 R2 X**



### Selección del Modelo (Estándar)

Alimentación	Entradas	Salidas	Opción
X: Autoalimentación de 12 a 28VCC, desde la unidad VMU-M	I2: Dos entradas digitales (*)	R2: Dos salida de relé (*)	X: Ninguna

### Selección del Modelo (Antirrobo)

Alimentación	Entradas	Salidas	Opción
X: Autoalimentación de 12 a 28VCC, desde la unidad VMU-M	I3: Tres entradas digitales (*)	R1: Una salida de relé (*)	AT: compatibilidad anti-robo

Nota: en el caso de "Aplicación antirrobo" cada Eos-Array puede gestionar la combinación de un módulo VMU-O.X.I3.R1.AT y hasta tres módulos VMU-O.X.I2.R2.X.

(\*) estándar.

## VMU-AT, sensor antirrobo para VMU-O con opción "AT"



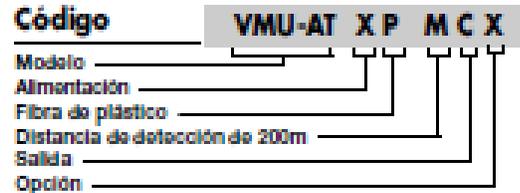
- Sensor de fibra óptica de plástico
- Distancia de detección hasta 200m
- Salida estática compatible con opción VMU-O "AT"
- Alimentación auxiliar desde la opción VMU-O "AT"
- Dimensiones: caja 14 x 31 x 73 mm
- Grado de protección (frontal): IP50

### Descripción del producto

Sensor antirrobo para conexión con fibra óptica para su uso con el módulo de E/S VMU-O "AT" para aplicaciones de antirrobo en los paneles fotovoltaicos, uniendo todos los paneles con la fibra

óptica (de plástico de 2,2mm). La distancia máxima del lazo que el sensor puede cubrir es 200m. Se presenta en caja a carril DIN con grado de protección IP50 (frontal).

### Código



### Selección del Modelo

Alimentación	Fibra óptica	Distancia de detección	Salida
X: Autoalimentación de 12 a 28VCC, desde la unidad VMU-O "AT"	P: De plástico (*)	M: 200m (*)	C: Colector abierto
Opción			
X: Ninguna			

(\*) estándar.

### Selección del Modelo

PFO22-1000 es un cable de fibra óptica de plástico hecho específicamente para el sensor VMU-AT y se

suministra con una longitud de 1000m. La temperatura de trabajo es de -55 a 70°C.

### Código



## **ANEXO C**

### **ANALISIS ECONOMICO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 3.0KW CONECTADO A LA RED DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

# ANÁLISIS ECONOMICO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 3.0KW CONECTADO A LA RED DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

Norman Beltrán Castañón - normanjesus@gmail.com

Universidad Nacional de Juliaca, Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables

Reynaldo Condori Yucra – rcondori@unaj.edu.pe

Universidad Nacional de Juliaca, Escuela Profesional de Ingeniería Energías Renovables

**Resumen.** Este trabajo presenta el análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a red de 3,3 kW, instalado en la escuela profesional de la EPIER de la Universidad Nacional de Juliaca, ubicado en latitud 16.2°S y longitud 71.3°O. Este análisis permite verificar si la instalación proyectada en el tiempo será suficientemente rentable. Se utiliza la eficiencia del panel fotovoltaico para evaluar el rendimiento del SFcR, la energía generada y los flujos de caja. Se identificó que el costo del sistema fotovoltaico, precio de la energía y ayuda financiera, es crucial para la viabilidad económica del proyecto, además de condiciones climatológicas favorables. Los resultados obtenidos muestran la viabilidad económica del SFcR en Juliaca. La tasa interna de retorno (TIR) del proyecto es 10,7%, sin deducción de impuestos, créditos fiscales y subsidios. El valor presente neto (VPN) tiene un valor de 10.708 US\$. Los flujos de caja empiezan a ser positivos a los 11,6 años. No es atractivo invertir cuando la tasa de descuento supere el 8%. El costo de la energía producida es 0,10 US\$/kWh, comparado con el costo de electricidad del sector residencial de 0,154 US\$/kWh.

**Palabras-claves:** Energía solar fotovoltaica, Sistemas fotovoltaicos conectados a la red, Análisis económico.

## 1. INTRODUCCION

Actualmente la cuestión energética es una preocupación a nivel mundial. Debido a los cambios climáticos y calentamiento global, mucho se discutió sobre la optimización del uso de recursos naturales, mayor uso de fuentes de energía con baja emisión de gases de efecto invernadero y bajos impactos ambientales. El sector eléctrico nacional está caracterizado por la mayor participación de fuentes renovables. En julio del 2016, la producción de electricidad ascendió a 3 996 GWh, El 42,2% es de fuente renovable, 1 588 GWh de origen hídrica, 91 GWh de origen eólico y 17 GWh de origen solar (SNMPE, 2016). En el Plan Energético Nacional 2014 – 2025 del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), se presenta proyecciones de consumo final de electricidad del orden de 1%, en un escenario optimista, que espera un crecimiento económico promedio anual de 6.5% (MINEM, 2014). En este panorama, se hace necesario además del aumento de generación, una diversificación de la matriz energética peruana con otras fuentes renovables, de forma que el Perú aumente su confiabilidad en el suministro y al mismo tiempo mantenga una matriz energética sustentable.

Debido a la localización geográfica del país, con buena oferta de radiación solar durante todo el año, la regulación de las licitaciones de energía solar por parte de MINEM y además de la reducción de los costos inherentes a la implementación de sistemas fotovoltaicos sentidas en los últimos años, es esperada una inserción cada vez mayor de la generación fotovoltaica en la matriz energética peruana, de forma que permita ayudar a suprimir ese aumento del consumo previsto.

Durante el 2014, el 42,1% de la energía eléctrica consumida es utilizada por el sector residencial, comercial y público, siendo el sector residencial responsable por 30% del consumo total nacional (MINEM2, 2014). Estos consumidores tienen generalmente baja densidad de carga y, por tanto, están sujetos a elevadas tarifas de energía eléctrica. Sin embargo, en algunas localidades los períodos de mayor demanda de energía eléctrica coinciden con los períodos de mayor radiación solar. Por lo tanto, los sistemas fotovoltaicos conectados a red (SFcR) integrados a residencias y edificios comerciales, pueden ser soluciones viables que permitirían la reducción de

la inversión del gobierno en distribución-trasmisión de energía y al mismo tiempo generarían economía y rentabilidad a estos consumidores.

El Perú viene ganando espacio en este escenario, principalmente después de la publicación del Decreto Legislativo N° 1002-2008, que declara de interés nacional y necesidad pública la promoción y participación de la energía procedente de Recursos Energéticos Renovables (RER) en la matriz energética. Conforme al Decreto Supremo N° 012-2011-EM y sus modificatorias que reglamentan la generación de electricidad con energías renovables, se llevaron a cabo las subastas para suministro de energía al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). Hasta el 2012, cuando se realizó la segunda subasta RER, los precios promedios en generación solar fotovoltaica bordeaban los 100 US\$/MWh. Ahora, después de producida la cuarta subasta de energía, los precios con este tipo de fuente disminuyeron hasta un promedio de 48 US\$/MWh (Electricidad, 2016). Este nuevo índice llama la atención en el horizonte del sector y colocó a los RER como un factor competitivo en el sector eléctrico peruano. Sin embargo, no existen reglamentos del MINEM y las subsecuentes normas técnicas de las empresas de energía, que regularicen la conexión de clientes de micro generación distribuida dentro del SEIN, disminuyendo la difusión de la generación fotovoltaica en el Perú.

El trabajo tiene por objetivo presentar el análisis de viabilidad económica de un SFcR de 3,3 kW, instalado en la escuela profesional de Ingeniería en Energías Renovables de la Universidad Nacional de Juliaca. A través de este análisis fue posible cuantificar los principales indicadores económicos del proyecto y el tiempo necesario para el retorno de la inversión.

## 2. COSTOS DE INSTALACION DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO Y SU DESEMPEÑO

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) la zona de mayor potencial anual de energía solar del territorio peruano se encuentra principalmente en la costa sur (16° a 18° S), donde se dispone de 6,0 a 6,5 kWh/m<sup>2</sup>.día. Estos valores son considerados favorables para la implementación de proyectos fotovoltaicos. La producción de energía eléctrica a través de módulos fotovoltaicos y su conexión con la red eléctrica de distribución, es una realidad en diversos países, creciendo y consolidándose como una forma limpia de producir electricidad (Wenjie et al., 2015).

En 2015, el Instituto Fraunhofer de Sistemas de Energía Solar, presentó un informe que muestra la evolución de los precios de los paneles fotovoltaicos entre 1980 y 2014 de 20 €/Wp y 0,6 – 0,7 €/Wp respectivamente (Fraunhofer/ISE, 2015). En este último año, algunas empresas chinas, presentaron precios competitivos por debajo de 0,4 €/Wp. En agosto de 2015, el precio promedio de fabricación para los módulos chinos y alemanes alcanzó una corta paridad de 0,57 €/Wp. Según IHS Technology, compañía de información global, se prevé que los precios medios anuales de los módulos bajen significativamente comparados con años anteriores, lo que contribuye a fijar precios más atractivos en los próximos meses. Se espera que esta perspectiva se mantenga hasta 2017, debido al vencimiento del crédito fiscal a la inversión federal de Estados Unidos hasta finales de 2016, se prevé reducir la demanda de instalaciones fotovoltaicas y dar lugar a una caída del 9% en los precios de los módulos. Los inversores fotovoltaicos han experimentado una significativa reducción en sus precios entre los años 1980 y 2013, pasando de 1,5 €/Wp a 0.15 €/Wp, respectivamente.

El informe de Instituto Fraunhofer, en el año 2014, mostró que los costos de instalación de SFcR en residencias osciló entre 2.000 US\$/kW y 6.000 US\$/kW. Países como China y Alemania alcanzaron precios próximos a 2.000 US\$/kW. El costo de la energía fotovoltaica en el sector residencial de países como China, Australia, Alemania y el estado de California presentaron precios próximos a 200 US\$/kWh.

### 2.1 Descripción del sistema fotovoltaico

En este trabajo se estudiará el SFcR implementado por la Universidad de Jaén de España y que se enmarcan dentro del proyecto de cooperación de “transferencia tecnológica en energía fotovoltaica” (Tinajeros et al., 2015). El Sistema Fotovoltaico (SF) está instalado en la azotea del edificio Administrativo de la Universidad Nacional de Juliaca. El sistema está constituido por: a) un generador fotovoltaico (GF) de 3,3 kWp, compuesto por 12 módulos fotovoltaicos constituidas de un *strings* en serie, inclinado a 16.3° y orientación norte, módulos de la marca SolarWorld y potencia nominal de 275 Wp. b) un inversor monofásico Steca,

modelo Colcept-x 3010x, potencia máxima de salida AC de 3 kW y usado para conectar el GF a la red eléctrica y c) un sistema de adquisición de datos. La Fig. 1 muestra el GF instalado en el techo de los laboratorios de energías renovables. En la Tab. 1 son mostradas las especificaciones técnicas del inversor y módulo fotovoltaico.



Figura - 1 Generador Fotovoltaico instalado.

Para recibir las señales de los sensores y equipos se utiliza la interface RS485, para su conexión con el computador se usó el cable serial RS232. Los datos de irradiancia, temperatura del módulo fotovoltaico, temperatura ambiente, intensidad de DC, tensión, potencia y energía del SF, se registraron cada 15 segundos, al mismo tiempo que son almacenados y visualizados en tiempo real en el computador, a través de una interface diseñada en LabVIEW. La Fig. 2 muestra el diagrama unifilar del SFcR y el sistema de adquisición de datos.

Tabla 1. Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico e inversor

Módulo	Unidad	Valor
<b>Fotovoltaico</b>		
Tipo	-	Monocrystalino
Eficiencia de módulo	%	16,40
Potencia máxima ( $P_{max}$ )	$W_p$	275
Área del módulo	$m^2$	0,95
	$^{\circ}C$	46
<b>TONC</b>		
Inversor	Unidad	Valor
Potencia máxima de entrada DC	W	3 070
Tensión MPP para potencia nominal	V	270 -
	W	500
Potencia máxima de salida AC	W	3 160
	V	3 000

	Potencia nominal AC	Hz	230
red AC	Tensión nominal de	%	45- 65
	Frecuencia de red		98,6
	Eficiencia máxima		

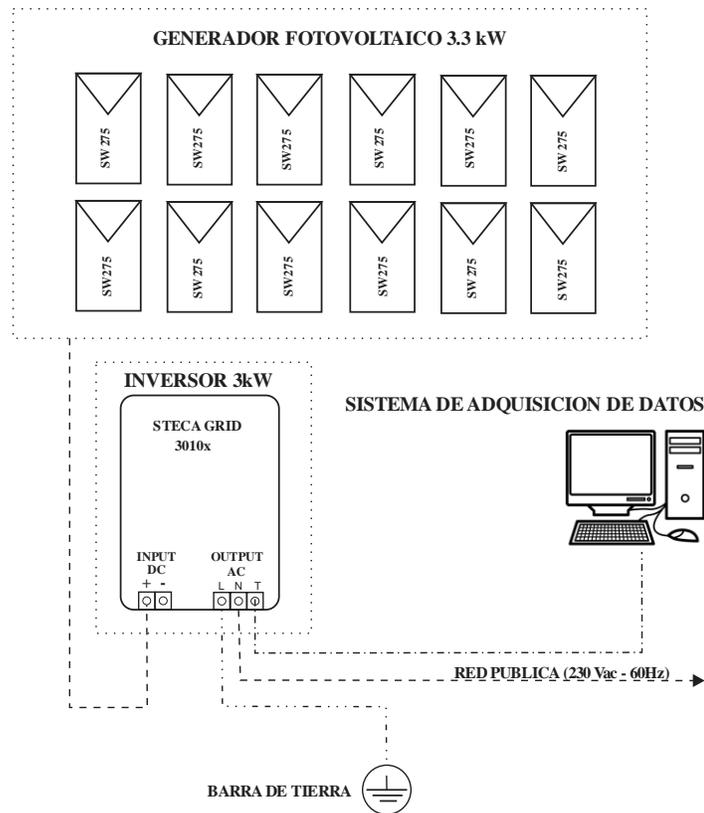


Figura 2 – Diagrama unifilar del SFcR y sistema de adquisición de datos.

## 2.2 Factores que afectan el rendimiento del sistema fotovoltaico

Los paneles fotovoltaicos son evaluados en laboratorios bajo condiciones especiales. Sin embargo, cuando están operando en campo se ven afectadas por días de nubosidad y lluvia, generando la disminución de la radiación solar en el panel y por tanto una baja eficiencia. El factor de capacidad de un proyecto considera generalmente el 20% de la capacidad nominal fotovoltaica. La disminución de horas de sol es otro factor que contribuye en la reducción de la potencia nominal del SF. Por ejemplo, si utilizamos un factor de capacidad de 20% en un proyecto fotovoltaico de 1,2 MW, puede producir 2 102 MWh de energía por año. Las mediciones realizadas en el SFcR, durante el periodo mayo-2015 a abril-2016, mostraron valores de energía generada y factor de capacidad de 6 128 KWh y 22% respectivamente. La Fig. 3 muestra la energía generada por el SF en un día típico de octubre y con 13 horas de sol, la producción de electricidad es continua y no presenta fluctuaciones.

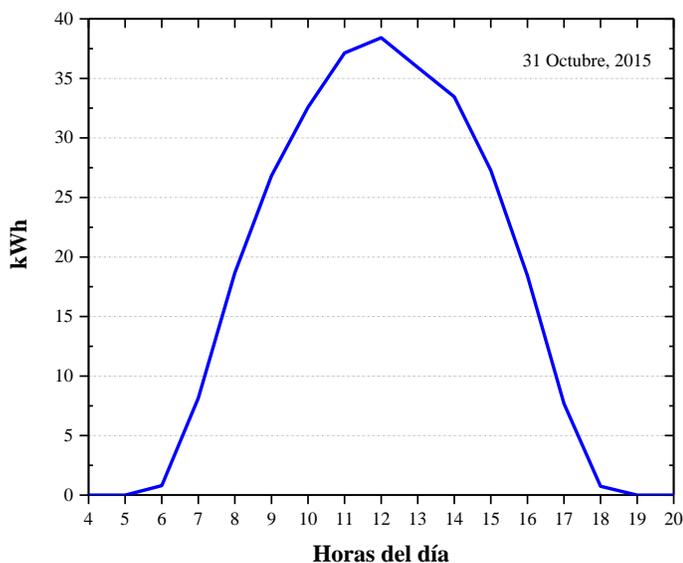


Figura 3 – Energía fotovoltaica generada en un día típico.

La temperatura es considerada uno de los principales factores en el rendimiento del SF. En la Fig. 4 se presenta la temperatura y energía generada para cada mes del año. La temperatura y la energía generada son más altas durante los meses de primavera debido a mayores niveles de irradiación. El SF produce electricidad durante todo el año, alcanzado valores altos en noviembre y más bajos en junio-15 y febrero-16. La energía eléctrica media más baja está por debajo de la mitad de la más alta.

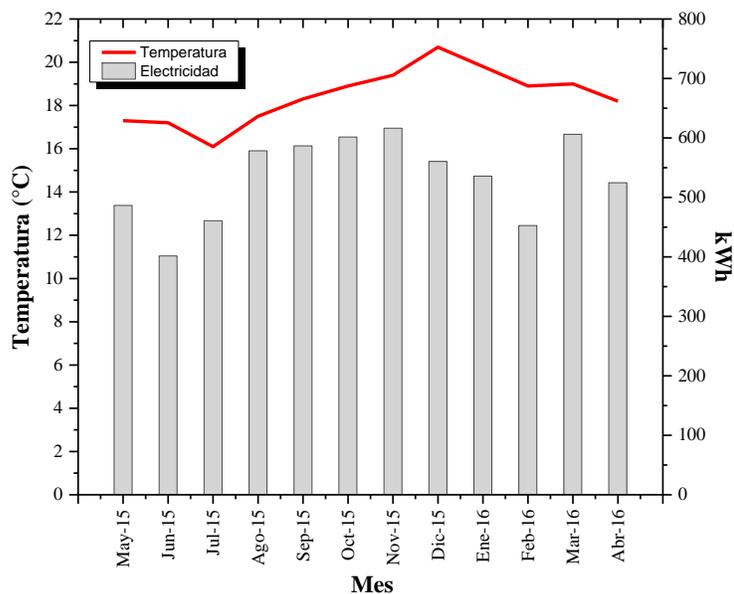


Figura - 4 Patrones mensuales de generación fotovoltaica y temperatura

La irradiación es otro factor importante en la generación de electricidad a través de SF. En el momento de realizar la medición de desempeño de un SF se toma en cuenta la cantidad de electricidad generada para una

irradiación dada. En la Fig. 5 se muestra la relación entre la generación de energía eléctrica y los diferentes niveles de irradiación. El mes evaluado corresponde a mayo del 2015 y se puede verificar su relación próxima. En la misma figura se puede observar que en el quinceavo día se presenta una disminución en la irradiación, originando también una reducción en la energía generada. Esta disminución podría ser explicado por la nubosidad presente en día. La irradiación y energía eléctrica promedio para este mes son de 5,76 kWh/m<sup>2</sup>.día y 15,6 kWh/día, respectivamente.

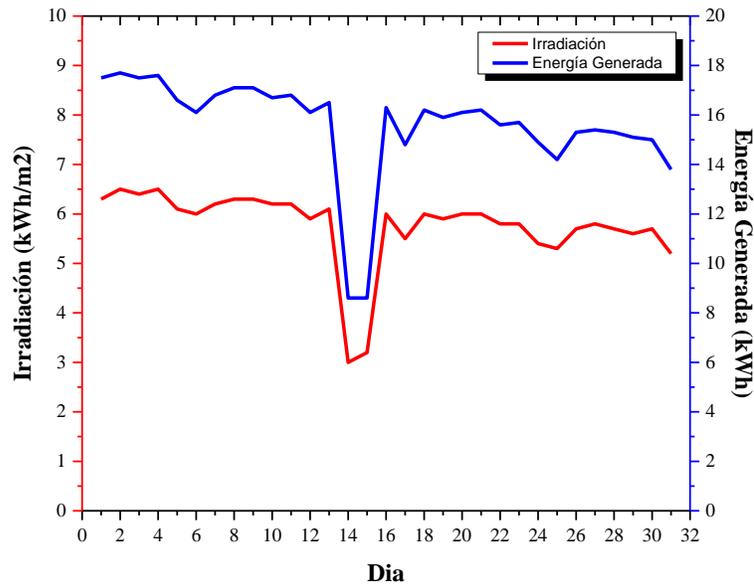


Figura - 5 Relación entre la irradiación y la producción de energía fotovoltaica

### 3. METODOLOGIA PARA DETERMINAR LOS PARAMETROS DEL ANALISIS ECONOMICO

El análisis económico del SFcR permite verificar si la instalación proyectada en el tiempo será lo suficientemente rentable. Este análisis está fundamentado en el comportamiento de cinco parámetros: valor presente neto, tasa interna de rentabilidad, costo de la energía producida y período de recuperación de la inversión y tiempo a flujo de caja positivo. Estos parámetros posibilitan evaluar de forma preliminar la viabilidad económica de SFcR, indicando si el balance de ingresos y gastos a lo largo del tiempo de la vida útil es positivo, si el valor de la energía producida es comparable a la practicada por la empresa eléctrica local y cuál es el horizonte de recuperación de la inversión en la adquisición, operación y mantenimiento del sistema.

Para determinar los parámetros económicos es necesario conocer los valores mostrados en la Tab. 2. Todos los valores monetarios empleados son provenientes de costos practicados en Arequipa. La productividad establecida es 1.900 kWh/kWp/año, admite una generación mensual alta para la región. La tasa de descuento toma en cuenta un índice medio para pequeños inversores en bancos locales y la variable inflación es la estimada por el Banco Central de Reserva. Para el tiempo de vida útil del SFcR se toma en cuenta el máximo tiempo de uso de los módulos fotovoltaicos. El valor de la energía entregada por el SFcR es tomado como igual a la practicada por la empresa eléctrica, opción tarifaria BT5B Residencial, facturación de octubre de 2016 y costo de 0,5179 S./kWh, equivalente a 0,154 US\$/kWh. Según el Banco de Reserva del Perú en su informe de la inflación del mes de junio, la inflación acumulada en los últimos doce meses pasó de 4,5% en febrero a 3,5% en mayo de 2016. Para el análisis tomaremos el valor de 4%. Está previsto reemplazar el inversor cada 10 años, a lo largo de la vida útil del SFcR.

Tabla 2. Valores de base utilizados en los cálculos

Parámetros de entrada	Unidad	Valor
Potencia del inversor	kW	3,0
Potencia del generador fotovoltaico	kWp	3,3
Productividad anual SFcR	kWh/kWp/año	1.900
Tasa de descuento	%	5
Inflación anual	%	4
Valor de la energía entregada por el SFcR	US\$/kWh	0,154
Tiempo de vida útil del SFcR	año	30
Costo del generador fotovoltaico	US\$/kWp	982
Costo del inversor	US\$/kW <sub>AC</sub>	833
Costo estructura soporte paneles FV	US\$/m <sup>2</sup>	65
Costo de accesorios	US\$/kWp	355
Costo servicios	US\$/kWp	939
Energía renovable producida	MWh/año	6.128

Una vez conocido los parámetros económicos y de financiamiento, se procede a calcular los indicadores que permitan tomar la decisión si el proyecto es rentable. Los indicadores más utilizados en la evaluación del proyecto son:

### Valor Presente Neto (VPN)

Es una medida de los excesos o pérdidas en los flujos de efectivo, todo llevado al valor presente, ya que el valor real del dinero cambia con el tiempo. La metodología consiste en descontar al momento actual, actualizando mediante una tasa, todos los flujos de efectivos futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor presente neto del proyecto y se puede calcular por la Ec.(1).

$$VPN = -I + \sum_{i=1}^n \frac{Q_n}{(1+r)^n} \quad (1)$$

Donde  $Q_n$  representa los flujos de caja,  $I$  es el valor del desembolso inicial de la inversión,  $n$  es el número de periodos considerados y  $r$  es la tasa de descuento a la cual se van a descontar los flujos efectivos.

### Tasa Interna de Retorno (TIR)

Es la tasa de descuento que hace que el VPN de una inversión sea igual a cero ( $VAN=0$ ). El criterio de la tasa interna de retorno evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo, con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual (Blank y Tarquin, 2006). La TIR puede calcularse por la Ec. (2).

$$VPN = -I + \sum_{i=1}^n \frac{Q_n}{(1+r)^n} = 0 \quad (2)$$

Donde  $r$  es igual a la TIR. Entonces se puede afirmar que la TIR representa la rentabilidad con respecto a una tasa mínima o de corte del inversionista.

### Periodo de recuperación simple (PRS)

El periodo de recuperación simple, mostrado en la Ec. (3), es el número de años que tarda el flujo de caja (excluyendo los pagos de deuda) para recuperar la inversión total (que es igual a la deuda más el capital):

$$PRS = \frac{C-IG}{(C_e+C_{Cap}+C_{ren}+C_{gei})-(C_{o\&m}+C_{elec})} \quad (3)$$

Donde  $C$  es el costo inicial total del proyecto,  $IG$  el valor de los incentivos y subvenciones,  $C_e$  es el ahorro anual de energía y/o ingresos,  $C_{cap}$  es la capacidad anual de ahorro y/o ingresos,  $C_{ren}$  ingresos del crédito de producción anual de energía renovables,  $C_{gei}$  son los ingresos por la reducción de los gases de efecto invernadero,  $C_{o\&m}$  son los costos contraídos para mantenimiento-operación del proyecto y  $C_{elec}$  es el costo anual de electricidad.

#### Tiempo a flujo de caja positivo ( $N_{FCP}$ )

Muestra los años que se tarda en empezar a tener mayores ingresos que gastos, es decir, flujos de caja positivo. Se obtiene resolviendo la Ec. (4) para  $N_{FCP}$ :

$$0 = \sum_{n=0}^{N_{FCP}} \tilde{C}_n \quad (4)$$

donde  $\tilde{C}_n$  es el flujo de caja después de pagados los impuestos del año  $n$ .

#### 4. RESULTADOS

En la Tab. 3 se muestran las figuras de mérito económico obtenidas luego de aplicar las Ec. (1) a (4), en un período de 30 años que corresponde al tiempo de operación del SFcR. Para el cálculo de VPN se considera que SFcR entrega toda la energía producida a la red de la empresa eléctrica por el mismo costo unitario de electricidad de 0,154 US\$/kWh que la práctica. A los activos se les asignó un valor nulo, debido a que los módulos fotovoltaicos y el tercer inversor han alcanzado el final de su vida útil después de 30 años de operación, no teniendo posibilidad de obtener algún ingreso con una posterior comercialización.

Tabla 3. Figuras de Mérito Económico

Indicador Económico	Unidad	Valor
VPN	10.708	US\$
TIR	10,7	%
PRS	12	Año
$N_{FCP}$	11,6	Año
Costo de la energía producida	0,10	US\$/kWh

La Tab. 3 muestra que a 11,6 años de ser instalado el SFcR, los ingresos son mayores que los gastos y por tanto los flujos de caja empiezan a ser positivos en el tiempo de 30 años de vida útil del proyecto. También se verifica que el costo de la energía producida por el SFcR es 35% inferior al valor de referencia cobrado al sector residencial por la empresa eléctrica. Esta diferencia será mayor cuando comparemos con las tarifas de energía eléctrica del sector industrial de Arequipa, que son del orden de 0,159 US\$/kWh. Para el consumidor residencial podría existir una atracción financiera para invertir en esta tecnología, debido a que son 12 años el tiempo de recuperación de la inversión. Empero, los costos iniciales de compra e instalación del SFcR podrían desmotivarlo, la capacidad de 3,3 kWp del sistema atiende las necesidades de una residencia de clase media. Sin embargo, dar un incentivo al consumidor para la compra del inversor y generador fotovoltaico, podría elevar considerablemente la opción de contar con SFcR en sus hogares. Se presentan algunos escenarios que serán analizados tomando en cuenta la influencia de tasa de descuento en el VPN, TIR, costo de instalación del SF y costo de energía generada.

La Fig. 6 muestra el comportamiento del VPN a diferentes valores de tasa de descuento. No es atractivo invertir en SFcR cuando la tasa de descuento supere 8%, esto por los valores negativos de VPN, aún después de 20 años de operación del sistema. También se observa que tasas de descuento del orden de 10% solo presentan un VPN positivo después de 22 años de operación, lo que es un tiempo muy largo para invertir. En esta última tasa de descuento, después de 30 años de operación, el VPN llegaría apenas US\$ 842, siendo insignificante para el tiempo de operación del proyecto y la inversión realizada. Por otro lado, una tasa de descuento menor al 4%, típica de economías más estables, proporcionaría un periodo de recuperación simple de 12 años y VPL de US\$ 14.051, durante el tiempo de operación del sistema.

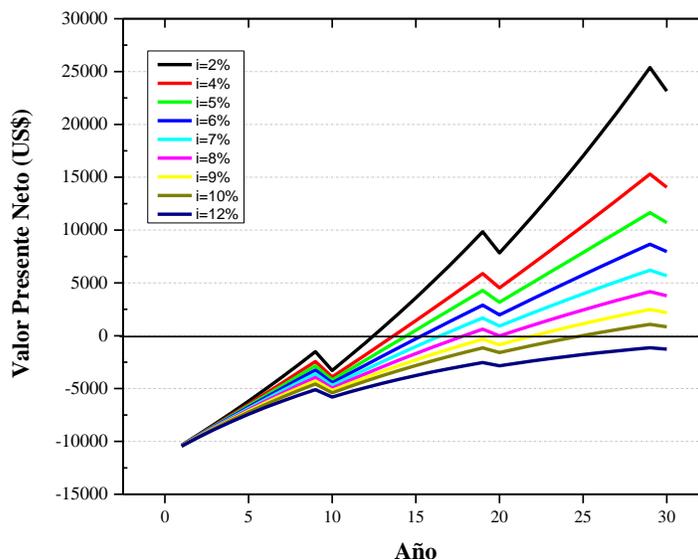


Figura - 6 Comportamiento del VPN con la tasa de descuento empleada

En la Fig. 7 se muestra la evaluación de la relación entre el costo de instalación fotovoltaica (US\$/W) y la TIR a diferentes niveles de precios de energía. Las líneas representan tres escenarios diferentes de precios de electricidad generado por el SF. Las líneas tienen tendencias similares con mayor TIR para menores costos de instalación del SF. Por ejemplo, cuando el costo de la instalación fotovoltaica es 3 US\$/W, la TIR de la inversión sería de alrededor 11,7% para un precio de venta de \$0,15 US\$/W. En la misma curva, si el costo de instalación del sistema fotovoltaico baja a 2 US\$/W, la TIR aumentará a 17%. Si el costo de sistema fotovoltaico es 1 US\$/W, la TIR del proyecto es superior a 20%. En el actual mercado de energía con precios actuales de electricidad de 0,1 US\$/W y costos del sistema fotovoltaico de 3 US\$/W, la inversión en el sistema fotovoltaico PV apenas produce una TIR positiva

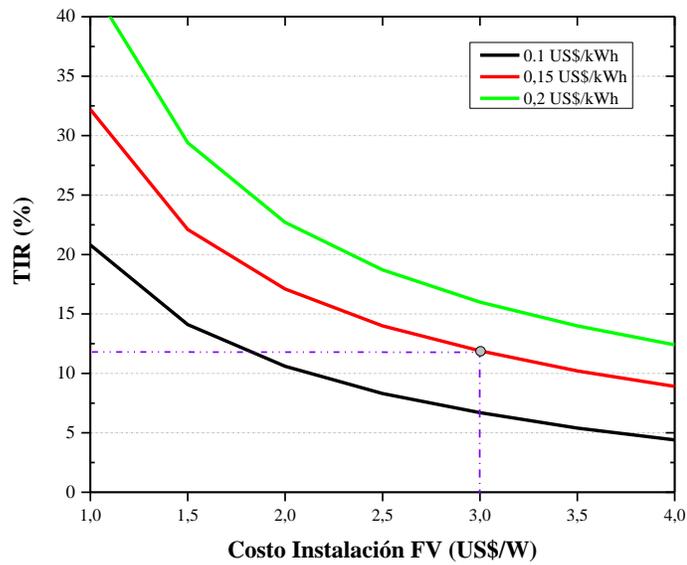


Figura - 7 Costo de instalación FV, costo de energía y TIR

En la Fig. 8 se muestra la desvalorización del costo de energía producida por el SF, disminución rápida en el rango de 1 – 8 años, para luego continuar con una tendencia más estable. Parte de un valor de 1,85 US\$/kWh, luego en el año 10 alcanza el valor de 0,22 US\$/kWh, en el año 20 tienen un valor de 0,13 US\$/kWh y finalmente llega a reducirse en el año 30 hasta un valor de 0,1 US\$/kWh.

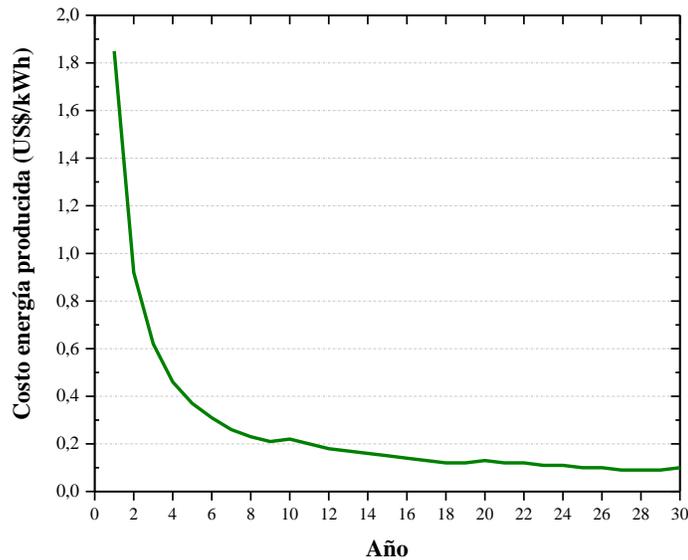


Figura - 8 Costo de la energía producida a lo largo del proyecto

## 5. COMENTARIOS FINALES

Este trabajo muestra que la paridad tarifaria para SFcR es factible en Juliaca, cuando es relacionada con la tarifa aplicada a los consumidores del sector residencial de baja tensión y sin ningún subsidio para la compra de equipos de generación de energía. El tiempo de recuperación de la inversión es 12 años. Empero, una forma viable para incentivar el uso de SFcR es a través de la implementación de subsidios en la compra de los principales equipos como el inversor y módulo fotovoltaico, posibilitando de esta forma una mayor atracción para invertir en generación de energía fotovoltaica.

El proyecto del SFcR en el sector residencial es rentable, con 12 años el tiempo de recuperación de la inversión y la TIR (10,7%) que está por encima de la tasa de descuento (5%). Si aumentamos a la capacidad instalada ante una mayor demanda de consumo, será aún más rentables. Con bajos costos de instalación, altos precios de energía, créditos y subsidios otorgados, podría producir aumento en la TIR.

En Perú, el uso de estos SFcR está en una etapa inicial de desarrollo. Sin embargo, las perspectivas para esta tecnología son promisorias. Además de probables incentivos gubernamentales, como se puede ver en otros países, así como el sistema de créditos para micro generación, se esperaría una gran difusión de la energía solar en la matriz energética peruana. Consecuentemente, para impulsar este tipo de generación de energía en nuestro país, es necesario tener profundo conocimiento técnico del proyecto, además del correcto dimensionamiento e instalación del SFcR.

En la región Puno, la disponibilidad elevada del recurso solar, las bajas temperaturas y la adherencia cultural en la utilización de la energía solar, favorecerían la diseminación del uso de sistemas fotovoltaicos conectados a red y sería un centro de referencia para el resto del país.

Por constituir una forma de Generación Distribuida, los Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red e instalados en edificaciones urbanas serán cada vez más utilizados. En la actualidad muchos países utilizan ampliamente esta aplicación fotovoltaica e inclusive en diversos lugares ya se discute la posibilidad de inserir sistemas de almacenamiento de energía, basados fundamentalmente en el uso de baterías avanzadas como las de Litio. El futuro indica que las edificaciones urbanas serán cada vez más autónomas en términos de energía eléctrica y la red será utilizada solamente cuando las baterías no fueron cargadas. Si el Perú desea seguir esta tendencia será necesario entonces crear una estructura legal y reglamentación apropiada para la mejor difusión de estos sistemas.

### *Agradecimientos*

Este trabajo fue posible gracias la Universidad de Jaén, a través del grupo de Investigación y Desarrollo en Energía Solar y Automática (IDEA), CER-UNI y la Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AACID).

## REFERENCIAS

- Fraunhofer/ISE, 2015. Photovoltaics Report, Prepared by Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE with support of PSE AG Freiburg, [www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de).
- SNMPE, 2016 Boletín Estadístico Mensual Eléctrico Agosto 2016. Disponible en <<http://www.snmpe.org.pe/informes-y-publicaciones/boletin-estadistico-mensual/electrico/4454-boletin-estadistico-mensual-electrico-agosto-2016.html>>. Acceso en 14 oct. 2016.
- MINEM, 2014 Plan Energético Nacional 2014 – 2025, Dirección General de Eficiencia Energética.
- MINEM2, 2014 Balance Nacional de Energía, Ministerio de Energía y Minas.
- Electricidad, 2016 Revista Electricidad Generación - Transmisión – Distribución. Edición N° 31, Año VIII , pp. 56
- Tinajeros Salcedo, Miguel; Alberto Montoya Portugal; Ernesto Palo Tejada, Federico Morante Trigoso, 2015. Evaluación del desempeño de un sistema fotovoltaico conectado a red de 3.3 kw en la ciudad de Arequipa. XXII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XXII-SPES), Arequipa, 16 – 21.11.2015
- Wenjie, Zhang; Hao Binb; Li Nianpinga; Liu Shanb; Yao Chunni, 2015. Investigation on photovoltaic application in buildings in China. Energy Procedia, Vol. 70, pp. 673- 682.
- Blank, L. Tarquin, A. 2006. Ingeniería Económica, McGraw-Hill.

## ECONOMIC ANALYSIS OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM OF 3.0KW CONNECTED TO THE NETWORK OF THE NATIONAL UNIVERSITY OF JULIACA

**Abstract.** . *This paper presents the economic analysis of a photovoltaic system connected to a 3.3 kW grid, installed in the professional school of the EPIER of the National University of Juliaca, located at latitude 16.2 ° S and longitude 71.3 ° W. This analysis allows to verify if the projected installation in time will be sufficiently profitable. The efficiency of the photovoltaic panel is used to evaluate the performance of the SFcR, the energy generated and the cash flows. It was identified that the cost of the photovoltaic system, price of energy and financial aid, is crucial for the economic viability of the project, in addition to favorable weather conditions. The results obtained show the economic viability of the SFcR in Juliaca. The internal rate of return (IRR) of the project is 10.7%, without deduction of taxes, tax credits and subsidies. The net present value (NPV) has a value of 10,708 US \$. Cash flows begin to be positive at 11.6 years. It is not attractive to invest when the discount rate exceeds 8%. The cost of the energy produced is 0.10 US \$ / kWh, compared to the cost of residential electricity of 0.154 US \$ / kWh.*

**Key words:** Solar energy, grid connected photovoltaic system, economic analysis.