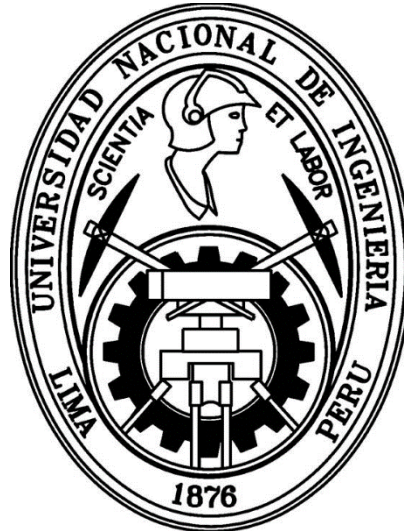


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS



TESIS

**“EVALUACIÓN ENERGÉTICA CON FINES DE ESTUDIO
DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CER-IDEA 3 kW
CONECTADO A LA RED DEL CTIC-UNI”**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

ELABORADO POR:

RICARDO MOISÉS CAMPOS MONTES

ASESOR:

Dr. MANFRED JOSEF HORN MUTSCHLER

LIMA – PERÚ

2 018

DEDICATORIA

A la juventud estudiosa peruana que día a día construye caminos de esperanza con rumbo hacia la unión, progreso, paz y bienestar de nuestra nación.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento eterno al personal de la facultad de ciencias de la UNI:

En primer lugar, a mis profesores, representados, por el profesor Dr. Manfred Josef Horn Mutschler, quien ha sido mi Guía en la elaboración de la presente tesis, a los profesores Ing. Rafael Leonardo Espinoza Paredes y Dr. Aníbal Abel Valera Palacios, por sus valiosas enseñanzas en el uso de la energía solar.

Seguidamente, a los demás docentes, encarnados en dos grandes amigos: profesor Guido Juvenal Castillo Ocaña y profesor César Martín Cruz Salazar, por su apoyo incondicional.

Luego, al personal administrativo y trabajadores en general, en las personas de Víctor Raúl Quinde Saavedra y José Marcelo Farfán López, amigos entrañables que he tenido la fortuna de conocer.

ÍNDICE

CARÁTULA	1
ÍNDICE	4
RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
CAPÍTULO I.....	8
Introducción.....	8
1.1. Objetivo General	8
1.2. Objetivos Específicos	8
1.3. Planteamiento del Problema	8
1.4. Hipótesis	9
1.5. Justificación	9
1.6. Metodología	10
1.7. Antecedentes.	11
1.7.1. Nivel Nacional.....	11
1.7.2. Nivel Internacional	13
CAPÍTULO II.....	16
Importancia y Consecuencias de los Sistemas de Energía	16
2.1. Matriz Energética e Hidrocarburos	16
2.1.1. Sistema Eléctrico y su Impacto Económico y Social	16
2.1.2. Consecuencias del Uso de Hidrocarburos	18
2.2. Posibilidades Energéticas y Realidad Nacional	21
2.2.1. Posibilidades de Ampliar el Espectro Energético	21
2.2.2. Realidad del Sistema Eléctrico Nacional.....	23
2.3. Modernización del Sistema Eléctrico y Aporte de las Ciudades	25
2.3.1. Generación Centralizada y Generación Distribuida.....	25
2.3.2. Rol de las Ciudades en el Sistema Eléctrico Nacional.	27
CAPÍTULO III.....	29
Energía Solar Fotovoltaica	29
3.1. Características Básicas.....	29
3.2. El Módulo Fotovoltaico como Referente Técnico.....	33
3.3. Comportamiento Eléctrico del Módulo Fotovoltaico.....	36
3.4. Consecuencias del Agrupamiento de Módulos Fotovoltaicos	39
CAPÍTULO IV	41
Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red (SFCR) y su Instrumentación	41

4.1.	Ventajas de los SFCR	41
4.2.	La Electrónica, Informática y Comunicación en SFCR	42
4.2.1.	El Inversor Componente Vital	43
4.2.2.	Evolución del Inversor	45
4.3.	Instrumentación Electrónica y Monitorización en SFCR	45
4.3.1.	Instrumentación Electrónica.....	45
4.3.2.	Monitorización	47
4.4.	Los SFCR y sus Bloques Funcionales	48
CAPÍTULO V		55
Descripción del SFCR-CTIC y Análisis de su Comportamiento Energético		55
5.1.	Características Técnicas y de Instalación, del Sistema a Evaluar	55
5.2.	Variables, Dimensiones e Indicadores de Evaluación	61
5.3.	Método y Definición Operacional de Indicadores.....	63
5.4.	Organización de Datos y Evaluación del SFCR.....	65
CAPÍTULO VI		66
Presentación y Análisis de los Resultados		66
6.1.	Presentación de Resultados.....	66
6.1.1.	Resultados Mensuales	66
6.1.2.	Resultados por Estaciones del Año	69
6.2.	Prueba de Hipótesis.....	72
6.3.	Discusión	73
CAPÍTULO VII		75
Conclusiones y Recomendaciones.....		75
7.1.	Conclusiones	75
7.2.	Recomendaciones	76
BIBLIOGRAFÍA.....		77
ANEXOS.....		79

RESUMEN

La presente tesis se desarrolló teniendo como objetivo general evaluar con fines de estudio, en su comportamiento energético, el sistema fotovoltaico CER-IDEA 3 kW conectado a la red eléctrica interior del CTIC-UNI,

El sistema evaluado constituye un sistema fotovoltaico conectado a la red interior de edificaciones, actualmente en servicio, con una potencia nominal de 3 225 Wp. La instrumentación utilizada con dispositivos autónomos modulares conectados a una PC instalada en un centro de monitoreo, ha permitido recopilar datos de quince (15) parámetros de naturaleza eléctrica y meteorológica, cada 15 segundos, quedando registrados en una base de datos, y pueden ser visualizados en la pantalla de la PC.

El trabajo de tesis corresponde a una investigación de tipo aplicada, con método cualitativo – cuantitativo, y procedimiento según lo estipulado en la norma IEC-61724 - 2000. Además, se ha tenido en consideración el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a la Red (2 011, IDAE, Madrid España), y las recomendaciones de los fabricantes de equipos para SFCR, su instrumentación y monitoreo.

A partir de los datos registrados mediante la monitorización del sistema, la variable: **comportamiento energético** fue evaluada en sus **dominios: productividad (Y), pérdida (L), eficiencia (η) y rendimiento (PR)**, calculando sus correspondientes **indicadores**, que luego han servido para probar la hipótesis formulada. La evaluación corresponde a un periodo que abarca de marzo 2017 a mayo 2018, y las cuatro estaciones: otoño, invierno, primavera y verano, comprendidas entre el 22 de marzo de 2017 y el 21 de marzo de 2018.

Los resultados se obtuvieron con el procesamiento de la información generada mediante la monitorización de la instalación, y han sido sintetizados en tablas y gráficos que se presentan debidamente organizados, mostrando la forma como ha venido operando el sistema, constituyendo una importante herramienta de análisis para mejorar las condiciones de trabajo y documentar las posibilidades de aplicación, en nuestro medio, de este tipo de sistema generador de energía eléctrica.

Palabras clave: evaluación, sistema fotovoltaico, conexión a red, energía solar.

ABSTRACT

The present thesis was developed with the general objective of evaluating the CER-IDEA 3kW photovoltaic system connected to the CTIC-UNI internal electrical network for study purposes, in its energy behavior,

The system evaluated constitutes a photovoltaic system connected to the interior network of buildings, currently in service, with a nominal power of 3 225 Wp. The instrumentation used with modular autonomous devices connected to a PC installed in a monitoring center, has allowed to collect data of fifteen (15) parameters of electrical and meteorological nature, every 15 seconds, being recorded in a database, and can be visualized on the PC screen.

The thesis work corresponds to a research of applied type, with qualitative - quantitative method, and procedure as stipulated in the IEC-61724 - 2000 norm. In addition, the Technical Specifications of Installations Connected to the Network have been taken into consideration (2 011, IDAE, Madrid Spain), and the recommendations of the equipment manufacturers for SFCR, its instrumentation and monitoring.

From the data recorded by monitoring the system, the variable: **energy performance** was evaluated in its **domains: productivity (Y), loss (L), efficiency (η) and yield (PR)**, calculating their corresponding **indicators**, which then served to test the hypothesis formulated. The evaluation corresponds to a period that covers from March 2017 to May 2018, and the four seasons: autumn, winter, spring and summer, between March 22, 2017 and March 21, 2018.

The results were obtained through the processing of the information, and have been synthesized through tables and graphs that are presented properly organized, showing the way the system has been operating, constituting an important analysis tool to improve working conditions and document the possibilities of application, in our environment, of this type of electric power generating system.

Keywords: evaluation, photovoltaic system, grid connection, solar energy.

CAPÍTULO I

Introducción

1.1. Objetivo General

El **objetivo general** del presente trabajo de investigación es:

- Evaluar, con fines de estudio, el sistema fotovoltaico de 3 kW conectado a la red interior del edificio del CTIC, ubicado en la ciudad universitaria de la UNI, para obtener información acerca de su comportamiento energético.

1.2. Objetivos Específicos

Los **objetivos específicos** que se esperan alcanzar, son los siguientes:

- Mostrar una primera aproximación a la realidad energética en la generación de electricidad en nuestro país y las consecuencias del uso descontrolado de los hidrocarburos.
- Propiciar la generación distribuida, y, reducción del transporte de energía, a través de la red de distribución pública.
- Recabar información generada durante la producción de potencia eléctrica, según condiciones de trabajo impuestas por nuestra realidad.
- Difundir el uso de la energía solar como posible sustituto de los hidrocarburos, contribuyendo a reducir la emisión de gases de efecto invernadero.
- Mostrar el estado actual del marco legislativo y normativo, de ámbito nacional, que oriente y reglamente las actividades en la generación de energía eléctrica mediante SFCR interior de edificaciones.

1.3. Planteamiento del Problema

La demanda creciente de energía eléctrica por parte de los consumidores conectados a la red de distribución administrada por las empresas suministradoras, constituye un problema cada vez mayor por la expansión urbana de las ciudades.

Contribuir en la búsqueda de soluciones a esta situación que se presenta en las más importantes localidades de nuestro país, ha **motivado** el desarrollo del presente trabajo de tesis, cuyo enfoque sigue las tendencias actuales de modernizar los sistemas eléctricos procurando:

- Configurar una matriz energética cada vez menos dependiente de los hidrocarburos.
- Contribuir a retardar el cambio climático, reduciendo la emisión hacia la atmósfera de gases de efecto invernadero.
- Utilizar energías renovables que permitan diversificar y distribuir las fuentes primarias en la generación de potencia eléctrica.

1.4. Hipótesis

La evaluación energética, con fines de estudio, del SFCR CER-IDEA 3kW conectado a la red del CTIC-UNI, revela sus posibilidades de uso en nuestro medio, al tener un comportamiento comparable al de instalaciones similares, localizadas en otras partes del mundo.

1.5. Justificación

Entre las fuentes energéticas que contribuyen a modernizar los sistemas eléctricos en cuanto a la diversificación y distribución de los centros de generación, la energía solar goza de importantes ventajas en relación a otras alternativas, gracias al desarrollo científico y tecnológico alcanzado, a la flexibilidad que muestra para el emplazamiento de los generadores, la modularidad de éstos y las tecnologías de respaldo que en los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, han posibilitado su automatización, monitoreo en tiempo real y control a distancia. Son estas las consideraciones que sirven de **sustento** al desarrollo de la presente tesis, bajo el enfoque de nuestra realidad nacional, en cuanto a su posibilidad en el uso de las energías no convencionales, según la cual, el Perú cuenta con importantes recursos energéticos renovables, entre ellos el solar, aprovechable en la producción de energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Sin embargo, la experiencia en la explotación de estos tipos de sistemas es muy escasa dada la carencia de personal capacitado, insuficiente información propia, falta de un adecuado marco legislativo y normativo, muy poca difusión, etc.

En este contexto, la Universidad Nacional de Ingeniería en convenio con la Universidad de Jaén, España, ha emprendido un programa de implementación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red interior de tres de sus edificaciones ubicadas en el campus universitario. Uno de estos sistemas fotovoltaicos entrega energía al edificio del CTIC, y ha servido de referencia para elaborar la presente tesis, denominada:

Evaluación Energética con Fines de Estudio del Sistema Fotovoltaico CER-IDEA 3 kW Conectado a la Red del CTIC-UNI.

1.6. Metodología

Para alcanzar los objetivos se ha seguido un **método** cualitativo - cuantitativo, contemplado en la norma IEC 61724 – 2000, considerando el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a la Red (2 011, IDAE, Madrid España), y las recomendaciones de los fabricantes de equipos para SFCR, su instrumentación y monitoreo. En este marco, el desarrollo del presente trabajo comprende siete capítulos, el primero de los cuales corresponde a las consideraciones que sustentan su desarrollo.

El segundo de ellos hace referencia a la importancia de los sistemas eléctricos y las consecuencias de su explotación, basada por lo común, en el uso intensivo y descontrolado de los hidrocarburos. Se muestra un panorama de la realidad nacional electro energética y se expone la necesidad de modernizar los sistemas eléctricos y, las posibilidades de hacerlo en nuestro país utilizando fuentes de energías renovables. Así mismo, se pone de manifiesto el rol que juegan las ciudades en el consumo de energía eléctrica y en la mejora de la red de suministro.

En el tercer capítulo se aborda la energía solar desde sus conceptos básicos y las posibilidades de aprovechamiento que la tecnología fotovoltaica y las entidades de estandarización en el ámbito de las celdas y módulos solares, nos ofrecen.

Con el cuarto capítulo se incursiona en el tratamiento de los sistemas fotovoltaicos como importantes proveedores de energía eléctrica, sin contaminar el medio ambiente, destacando la prevalencia de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR). Además, se pone de manifiesto el rol fundamental que cumple el inversor, y los aportes de las nuevas tecnologías como son la informática y comunicación que, respaldadas en la instrumentación y electrónica, han hecho posible contar con sistemas fotovoltaicos capaces de garantizar un servicio seguro, confiable, flexible, eficiente y encaminado a la optimización.

El quinto capítulo ha permitido presentar el SFCR CER-IDEA 3 kW, objeto de evaluación en su comportamiento energético. Se describen sus bloques componentes

y se define la variable a tratar, sus dimensiones e indicadores cuantificables según procedimiento normalizado.

En el sexto capítulo, se muestran los resultados, luego de ser organizados para periodos mensual, estacional y anual. Son presentados en tablas y gráficos, facilitándose la interpretación de los mismos y también se sustenta la prueba de hipótesis.

En el capítulo VII, se consignan las conclusiones y recomendaciones. Luego, mediante la bibliografía, se hace conocer las fuentes de información que guiaron el desarrollo del presente trabajo de tesis; finalmente se incorporan los anexos que complementan la información y resultan necesarios para tener una unidad integral de investigación.

1.7. Antecedentes.

En la búsqueda de información sobre sistemas fotovoltaicos conectados a la red, que han sido tratados en cuanto a su comportamiento energético; particularmente, aquellos conectados a la red de distribución de servicio público y a la red interior de edificaciones, se encontraron los siguientes trabajos de investigación, que han servido de antecedentes a la presente tesis y que seguidamente se presentan según autores, institución de origen y resumen de contenido:

1.7.1. Nivel Nacional:

Laureano Oré, Carlos Brany (2017), en la tesis titulada: **Análisis de Rendimiento de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red Eléctrica de 3.225 kW en Lima**, Universidad Nacional de Ingeniería, sostiene que, el sistema fotovoltaico conectado a la red es una de las alternativas más rentables entre los sistemas que aprovechan las energías renovables.

El SFCR suministra electricidad para satisfacer las necesidades energéticas a partir de la energía solar, y reduce los costos por consumo energético.

Éste se compone principalmente de cuatro elementos: generador fotovoltaico, inversor, un subsistema de transporte de energía eléctrica y un subsistema de control, medida y protección.

Como ocurre en cualquier sistema de energía se hace necesario monitorear y controlar que se produce la energía que se espera de ellas y que las lecturas sean fiables, por lo que en el presente trabajo se realiza el análisis de desempeño del sistema fotovoltaico que está conectado a la red de suministro convencional del Centro de Tecnologías de Información y Comunicaciones (CTIC-UNI) por un periodo de 2 años.

Espinoza, Rafael, et al. (2017), coautores en el trabajo de investigación denominado: **Caracterización en Potencia y Energía de Dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red de Diferentes Tecnologías (silicio cristalino-lámina delgada) Operando en Lima**, refieren que, desde diciembre del 2012, el Centro de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Ingeniería de Perú (CER-UNI), en estrecha colaboración con el Grupo de Investigación y Desarrollo en Energía Solar (Grupo IDEA) de la Universidad de Jaén-España, está liderando el proyecto “EMERGIENDO CON EL SOL. Apoyo institucional al Centro de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Ingeniería CER-UNI en el campo de la generación de energía eléctrica empleando tecnología fotovoltaica”.

Este proyecto, financiado principalmente por la Agencia Andaluz de Cooperación Internacional al Desarrollo (AACID), tiene como objetivo general fomentar la generación, difusión y transferencia de conocimientos y tecnologías para abordar problemas críticos del desarrollo humano, social y económico.

Dentro de los múltiples trabajos que se han realizado en el marco de este proyecto, se destacan la instalación e instrumentalización de dos SFCR, uno en la Facultad de Ciencias (SFCR-CIENCIAS) con módulos fotovoltaicos cristalinos y el otro en el LABSOLCER (SFCR_THIN_FILM) con módulos fotovoltaicos de 2^{da} generación o lámina delgada fabricados a partir de tecnología tándem amorfo- microcristalino.

La instrumentación instalada monitoriza completamente los sistemas, más de dos años para el sistema SFCR-CIENCIAS y un año y cuatro meses para el sistema SFCR_THIN_FILM, y permite realizar una caracterización energética del mismo acorde a la norma IEC 61724-1:2017. Para la caracterización en potencia de ambos sistemas se han utilizado dos procedimientos:

Primero, trazado de la curva I-V de ambos generadores fotovoltaicos y, posteriormente, traslado a Condiciones Estándar de Medida (CEM) de los datos de potencia máxima obtenidos utilizando los métodos propuestos por Evans, Osterworld y Factor de Forma Constante. Esta campaña experimental se ha realizado utilizando un PV Module Performance Tester marca EKO, modelo MP 11 que ofrece un rango de medida de la curva I-V entre 1000 V/30 A con un máximo de 18 kWp.

Tinajeros Salcedo, Miguel, et al. (2015), en el trabajo de investigación: **Evaluación del Desempeño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red de 3,3 kW en la Ciudad de Arequipa**, dan a conocer los resultados obtenidos de la evaluación del desempeño de un sistema fotovoltaico conectado a la red de 3,3 kW, instalado en el techo del edificio de la escuela profesional de física de la Universidad Nacional de San Agustín, ubicado en latitud 16,2° S, longitud 71,3° O, y elevación 2374 m. El sistema fue monitoreado de diciembre 2014 a octubre 2015. El rendimiento global del sistema se vio favorecido por elevados valores de irradiancia, 70,5 % fue absorbida a niveles por encima de 600 W/m², 26,5 % por encima de 200 W/m² y solamente 3 % por debajo de 199 W/m². La energía total mensual generada fue 1681,1 kWh/kWp. La eficiencia diaria media mensual del módulo, inversor y sistema fueron: 13,63 %, 98,54 % y 13,43 % respectivamente.

El inversor fue dimensionado correctamente, obteniendo valores cercanos a su pico de eficiencia. El rendimiento global y factor de capacidad diaria media mensual alcanzó valores de 83,35 % y 21,68 % respectivamente. Las pérdidas del sistema y captura diaria media mensual fueron 0,08 kWh/kWp y 0,96 kWh/kWp respectivamente.

1.7.2. Nivel Internacional:

Vilariño, Javier y Menéndez, Higinio (2016), en el artículo: **Índices de Comportamiento del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red Eléctrica y Teoría de Errores**, publicado por ambos en la Revista *Tecnología@ y Desarrollo*, de la Universidad Alfonso X el Sabio, Madrid España, sostienen que los índices de comportamiento del sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica que deben evaluarse son: el índice de producción o productividad del campo fotovoltaico Y_A , el índice de producción o productividad final del sistema Y_f , el índice de producción o productividad de referencia Y_r , las pérdidas de captura del campo fotovoltaico o

pérdidas de productividad en el proceso de captación del generador fotovoltaico PY_A , las pérdidas de productividad del resto del sistema PY_S en el proceso de transformación de la energía de corriente continua a alterna y el coeficiente global de rendimiento del sistema fotovoltaico PR, también llamado índice de relación de comportamiento.

El cálculo de estos parámetros de evaluación del rendimiento de los sistemas fotovoltaicos se realiza a partir de expresiones matemáticas definidas en la norma IEC-EN 61724 y requieren de la medición de variables primarias, tales como de la irradiancia solar sobre el plano de los módulos solares y la producción fotovoltaica a la salida del generador y a la salida de los inversores. Esta medición se realiza mediante un sistema de monitorización, cuyos instrumentos de medida deben cumplir con la clase de precisión exigida por la mencionada norma. El objetivo del trabajo consiste en usar la teoría de la propagación de errores para determinar el error de medida de las variables indirectas: índices de producción, pérdidas y rendimiento global del sistema fotovoltaico.

Escamilla Chito, Jonathan y Tovar Copete, Diego (2011), en la tesis: **Sistema Fotovoltaico de 8 kW Conectado a la Red**, Universidad del Valle, Santiago de Cali Colombia, hacen notar que: en la actualidad gran parte de la energía eléctrica se produce a partir de recursos no renovables como el carbón, el petróleo, el uranio y el gas natural. Estos combustibles tienen una lenta velocidad de regeneración y pone en riesgo su agotamiento de una manera rápida y que afecta los intereses del desarrollo tecnológico a nivel mundial.

Por otra parte la demanda energética está creciendo lo que, resulta en una gran fluctuación de los precios mundiales del petróleo, este tipo de consumo a gran escala de energía utilizando una fuente no renovable influye en el deterioro progresivo del medio ambiente y de los recursos económicos de los países.

La energía solar en su abundancia en la tierra y su regeneración constante conlleva a un interés de carácter mundial en ser posible aprovecharla; se puede aprovechar directamente como térmica o convertida en energía eléctrica por efecto fotovoltaico.

Este proyecto tiene como objetivo la simulación de un sistema fotovoltaico de 8 kW interconectado a la red eléctrica utilizando un algoritmo óptimo de seguimiento de

punto de máxima potencia, estrategias de sincronización y conexión con la red eléctrica, cuya intención es brindar las bases para la realización de sistemas fotovoltaicos que se puedan implementar físicamente.

Caamaño Martín, Estefanía (1998), en su trabajo de tesis: **Edificios Fotovoltaicos Conectados a la Red Eléctrica: Caracterización y Análisis**, Universidad Politécnica de Madrid, España, expresa que: los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica, y en particular los llamados “Edificios Fotovoltaicos Conectados a la Red” (EFCR), constituyen la aplicación de la energía solar fotovoltaica que mayor expansión ha experimentado en los últimos años, y en un número cada vez mayor de países. Semejante situación contrasta, no obstante, con la ausencia de métodos de caracterización y análisis que faciliten una buena práctica de la ingeniería de los sistemas fotovoltaicos. Tal es el objetivo de la presente tesis doctoral, en concreto el desarrollo de la ingeniería asociada al diseño, caracterización y análisis de EFCR.

El trabajo realizado en esta línea se presenta estructurado en cuatro capítulos, más uno de conclusiones finales, con los que se pretende analizar los EFCR en sus distintas facetas complementarias.

El primer capítulo realiza una presentación general de los EFCR, en los que se describen sus bloques funcionales, sus características más importantes, y se revisa el estado del arte de estos sistemas a nivel mundial.

El capítulo cinco recoge las conclusiones más importantes del trabajo realizado y propone una serie de líneas de investigación futuras para los EFCR.

CAPÍTULO II

Importancia y Consecuencias de los Sistemas de Energía

2.1. Matriz Energética e Hidrocarburos

2.1.1. Sistema Eléctrico y su Impacto Económico y Social

Uno de los pilares de los modelos de desarrollo de las sociedades es su matriz energética, entendida como la estructura conformada por las distintas fuentes de energía que dinamizan la economía de un país o región. Históricamente, la matriz energética de la mayoría de países del mundo, ha dependido de los combustibles fósiles, intensamente explotados dado el crecimiento constante de la demanda energética. El nuevo siglo XXI ha dado paso a una época en la que las reservas probadas de petróleo y gas natural han dejado de aumentar año a año y el horizonte del 2050 para el primero de estos productos y 2075 para el segundo, se baraja como una posibilidad real para el agotamiento total de ambos recursos [1].

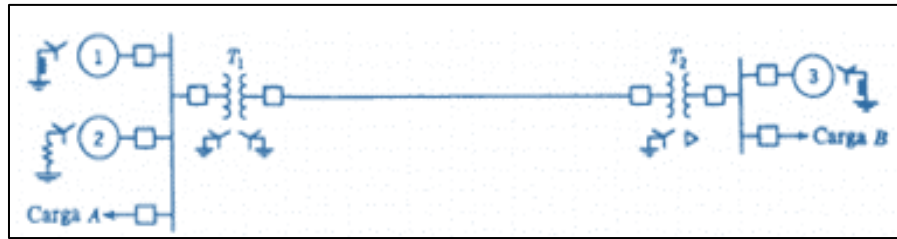
La matriz primaria alude a las energías en su estado natural, como la hidráulica, solar, hidrocarburos, etc., sin mediar procesos que las transformen.

A partir del procesamiento de las energías primarias, se obtienen los productos energéticos de la matriz secundaria, como es el caso de la energía eléctrica.

La energía eléctrica se ha convertido en un producto imprescindible, dada su versatilidad y la inmediatez de su utilización, constituyendo un bien de consumo esencial, al punto que la calidad de vida y el propio desarrollo económico y social de los pueblos, dependen marcadamente de su disponibilidad.

La energía eléctrica debe estar disponible en las redes, para su consumo, garantizándose un estado de equilibrio dinámico entre la producción y la demanda; es decir, debe ser inyectada a la red y extraída de la misma, continuamente. Esta particularidad, condiciona la configuración, planificación, operación, organización y gestión de las redes eléctricas, así como la estructura de costos de la potencia que se produce y comercializa [2].

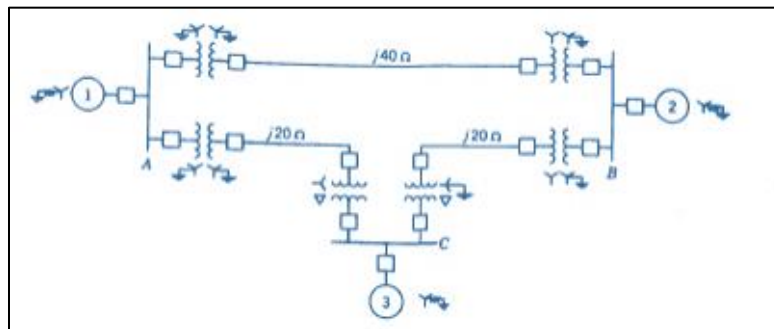
Figura 2.01: Sistema de Transmisión de Potencia Eléctrica.



Fuente: Stevenson, W. (2010). Análisis de sistemas eléctricos de potencia.

En el modelo energético tradicional, centralizado, la energía eléctrica generada, es transportada mediante una infraestructura de redes y subestaciones hasta los centros de consumo. La red de transporte, constituye la columna vertebral del sistema eléctrico; a ella se conectan las grandes centrales, en nuestro medio, de naturaleza hidráulica y térmica, además de las subestaciones transformadoras, dando lugar a las redes eléctricas de media tensión y de baja tensión, a las cuales, actualmente, también se les entrega energía, mediante centrales generadoras menores, como son: generadores eólicos, pequeñas centrales hidráulicas, pequeñas centrales térmicas y pequeñas instalaciones fotovoltaicas [2].

Figura 2.02: Sistema Eléctrico de Generación Centralizada.



Fuente: Stevenson, W. (2010) (Análisis de sistemas eléctricos de potencia).

Las necesidades cada vez crecientes de energía, llevaron a la evolución de las redes eléctricas de potencia, constituyendo sistemas complejos que comprenden tres sub-sistemas principales: sub-sistema de generación, sub-sistema de transmisión y sub-sistema de distribución.

Las exigencias de funcionamiento eficiente, introdujeron otros factores de cambio como la interconexión. En sus inicios, las redes eléctricas funcionaban como unidades independientes que se fueron extendiendo gradualmente para cubrir las

principales regiones de un país, como el nuestro; así, era común hacer referencia a la red norte, red centro, red sur, etc. Sin embargo, la demanda de grandes potencias y de mayor seguridad y economía en el funcionamiento, condujo a la interconexión de los sistemas próximos entre sí. La interconexión es ventajosa económicamente porque la energía puede fluir desde las redes operando a baja demanda, hacia aquellas que han sido rebasadas en su capacidad de servicio normal, como ocurre en las horas punta y al presentarse cargas repentinas por elevación inesperada del consumo. Antes de la interconexión, estos casos se atendían, disponiendo de un número mayor de máquinas de reserva, encareciendo los costos [3].

Un peldaño más en la evolución de los sistemas eléctricos, conducen a la tendencia actual, impulsada por el surgimiento de tecnologías más avanzadas y formas de generación más limpias y eficientes, que se basan en sistemas eléctricos con generación distribuida. Consiste en generar la energía eléctrica lo más cerca posible de los centros de consumo, precisamente como se hacía en los albores de la industria eléctrica, pero con el respaldo tecnológico actual. Esta nueva visión que se tiene de los sistemas eléctricos, busca además, diversificar los recursos de generación, para ser cada vez, menos dependientes de los hidrocarburos.

Se puede avizorar un cambio tecnológico sustantivo, en el sistema de energía eléctrica que, dicho sea de paso, ha estado en permanente evolución. Sin embargo, ahora enfrenta retos más ambiciosos: mejorar la eficiencia energética, incorporar las energías renovables y responder a los desafíos medioambientales, involucrando también a los ciudadanos, objetivos que se esperan alcanzar mediante las redes inteligentes o Smart net.

La red eléctrica que se conoce fue diseñada con el único objetivo de suministrar energía en una sola dirección, de la empresa eléctrica al cliente. Sin embargo, las Smart net hacen posible que el flujo se de en ambas direcciones, gracias al avance en la transmisión de datos y los sensores que se pueden colocar en todos los equipos instalados [4].

2.1.2. Consecuencias del Uso de Hidrocarburos

La utilización de hidrocarburos ha estado en el centro de las reflexiones sobre medio ambiente y cambio climático desde hace varios años. En una primera etapa, la tendencia dominante fue el llamado a reducir el uso de combustibles fósiles, tanto

por su efecto devastador sobre el medio ambiente como por el hecho de una disminución creciente de los yacimientos de petróleo y la cada vez más cercana posibilidad de afrontar dos álgidos problemas: la gestación de una **crisis energética**, por la fuerte dependencia de los hidrocarburos, que son recursos no renovables, y, el **calentamiento global**, que se atribuye a la emisión descontrolada hacia la atmósfera, de gases de efecto invernadero. Sin embargo, el uso de los hidrocarburos sigue siendo imprescindible en la generación de energía eléctrica. La mayoría de las economías, consideran necesario mantener un mix energético diversificado en el que todas las energías estén presentes de forma equilibrada, para garantizar la seguridad de suministro.

En los últimos años se produjo un importante cambio en la aproximación al problema, gracias a la concurrencia de factores como¹:

- La aparición de tecnologías que permiten reducir la contaminación de los combustibles fósiles.
- El empleo de yacimientos que antes no se podían explotar.
- La toma de conciencia del importante papel que dichos combustibles tendrán para satisfacer la demanda de energía en el corto, mediano y largo plazo.
- Las dificultades para satisfacer la demanda creciente con energías alternativas.
- El surgimiento de situaciones inesperadas, como la transformación de Estados Unidos en un país casi autosuficiente en materia de energía y en un importante exportador de gas natural.
- La toma de conciencia en la necesidad de conciliar, a través de medidas regulatorias adecuadas, el uso de hidrocarburos con la defensa del medio ambiente.
- Los bajos precios de los combustibles fósiles.

Es plenamente aceptado por la comunidad científica que, con el uso de los hidrocarburos se ha venido incrementando continuamente el deterioro de la atmósfera hasta más allá de su propia recuperación. Frente a esta situación, surge la necesidad de sustituirlos, gradualmente, por las energías renovables, particularmente la energía solar, cuya utilización carece de emisiones

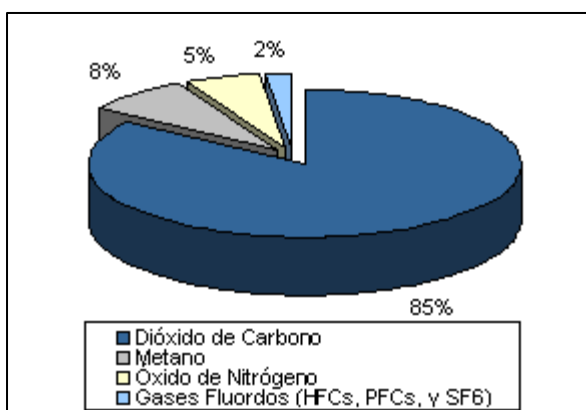
¹ <http://www.proceso.com.mx/377603/los-hidrocarburos-y-el-medio-ambiente-2>

contaminantes y es un recurso inagotable, de alta disponibilidad, con fuerte respaldo tecnológico, economía y desarrollo futuro [5].

La incorporación de las energías limpias no convencionales al sistema eléctrico ha obligado a los gobiernos a estructurar un marco legislativo que incentive las inversiones en este rubro.

Además, el uso de las energías renovables es alentado por el compromiso internacional de luchar contra el cambio climático reduciendo las emisiones de seis gases de efecto invernadero: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y los otros tres son gases industriales fluorados. Este acuerdo se formaliza con el protocolo de Kyoto firmado en diciembre de 1997 y plantea, según la 21ª Conferencia de las Partes (COP21) celebrada el 2015 en París, la necesidad de acelerar la implementación de tecnologías de bajas emisiones de carbono en procesos de conversión y usos finales de la energía; incluso, en el contexto de precios bajos de los combustibles fósiles, al dejarse de lado, costosos programas de subvenciones para dichos combustibles².

Figura 2.03: Gases de efecto invernadero según convención de Kyoto.



Fuente: *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks (2008), EPA.*

En el Perú se ha tomado la importante decisión de utilizar los recursos energéticos renovables (RER) según el Decreto Legislativo N°1002, o “Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el Uso de Energías Renovables”, promovida por el Ministerio de Energía y Minas (MEM), en los rubros energéticos: hidráulico, eólico, biomasa y solar. Este es un importante paso, si se tiene en cuenta

² Agencia Internacional de Energía, 2016

que el Perú está considerado como el tercer país más vulnerable al cambio climático, después de Bangladesh y Honduras, según el Tyndall Center de Inglaterra³.

Una manifestación del cambio climático en nuestro país, es el deshielo de los glaciares. Hemos perdido, entre 1 962 y 2 016 el 57 % de superficie glaciar, proceso que está acelerándose, según la Autoridad Nacional del Agua (ANA)⁴.

Esto afecta directamente al río Mantaro que alimenta a la central hidroeléctrica “Santiago Antúnez de Mayolo”, con una capacidad de más de 1 GW que aproximadamente representa el 15% del suministro al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, SEIN [6].

Figura 2.04: Nevado huaytapallana



Fuente: An Inconvenient Truth Transcript

2.2. Posibilidades Energéticas y Realidad Nacional

2.2.1. Posibilidades de Ampliar el Espectro Energético

Actualmente, la mayoría de países generan energía en centrales eléctricas que utilizan una diversidad de tecnologías, ya sean convencionales (hidráulicas, térmicas y nucleares) o no convencionales de reducido impacto ambiental (eólicas, biomásicas, fotovoltaicas y de cogeneración).

Las centrales generadoras pueden operar de un modo sostenido o transitoriamente, en el primer caso se conocen como centrales de producción y en el segundo, de respaldo. Esta forma de operar, deriva en una justificación económica para la

³ <http://www.ecolab.com.pe/noticias-int.php?id=12>

⁴ <http://larepublica.pe/sociedad/888041-el-57-de-glaciares-del-peru-se-perdieron-por-el-calentamiento-global> La República 21 Jun 2017 | 4:30 h

diversificación de tecnologías, que fundamentalmente se sustenta en la naturaleza de los recursos energéticos disponibles para su aprovechamiento, siendo en el caso solar, muy promisorio para nuestro país, de acuerdo con los datos generales que se registran en la siguiente tabla:

Cuadro 2.01: Recurso Energético Solar en el Perú

REGIÓN	RADIACIÓN DIARIA MEDIA ANUAL (kWh/m ²)
SIERRA	5,5 a 6,5
COSTA	5,0 a 6,0
SELVA	4,5 a 5,0

Fuente: Dirección General de Electrificación Rural (DGER) – MINEM

El escenario energético en el Perú se ha visto alterado con la explotación del gas de Camisea que, pese a no ser un recurso renovable, se incorpora como fuente primaria en la generación eléctrica priorizando las centrales térmicas, que desplazan a las centrales hidráulicas al segundo lugar de importancia y hace más lenta la implementación de los recursos energéticos renovables, no convencionales.

Sin embargo, aunque de modo muy lento, se está aprovechando el recurso renovable no convencional, principalmente el solar y el eólico con la proyección y puesta en servicio de importantes centrales de generación (ver Anexo A).

La diversificación de las fuentes de energía, también responde a la necesidad de garantizar la continuidad del servicio con la mayor independencia posible de situaciones que deriven en no disponer del recurso necesario, además de otras razones que marcan la política energética del país, promovida, por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM). En el actual contexto mundial, dicha política debe, no sólo garantizar la seguridad energética del Perú sino, además, su competitividad, la protección ambiental y la erradicación de la pobreza [7].

De acuerdo con Pedro Gamio Aita, en su artículo: ¿Por qué promover las energías renovables en el Perú? (2 011), la política energética debe contemplar dos tendencias mundiales: la elevación de los precios del petróleo y la regulación para controlar las emisiones de carbono. Frente a esta situación, los países del mundo están diversificando su matriz energética y revolucionando el modo de consumir energía, lo cual se ha traducido en una expansión del mercado de energías

renovables y en el desarrollo de estándares elevados de eficiencia energética, de modo que, en el ámbito internacional, es una práctica generalizada los incentivos económicos para dar rentabilidad comparativa a las energías renovables y a las mejoras de la eficiencia energética.

2.2.2. Realidad del Sistema Eléctrico Nacional.

El Perú cuenta con una gran variedad de recursos energéticos, entre ellos destaca tanto por su abundancia como por su capacidad para desarrollar grandes potencias, la energía hidráulica, también cuenta con centrales térmicas, que hacen uso de hidrocarburos. El Perú tradicionalmente ha priorizado las centrales hidroeléctricas y forma parte de los países con una alta tasa de energías renovables, dado que tiene un potencial hidroeléctrico, estimado en 69 445 MW, de los cuales actualmente se aprovecha, aproximadamente, el 5% [8].

Sin embargo, desde 2004 los hidrocarburos tomaron una posición cada vez más fuerte, con el uso del gas de Camisea por las grandes centrales térmicas instaladas en Chilca. De modo que, en términos generales, actualmente el 50% de la electricidad generada proviene del recurso hídrico y el otro 50% de hidrocarburos, principalmente gas. El diesel tiene cierta importancia en zonas donde se produce la energía eléctrica localmente, sin conexión al sistema eléctrico interconectado nacional (SEIN). Además, las centrales termoeléctricas Puerto Bravo en Mollendo, Arequipa (720 MW, puesta en marcha en Mayo de 2016) y la Planta Ilo, Moquegua (564 MW, operando desde Junio de 2013) funcionan con diesel hasta la terminación del retrasado gasoducto sur [6].

Los recursos renovables no convencionales, también forman parte de la canasta energética del sistema eléctrico nacional, fundamentalmente la energía eólica, solar, biomasa y mini centrales hidráulicas.

En abril 2014 se instaló en Marcona el primer parque eólico del Perú de grandes dimensiones (32 MW). La generación de energías de fuentes renovables no tradicionales superó por primera vez el 2% entre agosto y septiembre del 2014 con la puesta en marcha de otros dos parques eólicos, Cupisnique (Pacasmayo, La Libertad) con 80 MW y Talara (Piura) con 30 MW respectivamente. A principios de 2016 se conectó el parque eólico Tres Hermanas (Ica) con 97 MW de potencia

instalada. La capacidad nominal de todas las instalaciones eólicas conectadas a la red eléctrica, hasta ese entonces, era de 239 MW [9].

Además, se ha incorporado a la red, la central eólica Wayra, cerca de Marcona (Nazca) con 126 MW nominal, entrando en operación a mediados de febrero de 2018; comprende 42 aerogeneradores con 3,15 MW cada uno.

Para Cajamarca (Duna y Huambos), el gobierno contrató dos parques eólicos de 18,4 MW cada uno con la puesta en marcha prevista para el 31 de diciembre 2018.

La energía solar, en nuestro país, se aprovecha a gran escala para inyectar energía al SEIN mediante generadores fotovoltaicos que se conectan directamente a la red. Actualmente se tienen seis parques solares con una capacidad nominal de 240 MW_p. El parque solar Rubí, ubicado en Moquegua, es el más grande del país con 144,48 MW_p contratados.

Además, en Moquegua, el parque solar Intipampa con 40 MW_p ha iniciado sus operaciones el 31 de marzo de 2018 [6].

Con el fin de instalar hasta 500 mil sistemas solares en zonas rurales de costa, sierra y selva, el gobierno peruano inicio en 2013, la “Subasta RER para Suministro de Energía a Áreas no Conectadas a Red”. Los sistemas a instalar consisten de pequeñas unidades individuales de aproximadamente 85 W_p; este proyecto encontró varios problemas de ejecución y sus retrasos no han permitido su culminación hasta la actualidad⁵.

Sin embargo, no existen aún mayores estímulos que contribuyan con el uso de la generación fotovoltaica en unidades urbanas (viviendas, edificios, etc.). Todavía no hay medidas para promover las energías renovables a nivel individual que entre otras posibilidades permita a un consumidor doméstico generar energía mediante sistemas fotovoltaicos conectados a la red de suministro, como sucede corrientemente, en países europeos.

Sin embargo, se ha conseguido un primer avance con el Decreto Legislativo N°1221, de fecha 24 de septiembre de 2015 que, para mejorar la regulación de la

⁵ Electrificación rural masiva

distribución de electricidad, considera la **Generación Distribuida** en su Artículo 2, según el cual:

*“Los usuarios del servicio público de electricidad que disponen de equipamiento de generación eléctrica renovable no convencional o de cogeneración, hasta la potencia máxima establecida para cada tecnología, tienen derecho a disponer de ellos para su propio consumo o **pueden inyectar sus excedentes al sistema de distribución**, sujeto a que no afecte la seguridad operacional del sistema de distribución al cual está conectado”⁶.*

Lamentablemente, a la fecha no entra en vigencia la **Generación Distribuida**, por falta de la correspondiente reglamentación de parte del MEM, lo cual nos hace muy dependientes de un sistema eléctrico fuertemente centralizado, con naturales desventajas, porque el desarrollo de la infraestructura eléctrica del Perú, se ve dificultado por su difícil geografía que exige en muchos casos, un sistema eléctrico con redes de grandes extensiones. En este contexto y dada la riqueza energética de nuestro país, la generación con fuentes renovables localmente disponibles resulta frecuentemente más razonable.

2.3. Modernización del Sistema Eléctrico y Aporte de las Ciudades

2.3.1. Generación Centralizada y Generación Distribuida

En la generación centralizada, grandes centrales generadoras suministran energía eléctrica a distantes centros de carga, mediante líneas de transmisión y distribución de cientos de kilómetros de longitud. Las grandes extensiones de las redes, y la fuerte dependencia de importantes consumidores, de un único o muy pocos proveedores de energía, hacen vulnerable este tipo de sistema eléctrico. Además, resulta poco eficiente, dadas las inevitables pérdidas que tienen lugar durante la transmisión de potencia [10].

Este modelo fue adoptado porque históricamente se aceptó que un sistema eléctrico eficiente debía basarse en grandes plantas de generación y largas líneas de transporte; sin embargo, las nuevas exigencias a que están sometidas las redes eléctricas, actualmente, han determinado que esto ya no sea cierto.

⁶ El Peruano, jueves 24 de setiembre de 2015. Normas Legales

La generación distribuida, también conocida como generación in-situ, generación embebida, generación descentralizada o generación dispersa, consiste básicamente en la generación de energía eléctrica por medio de muchas pequeñas fuentes de energía en lugares lo más próximos posibles a las cargas [11], [12]. Un sistema eléctrico con generación distribuida, presenta las siguientes ventajas, frente a la generación centralizada:

- 1) Es modular, lo cual permite su estandarización facilitando su producción e implementación. Las unidades de generación distribuida estarán disponibles para comprarlas e instalarlas en un tiempo muy corto.
- 2) Diversifica los recursos e incrementa la autosuficiencia energética, hace el sistema eléctrico menos vulnerable porque la probabilidad de fallo es menor, al contar con un microsistema compuesto por un alto número de pequeños generadores interconectados.
- 3) Adaptabilidad a zonas urbanas, evita la saturación de la red de distribución por incremento de la demanda y disminuye drásticamente las pérdidas por transporte y distribución.
- 4) Facilita el uso de las energías renovables, particularmente la energía solar fotovoltaica, contribuye a la disminución de los impactos ambientales. Además de ser más confiable y eficiente energéticamente, permite obtener electricidad de alta calidad que actualmente es exigida en aplicaciones de última tecnología como sucede en la informática.

Con la generación distribuida se promueve un nuevo modelo de negocio energético que se orienta a:

- Reestructurar el sector eléctrico, eliminando la planificación centralizada y estableciendo la libre competencia de la generación.
- Aliviar la saturación de la capacidad del actual sistema de potencia, ante demandas fuertemente crecientes.

De este modo se abre el mercado a los auto-productores, se alienta la aparición de nuevos competidores en generación y se accede a las redes de transporte y distribución como posibles proveedores de energía eléctrica.

2.3.2. Rol de las Ciudades en el Sistema Eléctrico Nacional.

Las ciudades desempeñan un papel fundamental en la economía, por ser verdaderos motores en la creación de nuevos puestos de trabajo, pero también son responsables de la generación creciente de residuos urbanos, incremento de la emisión de contaminantes atmosféricos, altos niveles de ruido, consumo elevado de suelo, de energía y de agua; pérdida de biodiversidad, etc. En lo concerniente al consumo de energía eléctrica, se debe procurar su sostenibilidad mediante planes y programas de ahorro y uso eficiente de la energía, el impulso de las energías renovables, campañas educativas sobre las buenas prácticas en el consumo de energía, etc., generando el marco normativo que apunte a un cambio profundo, en lo económico y social referido a las formas de producción y consumo de la energía.

Las ciudades representan en torno a dos tercios de la demanda de energía primaria y el 70% de las emisiones totales de dióxido de carbono relacionadas con la energía. El consumo de energía y la emisión de dióxido de carbono se irá incrementando con la urbanización y la creciente actividad económica de los ciudadanos urbanos [13].

Las ciudades impulsan el crecimiento económico, pero también pueden impulsar el cambio sostenible del sistema energético, incluyendo la reducción de emisiones de CO₂, ante la perspectiva de una demanda energética cada vez mayor conforme crece la proporción de población que vive, en ellas. [14]

Las redes energéticas urbanas que transportan la energía eléctrica de uso final, pueden aportar mayor flexibilidad al sistema eléctrico más amplio, si se les incorpora sistemas fotovoltaicos que pueden ir conectados a la red de distribución pública o a la red interior de edificaciones, reforzando la seguridad y asequibilidad energética ante choques externos tales como eventos climáticos extremos. Esta alternativa además de coadyuvar a configurar un sistema eléctrico distribuido y diversificado en las fuentes, brinda la posibilidad de aprovechar el potencial de seguimiento y control de las llamadas, **tecnologías de la información y**

comunicación (TICs), que son el conjunto de tecnologías que permiten el acceso, producción, tratamiento y comunicación de información presentada en diferentes códigos [15]. Dicha alternativa, a la vez, reduce las pérdidas por transmisión de potencia y contribuye a la seguridad y calidad del servicio al trabajar las redes holgadamente, en su capacidad.

La ventaja que presenta la energía solar fotovoltaica de poder desarrollarse en las áreas urbanas aunado al respaldo tecnológico que hace posible contar con sistemas de generación inteligente, constituye una fuerte alternativa para contar con redes de suministro eléctrico urbano de bajas emisiones de carbono, con muchos beneficios potenciales tanto a nivel local como nacional.

Figura 2.05: Viviendas fotovoltaicas con módulos sobre techo.



Fuente: <https://www.google.com.pe/search?>

CAPÍTULO III

Energía Solar Fotovoltaica

3.1. Características Básicas

El sol se comporta como un gigantesco reactor nuclear en el que tiene lugar la fusión de cuatro núcleos de hidrógeno en un núcleo de helio, liberándose enormes cantidades de energía en forma de radiación electromagnética. Se admite que dicha energía, en el exterior cercano de la atmósfera (radiación extraterrestre) adquiere valores significativos para longitudes de onda en el rango de 0,2 a 4 μm , con una potencia espectral o monocromática próxima a la de un cuerpo negro a la temperatura de 5 800 K, de acuerdo con la ley de Planck [16].

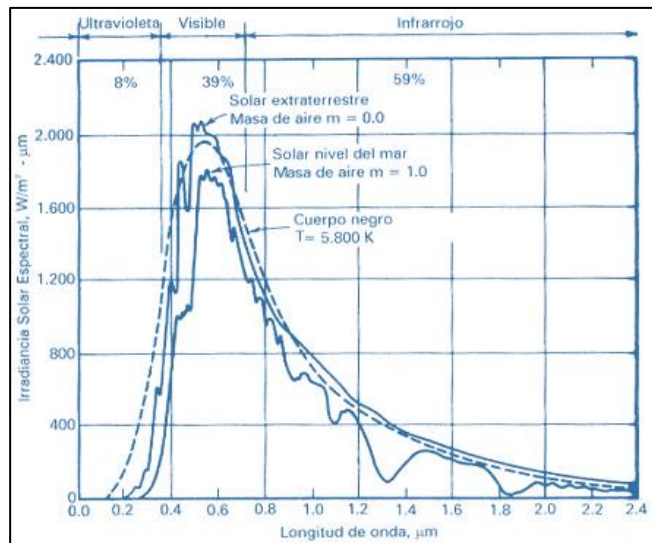
La radiación solar queda caracterizada por su **irradiancia**, G (kW/m^2) y por su **irradiación**, H (kWh/m^2), que expresan respectivamente, la potencia y la energía incidente sobre una superficie colectora de 1 m^2 .

En su trayecto hacia la tierra, la energía solar (ES), además de sufrir pérdidas por reflexión, es absorbida en parte (**pérdidas por absorción**) por los componentes atmosféricos, en mayor grado, si mayor es la masa de aire atravesada por los rayos solares, la cual cambia, entre otros factores, al variar la **posición** del sol respecto al observador. Este hecho se tiene en cuenta, mediante el concepto de **masa de aire (AM)** [17].

La radiación solar contiene fotones con distintos niveles de energía, de acuerdo con su curva de distribución energética espectral, la misma que es influenciada por la masa de aire. Este fundamental hecho conduce a distintos regímenes de trabajo de los módulos fotovoltaicos al variar la radiación incidente debido al cambio de posición del sol conforme transcurre el día y las estaciones del año. La influencia de la masa de aire en la distribución espectral de la energía radiante, se registra en la figura adjunta.

En ella se pueden apreciar tres curvas: la curva teórica para un cuerpo negro a 5 800 K, y, otras dos que corresponden a radiación solar extraterrestre y radiación solar a nivel del mar; estas últimas, con valores de masa de aire, cero y uno, respectivamente.

Figura 3.01: Espectros de radiación solar y de cuerpo negro.



Fuente: Manrique, José (2 010). Energía solar fundamentos y aplicaciones fototérmicas.

Además, los componentes atmosféricos dispersan otra porción de la energía radiante (**radiación solar difusa, G_d**), mientras que la restante sigue su viaje directamente, según la orientación de los rayos solares (**radiación solar directa G_e**). Finalmente, la radiación total, a ser captada (**radiación solar global G_g**), será la suma de las dos anteriores, más aquella que se refleja en las superficies circundantes, denominada albedo, G_a ; es decir:

$$G_g = G_e + G_d + G_a \quad [3.1]$$

El concepto de masa de aire juega un papel importante en el tratamiento de la energía solar fotovoltaica, porque determina la distribución espectral de la radiación disponible para la generación de electricidad. Consecuentemente, se ha convenido en considerar un valor de masa de aire de 1,5 en las condiciones estándar de medida que regulan la caracterización de los principales parámetros eléctricos y térmicos de módulos solares.

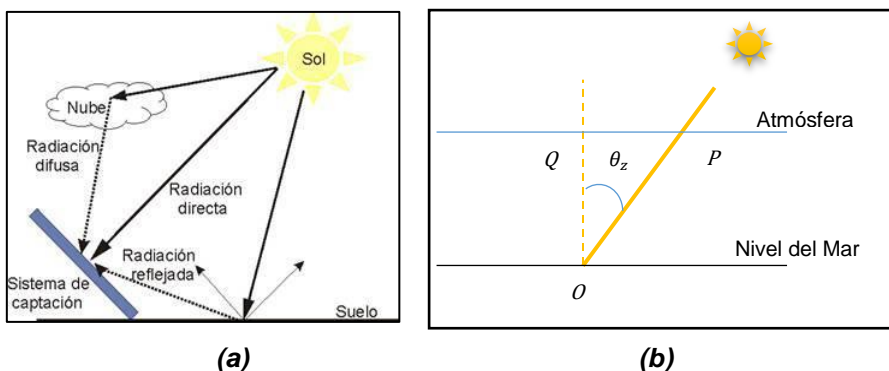
Para la masa de aire (AM), por definición (ver figura 3.02):

$$AM = \frac{OP}{OQ} \quad \longrightarrow \quad AM = \sec\theta_z. \quad [3.2]$$

Luego, si:

$$\theta_z = 48,2^\circ \quad \longrightarrow \quad AM = 1,5 \quad \longrightarrow \quad AM \text{ 1,5} \quad [3.3]$$

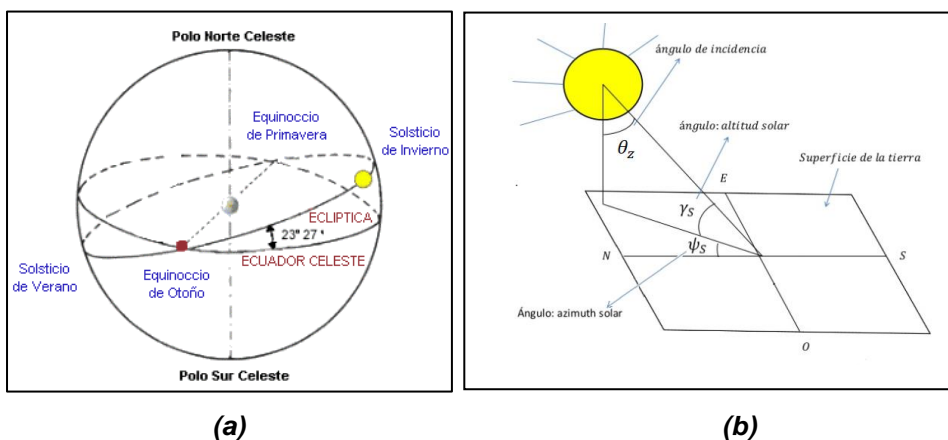
Figura 3.02: Tipos de radiación solar, y, definición de masa de aire (AM).



Fuente: Hernández, Pedro J. (2 014). Diseño bioclimático (a). Manrique, José (2 010). Energía solar fundamentos y aplicaciones fototérmicas (b).

Los movimientos de la tierra, de traslación alrededor del sol (siguiendo la eclíptica), y de rotación sobre su propio eje (que hace un ángulo de $23,45^\circ$ con la normal al plano de la eclíptica), son determinantes en la disponibilidad de la energía solar. De acuerdo con la posición relativa sol - sistema de captación (de la ES), se podrá contar con mayor o menor oferta de energía. Ello se tiene en cuenta con el sistema de coordenadas de la **esfera celeste**, la cual es una esfera imaginaria centrada en el observador (tierra). En ella se muestra las posiciones del sol, en las que se distinguen: los solsticios (de invierno y de verano) y los equinoccios (de otoño y de primavera). El sol recorre la eclíptica una vez al año y la esfera celeste gira una vez al día en torno a la tierra [18]. En el sistema de coordenadas solares horizontales, se especifica la posición del sol mediante los denominados, ángulo de elevación solar (γ_s) y acimut solar (ψ_s).

Figura. 3.03: Esfera celeste y ángulos solar.



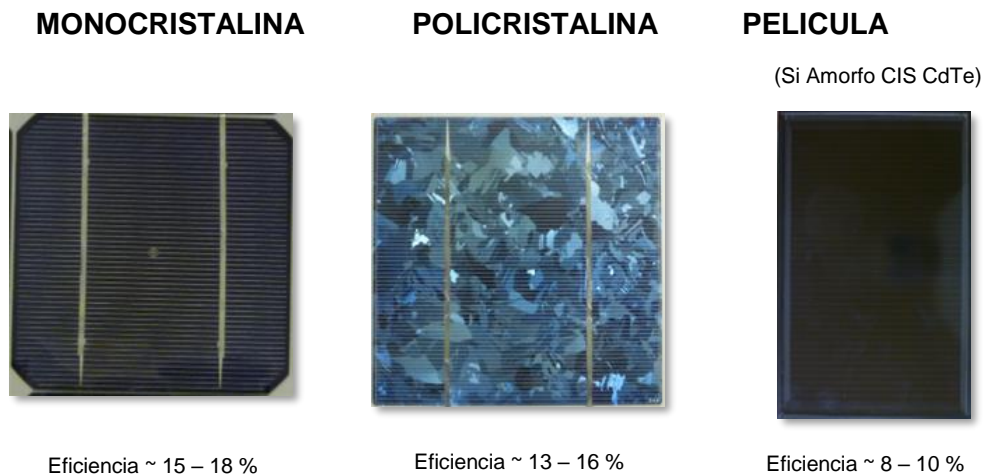
Fuente: <http://instintologico.com> (2013). El eje de la tierra se mueve (a). Rubén Rodríguez, Amador (2013). Geometría solar (b).

La energía solar fotovoltaica es una tecnología que, a partir de la energía proveniente del sol genera corriente continua de forma directa, sin ninguna conversión intermedia, mediante componentes modulares semiconductores (módulos solares), cuando sus unidades constitutivas (células solares) son iluminadas por un haz de fotones. Éstos son portadores de energía, equivalentes a las ondas luminosas, considerando la naturaleza dual de la luz, cuya mayor fuente natural es el sol.

Para la tecnología actual de celdas solares, no todos los fotones de la distribución espectral incidente, son útiles en la generación fotovoltaica, de allí que la eficiencia de las celdas solares de silicio sea normalmente baja, del orden de 8 a 18 % [19]. El silicio usado en fotovoltaica puede tener varias formas; la mayor diferencia entre ellas es la pureza del silicio usado. **Cuanto más puro es el silicio, mejor alineadas están sus moléculas, y mejor convierte la energía solar en electricidad.**

Por tanto, la eficiencia de los paneles solares va de la mano con la pureza del silicio, pero los procesos para aumentar la pureza son muy caros. Por ello, a la hora de elegir un buen panel, lo mejor es tener en cuenta la relación coste-eficiencia por m².⁷

Figura 3.04: Tipos y eficiencia de celdas fotovoltaicas más comunes.



Fuente: INTELEC - PVS IN BLOOM (2013). Introducción a la tecnología fotovoltaica, seminario de formación para técnicos.

Como es de esperar, el recurso solar disponible para generar energía eléctrica, varía según la ubicación geográfica de la instalación fotovoltaica. Las zonas próximas al ecuador terrestre se ven favorecidas con mayor radiación incidente.

⁷ Energías renovables. <http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos>

A diferencia de los combustibles fósiles que se pueden concentrar y almacenar en un determinado volumen, la energía solar, está distribuida; es de difícil almacenamiento, y su buen aprovechamiento en la generación fotovoltaica, requiere que incida sobre la superficie de los módulos solares, lo más próximo a la dirección de la normal a dicha superficie, para lo cual, algunas instalaciones incorporan cierto tipo de sistema de seguimiento del sol en la esfera celeste.

Figura 3.05: Sistema de seguimiento solar de dos ejes



Fuente: <http://www.solar-tracking.es/> (2018). Actuadores LINAK.

En el caso de instalaciones fotovoltaicas fijas, para determinar la inclinación óptima de los paneles solares, en aplicaciones de utilización anual que busquen la máxima captación de energía solar, se hace uso de la siguiente expresión [18]:

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69\phi \quad [3.4]$$

Donde:

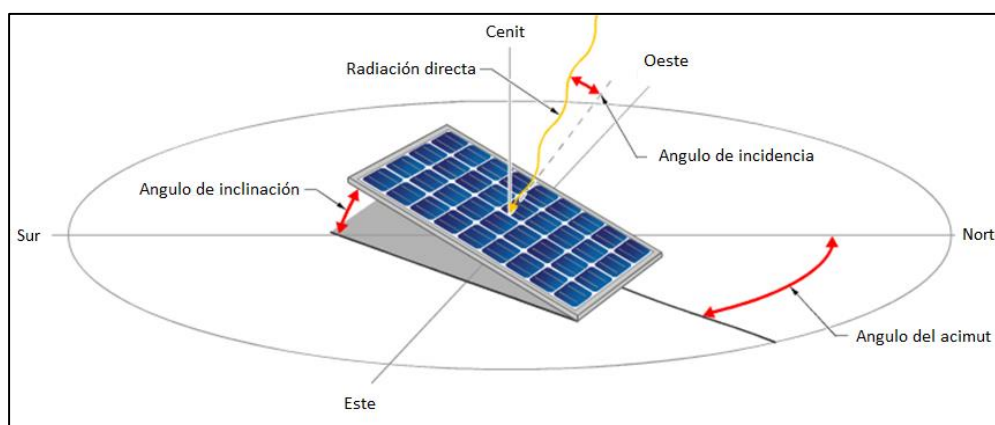
β_{opt} : ángulo de inclinación óptima, medido en grados.

ϕ : latitud del lugar, dada en valor absoluto.

3.2. El Módulo Fotovoltaico como Referente Técnico

Una vez conocida la orientación e inclinación del módulo solar, que fija la posición más favorable sol-receptor; su régimen de trabajo queda prácticamente determinado por la radiación incidente (magnitud y distribución espectral de irradiancia) y por la temperatura de celda.

Figura 3.06: Orientación e inclinación de módulo fotovoltaico



Fuente: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/panel-fotovoltaico/ubicacion-paneles> (2016). **Ubicación de los paneles solares.**

En tal sentido, los paneles solares juegan un rol fundamental como referentes en el estudio de los sistemas fotovoltaicos.

Los paneles solares se van a constituir no sólo en la superficie colectora de la energía solar, sino también en la superficie necesaria para evacuar el calor generado en las células solares durante su operación a lo largo del día, de las distintas épocas estacionales, según regímenes variables, determinados por la **radiación incidente** y la **temperatura de celda**.

Resulta obvio que los parámetros nominales, característicos de un panel solar, estén referidos a valores específicos de radiación y temperatura de celda. Estos valores específicos, constituyen las denominadas:

Condiciones normales o estándar, de medida (CEM ó STC), complementadas con la temperatura de operación nominal de celda (TONC)

Ambas referencias sirven para estandarizar estos componentes, y, como punto de partida en los cálculos de diseño y evaluación. Consecuentemente, resulta esencial conocer los parámetros de entrada y sus valores de referencia que además, sirven para corroborar las especificaciones técnicas, al replicar los ensayos de rigor que todo fabricante de paneles solares debe garantizar.

Así se tienen las siguientes condiciones de funcionamiento para los ensayos:

1) **CEM (STC): condiciones estándar de medidas (Standar Test Conditions)** definidas por la Comisión Electrotécnica Internacional en su norma 60904-1.

- Irradiancia..... 1 000 W/m².
- Distribución espectral..... AM 1,5.
- Incidencia..... normal.
- Temperatura de célula..... 25 °C.

2) **TONC: temperatura de operación nominal de célula**

- Irradiancia..... 800 W/m².
- Distribución espectral..... AM 1,5.
- Incidencia..... normal.
- Temperatura ambiente..... 20 °C.
- Velocidad del viento..... 1 m/s.

La información técnica que registran las hojas de datos del fabricante, debe corresponderse con estos referentes de estandarización, y, con recomendaciones dadas en las normas técnicas (IEC, DIN, UNE, IEEE, etc.), especificándose como mínimo, los siguientes parámetros:

1) Eléctricos

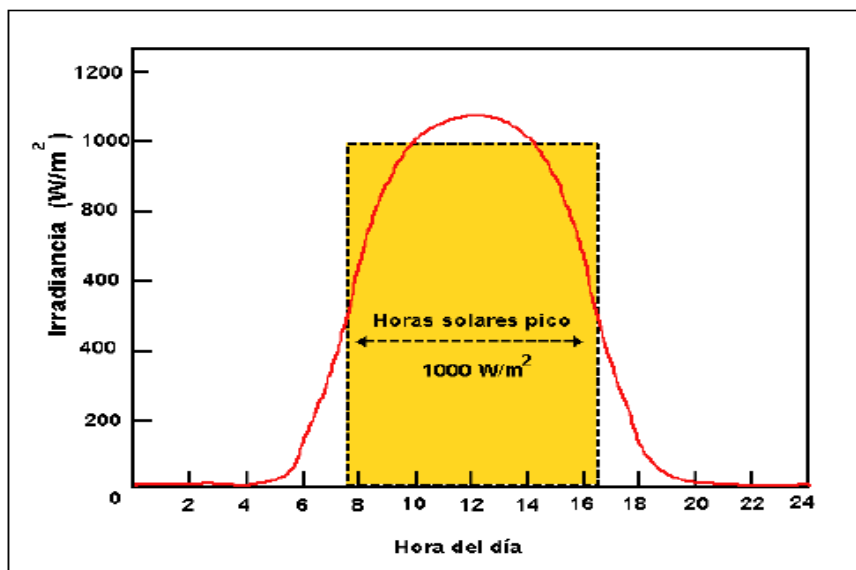
- Potencia máxima, o potencia pico.
- Tensión de circuito abierto.
- Corriente de corto circuito.
- Tensión en el punto de máxima potencia.

2) Térmicos

- Temperatura de operación nominal de célula.
- Coeficientes de temperatura.

Si la irradiación diaria disponible se considera que ha sido generada a irradiancia estándar (1 000 W/m²); entonces, las horas, durante las cuales se acumula dicha irradiación, se denominan: **horas solar pico**. Este concepto, se ilustra con la siguiente figura:

Figura 3.07: Definición de horas solar pico.



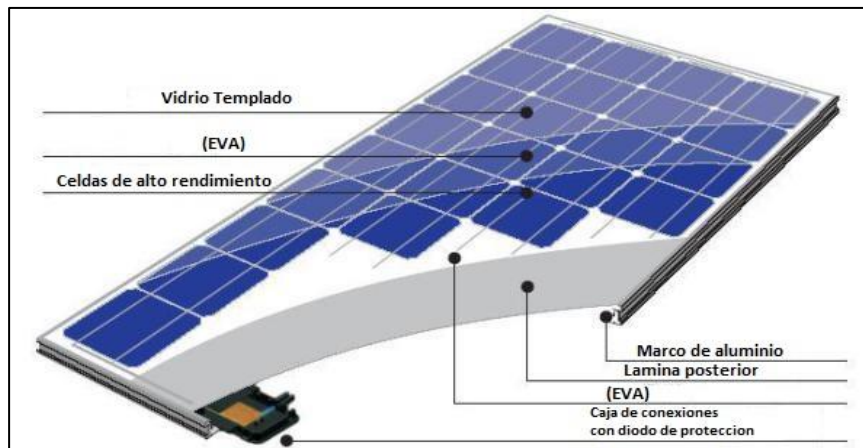
Fuente: <https://energeticafutura.com/blog/cuanta-energia-se-puede-extraer-de-la-radiacion-solar/> (2010).

3.3. Comportamiento Eléctrico del Módulo Fotovoltaico

Los módulos o paneles fotovoltaicos son las unidades que la tecnología y el mercado solar ofrecen, en base a las cuales se estructuran las instalaciones fotovoltaicas para proporcionar los valores de voltaje y potencia requeridos por una aplicación. Constituyen un arreglo de unidades fundamentales o células; cada célula, típicamente presenta una superficie de 100 cm^2 y produce 1,5 W aproximadamente, con una tensión de 0,5 V y una corriente de 3 A [18].

Generalmente, entre 36 y 96 son las células contenidas en un módulo fotovoltaico. Todas van conectadas en serie o un número determinado de ellas, para conformar ramas que se protegen mediante diodos bypass, y luego se conectan en paralelo. Además, el panel solar dispone de los elementos eléctricos y mecánicos necesarios para su interconexión con la carga o con otras unidades, y poder trabajar a la intemperie, gracias a las propiedades adhesivas y sellantes del polímero EVA (etil – vinil acetato), que lo protege durante toda su vida útil.

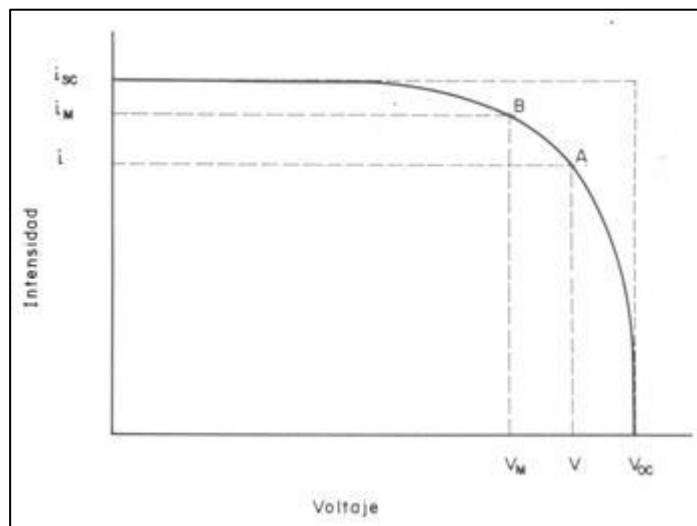
Figura 3.08: Panel solar y sus principales componentes



Fuente: <http://codensolar.com/producto/panel-solar-perlight-150w-polycristalino/>

El conocimiento del comportamiento eléctrico del panel solar se aborda a partir de su curva característica $i - v$. Ésta representa los valores de tensión y corriente medidos experimentalmente a condiciones constantes de irradiancia y temperatura, variando la resistencia de carga desde cero (corto circuito) hasta infinito (circuito abierto).

Figura 3.09: Curva característica $i - v$ de un panel solar



Fuente: <http://www.energetika.com.ar/Curva%20I-V.html> (2011)

En referencia a la curva característica del panel solar que se adjunta, es importante tener en cuenta que la carga exterior fija los valores de voltaje y corriente correspondientes a un punto sobre la curva, denominado punto de trabajo, como es el

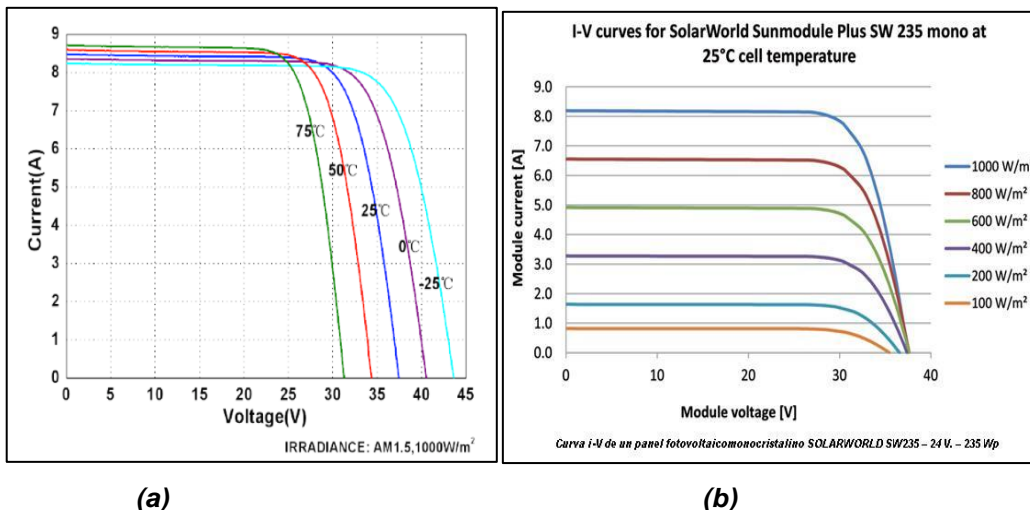
caso de $A(I, V)$, quedando determinada la potencia que entrega el panel. Sobre la curva existirá un punto de potencia máxima, tal como $B(I_M, V_M)$. Es deseable tener, en todo momento, operando el panel en el punto de máxima potencia.

En la curva característica $i - v$ de un panel fotovoltaico, el ancho de la curva queda determinado por la tensión de circuito abierto (V_{oc}), y su alto, por la corriente de corto circuito (I_{sc}) [20].

A partir de la curva característica corriente – voltaje de un panel fotovoltaico pueden detectarse distintos problemas y analizarse las propiedades del mismo. Pueden detectarse sombras parciales del generador fotovoltaico, diodos bypass defectuosos, resistencia en serie demasiado elevada, suciedad y problemas de las células individuales del panel. La interpretación de las curvas características, exige experiencia y conocimientos de técnicas de semiconductores [20].

La respuesta del panel solar ante las variaciones de la irradiancia y la temperatura, se registra gráficamente mediante las distintas curvas características que se generan con dichos cambios. En general suele ocurrir que sobre la curva $i - v$, la temperatura influye modificando su anchura (V_{oc}); y la irradiancia, modificando la altura de la misma (I_{sc}). Efectos que se pueden apreciar, en las figuras siguientes:

Figura 3.10: Efectos de la irradiancia y la temperatura en paneles solares.



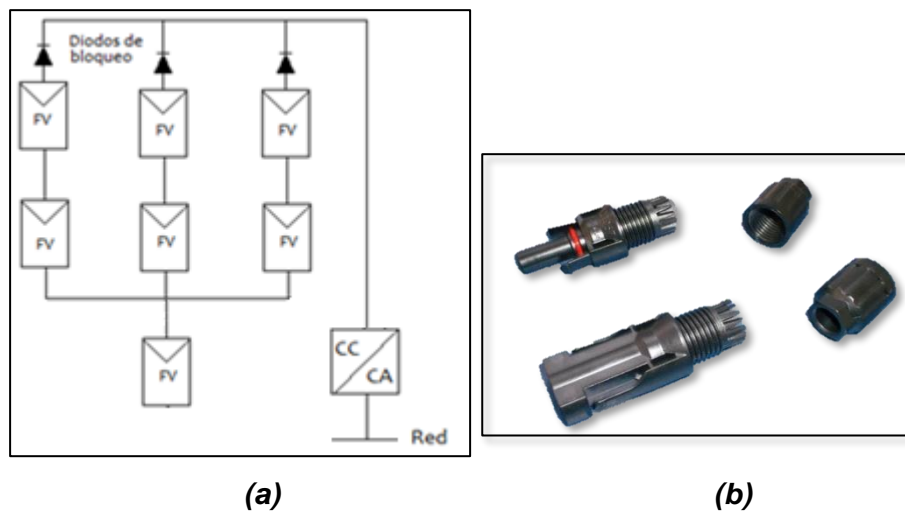
Fuente: <https://tecnosolab.com/caracteristicas-electricas-de-los-paneles-solares/> (a)
<http://www.energetika.com.ar/Curva%20I-V.html> (b).

3.4. Consecuencias del Agrupamiento de Módulos Fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos comúnmente están compuestos por varios paneles solares eléctricamente interconectados entre sí. Las conexiones en serie constituyen ramas o cadenas (protegidas mediante diodos de bloqueo) que a su vez se conectan en paralelo o en serie/paralelo mediante conectores que la tecnología solar ha desarrollado para facilitar y garantizar una correcta y segura instalación, como es el caso de los conectores Multi-Contact, cuya imagen se muestra en la figura adjunta.

Muchas instalaciones son de string o rama única, compuesta por dos o más módulos solares según sea el valor de voltaje requerido en la instalación. En otros casos se presentan más de una rama conectadas en paralelo con el propósito de incrementar la intensidad de corriente, al haberse alcanzado el nivel de voltaje necesario; de este modo se consigue estructurar un generador fotovoltaico con potencia nominal según diseño previo.

Figura 3.11: Conexión serie-paralelo de módulos, y conector solar MC4.



Fuente: Elaboración propia (a) y monsolar.com tienda online de energía solar (b).

Una vez en operación y pese a los cuidados puestos en su selección e instalación, los módulos van a presentar variaciones en sus características eléctricas, a consecuencia de:

- Diferencias inevitables incorporadas por las tolerancias de fabricación.
- Diferencias por alteración en las condiciones de funcionamiento de algunos módulos de la instalación, ocasionadas por la suciedad, sombreado, falta de ventilación, etc.

Como resultado de las diferencias en las características eléctricas de los módulos de una instalación, durante su operación, se manifiestan los siguientes inconvenientes:

- Potencia entregada por la instalación, menor que la suma de la potencia generada en los módulos componentes.
- Presencia de células sobrecalentadas al operar como receptores, a causa del sombreado, ocasionando pérdidas de energía y riesgos de daños irreparables a los módulos que las contienen.

Para evitar o minimizar estos inconvenientes, las normas técnicas recomiendan:

- Utilizar módulos del mismo fabricante, con idénticas características eléctricas, cuyas tolerancias de fabricación no superen el 5%.
- Instalar diodos de protección, a dos niveles. A nivel de módulo (diodo de paso o bypass) para evitar el funcionamiento de células sombreadas y, a nivel de rama (diodo de bloqueo) para evitar que, dada una conexión en paralelo, alguna rama reciba energía de las otras.
- Evitar en todo lo que sea posible la proyección de sombras, así como los depósitos de suciedad y carencia de ventilación, que puedan afectar la instalación.

La disposición de los módulos fotovoltaicos sobre la superficie de instalación, es fundamental en el correcto funcionamiento del sistema, muy en particular si se instalan sobre superficies de edificaciones, porque puede dar lugar a pérdidas más allá de los límites tolerables, ocasionadas por una orientación e inclinación del generador fotovoltaico, desfavorable, y la imposibilidad de evitar el sombreado [18].

CAPÍTULO IV

Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red (SFCR) y su Instrumentación

4.1. Ventajas de los SFCR

Se han desarrollado dos tipos de sistemas fotovoltaicos con el fin de atender requerimientos de electricidad, aprovechando la energía solar disponible:

- Sistema fotovoltaico aislado (SFA): este sistema posibilita atender con energía eléctrica, cargas que por estar aisladas de la red de suministro, requieren de una generación local, por lo general de pequeña potencia, convirtiéndose en la solución más económica frente a otras alternativas de suministro eléctrico.
- Sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR): tiene por finalidad entregar energía a la línea de transmisión o distribución del sistema eléctrico para luego ser suministrada a los usuarios del servicio de energía eléctrica.

Ambos tipos presentan componentes que cumplen funciones esenciales de:

- Generación: paneles solares,
- Interconexión: cables conductores,
- Protección eléctrica: fusibles, interruptores, puesta a tierra, etc.
- Soporte y sujeción mecánica: anclaje, cimentación, estructura metálica, tornillería, etc.
- Instrumentación de medición y control: radiómetro, amperímetro, voltímetro, equipo electrónico, etc.

En toda instalación fotovoltaica, el módulo solar o agrupamiento de módulos, constituye el **generador solar**, y es un referente en el estudio del comportamiento electro-energético del sistema, de modo que al resto de componentes, en ciertos casos, se les trata en conjunto y se les conoce genéricamente como **BOS** (Balance Of System) [5]. El carácter modular de los generadores fotovoltaicos implica que se pueden construir sistemas de suministro de energía eléctrica en un amplio rango de potencia.

Según sea la aplicación del SFA, como bombeo de agua, electrificación doméstica, riego y usos agropecuarios, etc., se necesitarán o no elementos auxiliares; entre ellos:

- Regulador de carga, para controlar la carga y descarga del acumulador.
- Acumulador, encargado de almacenar energía, garantizando el abastecimiento y suministro de la misma.
- Inversor, encargado de convertir la energía en D.C a energía en A.C.

En los SFCR, un componente de respaldo, imprescindible, es el inversor, con características propias, que lo hacen diferente del inversor para sistema aislado. Los inversores en las instalaciones aisladas convierten la energía eléctrica continua en alterna para atender cargas convencionales, corrientemente electrodomésticas; en la conexión a red, el inversor no sólo convierte la energía continua en alterna, sino que adapta la carga a la máxima potencia instantánea del generador fotovoltaico según su curva característica, la cual obviamente, varía con la irradiancia incidente y la temperatura de las células. Ambas acciones se realizan en tiempo real y además, el inversor cumple funciones de supervisión, alarma de aislamiento, medida de potencia y en los futuros diseños, la detección de módulos en estado de mal funcionamiento [5].

El SFCR resulta ser más ventajoso, ya que simplifica la instalación al no necesitar elementos de acumulación de energía. Actualmente es el más promovido, porque aprovecha, en gran escala y en distintos niveles, la infraestructura de interconexión eléctrica existente. Estos sistemas, permiten atender necesidades en la red de potencia de alta tensión, o en la red de distribución de baja tensión; en el último caso, se incorporan zonas urbanas que pueden contribuir a contar con un gran número de generadores solares instalados por los usuarios de la red de servicio eléctrico, favoreciendo la generación distribuida y su tratamiento integral mediante la utilización de micro redes.

4.2. La Electrónica, Informática y Comunicación en SFCR

Todo sistema fotovoltaico conectado a la red se diseña, se construye y opera para conseguir una instalación de calidad. Entre los indicadores de la calidad de los SFCR, se tiene, la producción energética y el rendimiento energético de la instalación, o, performance ratio (PR); este último refleja la eficiencia de los distintos componentes del sistema y tiene el carácter de parámetro global de la instalación. En consecuencia,

para mejorar la calidad de los SFCR, y garantizar su rentabilidad, se debe prestar atención a la eficiencia de sus elementos componentes.

En este contexto, el desarrollo de la industria fotovoltaica no sólo se da en el ámbito de los módulos solares, sino también en el resto del sistema (BOS) que respaldado por la electrónica, la informática y las comunicaciones, ha logrado avances importantes, posicionando a la energía solar como el recurso energético renovable con las mayores potencialidades para poder sustituir a los hidrocarburos. La tecnología fotovoltaica provee de componentes cuyas funcionalidades buscan optimizar los SFCR, mejorando el BOS donde el inversor juega un rol primordial y se utilizan recursos como la instrumentación electrónica y la monitorización del sistema.

4.2.1. El Inversor Componente Vital

En todo sistema fotovoltaico conectado a la red, el inversor es imprescindible, y su comportamiento resulta crucial en la evaluación del sistema, por ser, después de los paneles solares, el componente que más incide en el costo de la instalación. El inversor, supone un 15 % a 25 % del coste total del sistema; en consecuencia, se debe contar con un inversor de alta eficiencia. Normalmente, el fabricante proporciona dos valores de eficiencia: la **eficiencia máxima** y la **eficiencia europea**. Esta última corresponde a una definición normalizada, y tiene en consideración que el generador fotovoltaico trabaja, generalmente, con irradiancias en el intervalo de 200 W/m² a 800 W/m², con distintos regímenes de carga, que vienen expresados en dicha definición, según la relación [21]:

$$\eta_{EU} = 0,03\eta_5 + 0,06\eta_{10} + 0,13\eta_{20} + 0,10\eta_{30} + 0,48\eta_{50} + 0,20\eta_{100} \quad [4.1].$$

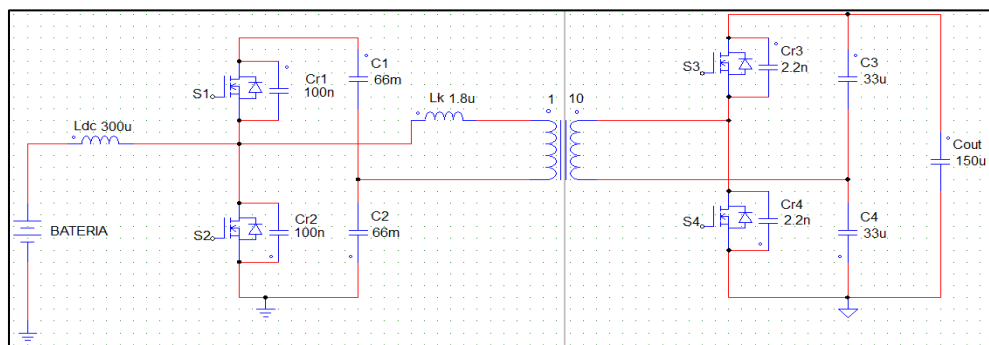
El inversor es un dispositivo electrónico de potencia y control, multifuncional, que incluye un ensamble interdependiente de bloques componentes hardware, y software propio, con capacidades de vigilancia, protección y comunicación, fundamentalmente. En su estructura interna, se pueden identificar, entre otros, los siguientes bloques componentes [22], [23]:

- Convertor DC/AC, constituido por un puente H, con dispositivos electrónicos de potencia, generalmente transistores MOSFET o IGBT, según sea la potencia del inversor, que actúan como conmutadores estáticos accionados por sus

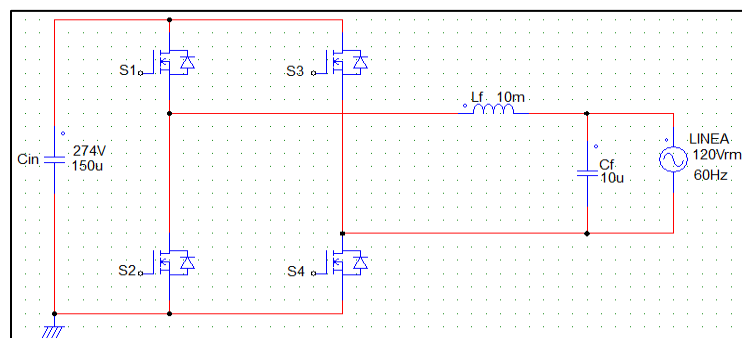
correspondientes elementos de control. Con la modulación PWM de los interruptores del puente se consigue una onda de tensión senoidal.

- Seguidor del punto de máxima potencia, también identificado como MPPT (Máximo Power Point Tracking); es un convertidor DC/DC con ajuste automático de su ciclo de trabajo mediante un algoritmo de búsqueda que lleva en todo instante al generador solar a operar en su punto de máxima potencia, a pesar que éste cambia, al cambiar las condiciones de funcionamiento.
- Monitoreo de red, el inversor cuenta con dispositivos de instrumentación y microprocesadores que constantemente miden el voltaje y la frecuencia de red y procesan la información para tener una imagen de la forma de onda. Si los valores caen dentro de los intervalos de trabajo que las normas técnicas contemplan, el inversor permite que el SFV inyecte energía a la red.

Figura 4.01: Bloque Convertidor cd-cd (a) y puente H (b).



(a)



(b)

Fuente: Wiesner, Arnold (2013). Sistema fotovoltaico conectado a la línea con control programado del suministro de energía. Bogotá, Colombia: Pontificia Univ. Javeriana.

4.2.2. Evolución del Inversor

Los primeros inversores para SFCR utilizaron la conmutación de línea, y estaban constituidos por dos niveles; posteriormente se usaron los inversores auto-conmutados con transformador de baja frecuencia o de alta frecuencia. Los inversores auto-conmutados presentan la gran ventaja de poder controlar libremente la forma de onda de su voltaje de salida, mediante un microcontrolador incorporado, que utiliza una tabla de valores disponible en la memoria auxiliar del inversor.

Con el surgimiento de los inversores multinivel, se consiguió un mejor manejo de la distorsión armónica, pues a mayor número de niveles de tensión de entrada en DC, más escalonada es la forma de onda de la tensión de salida, aproximándose a la onda senoidal [24].

La evolución tecnológica de los inversores, ha conducido a eliminar el uso del transformador entre sus elementos, mejorando la eficiencia, reduciendo su tamaño, peso y coste; pero se han introducido los inconvenientes propios de no contar con el aislamiento galvánico que proporciona el transformador, de modo que no siempre es recomendable este tipo de inversor.

4.3. Instrumentación Electrónica y Monitorización en SFCR

Actualmente los SFCR brindan un servicio confiable, gracias al aprovechamiento de la instrumentación electrónica de medida y de control, así como del automatismo. Estas tecnologías han contribuido a reducir las pérdidas globales del sistema, y han facilitado su monitorización, con todas las posibilidades de adquisición de datos que ello significa.

4.3.1. Instrumentación Electrónica

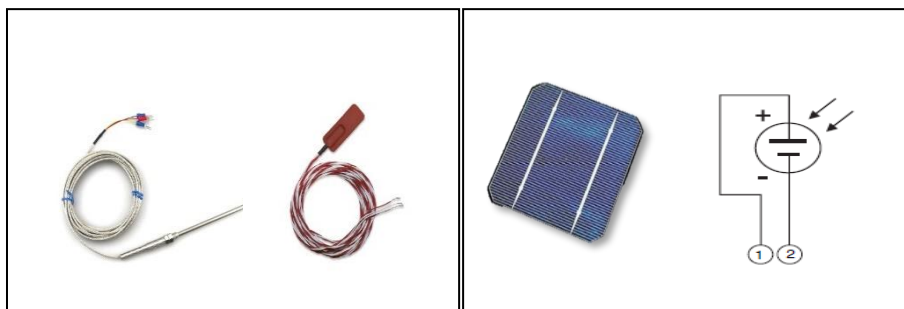
Los sistemas fotovoltaicos, para un mejor aprovechamiento de la energía solar, no pueden estar exentos de la instrumentación, ya que ello contribuye a su monitoreo y control; además, permite cuantificar la eficiencia de la instalación en condiciones reales de operación, facilitando la visualización y registro de los principales parámetros que nos informan de su funcionamiento, haciendo uso del ordenador.

La instrumentación electrónica hace posible, en primer término, la captación y acondicionamiento de variables asociadas con la instalación. Valiéndose de la

medición, uno de sus aspectos fundamentales, proporciona el conocimiento cuantitativo de dichas variables, cuyos valores constituyen los datos que son requeridos por componentes funcionales de comunicación e informática que cumplen, respectivamente, la tarea de llevar la información al ordenador y generar, presentar, además de almacenar todas las variables que resulten de interés al usuario [25].

Para captar las variables representativas del proceso de generación fotovoltaica, se dispone de sensores que son los componentes de inicio en la cadena de la instrumentación. Un sensor transforma cualquier señal física de interés (irradiancia, temperatura, etc.), en una señal eléctrica, la misma que puede ser “trabajada” gracias a su flexibilidad de manejo mediante componentes electrónicos, quedando sometida a una serie de procesos que finalmente muestran la información de modo útil.

Figura 4.02: Sensor de temperatura y sensor de radiación solar.



Fuente: Elaboración propia

Es decir, una vez captadas, acondicionadas y medidas las variables de interés, éstas deben ser procesadas para extraer de ellas la información que se busca.

El procesamiento digital de las señales es tarea de los microprocesadores y microcontroladores como componentes de los sistemas de instrumentación programables.

Estos circuitos integrados constituyen un microcomputador que dispone de una CPU acondicionada para realizar tareas específicas en base al software de aplicación y los datos obtenidos por medición y por aporte del operador. Las posibilidades de utilizar las redes de comunicación y aplicaciones tipo SCADA para el control remoto, grafica el nivel de desarrollo que se tiene en la aplicación de la

instrumentación electrónica a sistema generadores de energía eléctrica mediante SFCR.

Los sistemas SCADA (adquisición, supervisión y control de datos) son un tipo de software que hace posible el acceso a datos remotos de un proceso y permite el control del mismo, utilizando herramientas de comunicación [26].

Los SCADA instalados en ordenadores, como herramienta de interface hombre-máquina, comprende una serie de funciones y utilidades destinadas a establecer una comunicación lo más clara posible entre el proceso y el operador.

4.3.2. Monitorización

Un sistema de monitoreo debe garantizar la vigilancia de la instalación fotovoltaica, de modo que permita conocer el estado de la instalación e informe de manera rápida y eficaz las anomalías que se produzcan en la misma.

La monitorización de la instalación ha de permitirnos:

- Vigilar que la producción de energía se corresponda con la esperada al conocer el estado de la instalación.
- Tomar conocimiento rápido de anomalías.
- Conocer si el sistema funciona de acuerdo con el diseño.
- Contar con datos numéricos para análisis, modelado, simulaciones, etc. que conlleven a mejorar la ingeniería del SFCR.
- Ganar experiencia y permitir comparar el rendimiento del sistema en estudio, con los instalados en otras localidades.
- Accionar como elemento de difusión social en el empleo de los SFCR.

En grandes instalaciones fotovoltaicas la monitorización se realiza en tiempo real por el personal encargado. Los métodos y procedimientos utilizados se caracterizan por [27], [28]:

- Equipos en redes de comunicación.
- Uso de PLC para el control.
- Empleo de software tipo SCADA.
- Puesto de control centralizado.

En sistemas más pequeños se puede hacer una monitorización remota o de lo contrario, se prescinde en parte, de este servicio.

El sistema de monitoreo debe presentar, como mínimo, información de las siguientes variables:

- Parámetros eléctricos (voltaje y corriente) a la entrada del inversor.
- Parámetros eléctricos (voltaje y potencia) a la salida del inversor.
- Temperatura ambiente a la sombra.
- Radiación solar en el plano de los módulos, medida con un panel o una célula de tecnología equivalente.
- Potencia reactiva de salida del inversor y temperatura de los módulos.

Un sistema de monitoreo garantiza que el SFCR funcione de la mejor manera posible, detectando anomalías y/o averías, reduciendo los costes de mantenimiento.

4.4. Los SFCR y sus Bloques Funcionales

La energía solar fotovoltaica ha logrado notable actualidad con una industria ligada a ella cuyas dimensiones cada vez está más cercana a la que tiene la industria del automóvil; con una integración de conocimientos y tecnologías que la muestra, carente, de una especificidad típica tecnológica, adquiriendo un carácter multidisciplinario que abarca: electricidad, celdas solares, instrumentación, electrónica de potencia y de control, informática, comunicación, estructuras mecánicas, etc. [5].

Esta integración tecnológica se pone de manifiesto en componentes multifuncionales, que forman parte de un SFCR; en tal sentido, resulta conveniente visualizar este tipo de instalación, como un conjunto de subsistemas o bloques, cada uno con una función específica dentro de la instalación. Desde este punto de vista, podemos identificar seis subsistemas.

- Subsistema eléctrico de potencia.
- Subsistema eléctrico de medida, control, protección, monitoreo de red, almacenamiento y visualización local de datos
- Subsistema de instrumentación electrónica de medida y monitoreo del SFV
- Subsistema de comunicación local o remota, de visualización y control.

- Subsistema de protección y seccionamiento eléctrico.
- Subsistema mecánico de fijación y soporte.

- Subsistema eléctrico de potencia

Es el encargado de captar la energía primaria (irradiación solar) necesaria para generar energía eléctrica en DC, y convertirla a AC, para luego acondicionar sus parámetros característicos (amplitud, frecuencia, forma de onda, etc.) en compatibilidad con los de la red de AC, a la que finalmente, se inyecta la energía.

La función de captar y transformar la radiación solar en energía eléctrica, corresponde a los paneles fotovoltaicos, que generan energía en DC. La transición de la energía del estado de DC al estado de AC con las características que exige la red al ser abastecida, es tarea del inversor.

- Subsistema eléctrico de medida, protección, control, monitoreo de red, almacenamiento y visualización local de datos

El funcionamiento de este subsistema se basa en la medida de parámetros eléctricos intrínsecos al generador fotovoltaico y a la red de conexión. La información captada se procesa mediante software propio del inversor, para obtener las señales de mando que gestionen el máximo rendimiento de la instalación.

Este subsistema está incorporado como bloque componente del inversor y es fundamental en las funciones de: convertir, optimizar y monitorizar.

Mediante la conversión, el inversor que recibe energía en DC, la convierte y acondiciona a AC.

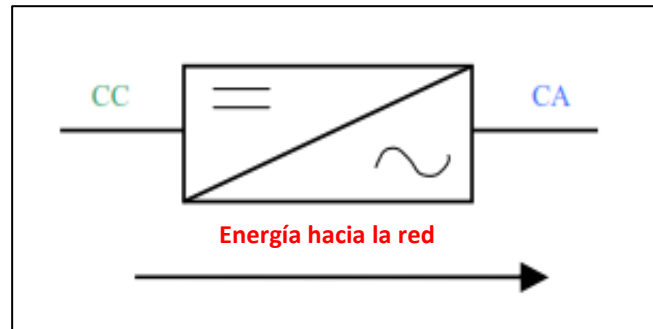
La optimización le permite, en todo momento, operar en el punto de máxima potencia de la característica i-v, correspondiente al generador fotovoltaico.

Con el monitoreo, el inversor, vigila permanentemente los parámetros de red durante la inyección de energía.

Además, la mayoría de inversores para SFCR que se ofrecen en el mercado, cuentan con [29]:

- una memoria interna para almacenar datos que se pueden leer en su pantalla o transferirse a un centro de control mediante un bus de comunicación.
- protección de polaridad, contra sobre tensión y sobre intensidad.
- protección anti-isla.

Figura. 4.03: Flujo de Energía a través del inversor



Fuente: Elaboración propia

Los fabricantes de inversores para SFVR, deben garantizar un producto que cumpla con los estándares establecidos [30], [31]:

- Su potencia de entrada será variable para poder extraer en todo momento la máxima potencia que el generador fotovoltaico es capaz de entregar a lo largo del día.
 - Debe presentar seguridad eléctrica y compatibilidad electromagnética incorporando protecciones frente a: cortocircuitos en alterna, tensión de red fuera de rango, frecuencia de red fuera de rango, sobretensiones, perturbaciones en la red como micro cortes, pulsos, defectos de ciclos, etc.
 - El rendimiento de potencia del inversor (cociente entre la potencia activa de salida y la potencia activa de entrada) para un régimen de trabajo del 50 % y 100 % del nominal, será como mínimo del 92 y 94 %, respectivamente.
 - El inversor deberá inyectar en la red a partir de potencias superiores al 10 % de su potencia nominal.
 - Debe estar garantizado por un periodo mínimo de tres (03) años.
- Subsistema de instrumentación electrónica de medida y monitoreo del SFV
Actualmente existen sistemas de monitoreo desarrollados específicamente para plantas generadoras fotovoltaicas, ofrecidos por fabricantes de inversores como

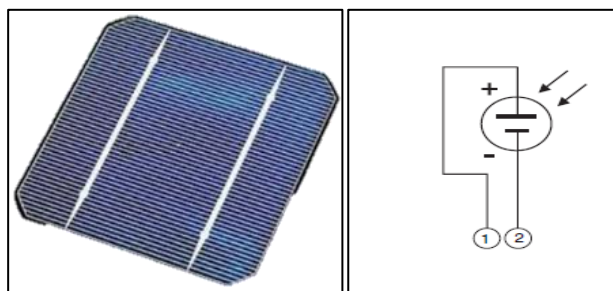
SMA. Este subsistema proporciona información acerca de la radiación solar, temperatura de módulo, temperatura ambiente y parámetros eléctricos de la instalación; pero además, amplía, refuerza y mejora, prestaciones paralelas a las del inversor, en cuanto a tareas de medición, registro, procesamiento y presentación de la información.

Sus componentes, captan, acondicionan, miden y digitalizan parámetros propios del sistema fotovoltaico (temperatura de módulo, potencia, energía, etc.) y del medio circundante (irradiancia, temperatura ambiente), que serán transmitidos, vía red de comunicación, a un centro de control, desde donde se vigila el comportamiento del sistema con el uso de un ordenador.

Mediante aplicaciones informáticas, los datos en el ordenador son visualizados en tiempo real, utilizando una interface de usuario.

Con la información generada se estructura una base de datos, para su posterior tratamiento. El contar con datos propios de la instalación, hace posible caracterizar el sistema en cuanto a su comportamiento energético, estandarizando los resultados con el propósito de compararlos con los de instalaciones similares en otras partes del mundo.

Figura. 4.04: Sensor Fotovoltaico



Fuente: Elaboración propia

El monitoreo nos permite tener acceso a la información instantánea e histórica del sistema, y hace posible detectar de forma oportuna cualquier eventualidad que tenga lugar en la instalación.

- Subsistema de comunicación local o remota, de visualización y control

Este subsistema cubre la necesidad de intercambiar información no sólo entre componentes del SFCR, sino incluso con elementos remotos, valiéndose de las

redes de comunicación. Es decir, los interlocutores pueden tener distintos niveles de proximidad relativa: local o remota.

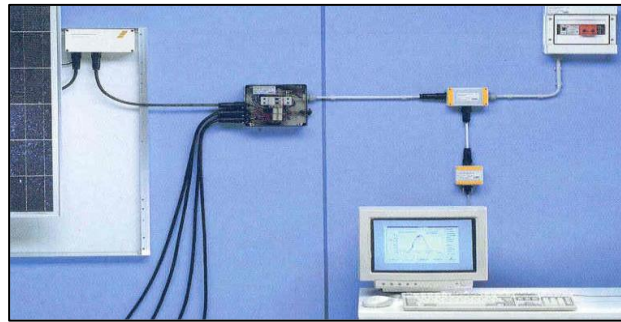
El subsistema de comunicación, básicamente, presenta los siguientes componentes: emisor, canal de comunicación, protocolo, y receptor. Este subsistema permite manejar mayor cantidad de información, establecer mayores intercambios de la misma o disponer de una mayor variedad en la forma de tratarla. La información contenida en un mensaje es apreciada por que permite la toma de decisiones, contribuye a la resolución de problemas e incrementa el nivel de conocimiento.

En el subsistema de comunicación se facilita la transición de la información hacia o desde el medio de transporte, mediante las INTERFACES como son los conectores (RJ-45, RS-485, etc.) y los protocolos de transmisión (TCP/IP, etc.), es decir elementos de naturaleza hardware y software sin los cuales la transmisión de la información no sería posible. Las interfaces proporcionan conexión funcional entre dos sistemas, programas, dispositivos o componentes de cualquier tipo, para la comunicación de distintos niveles permitiendo el intercambio de información.

En sistemas de control y de monitoreo se hace uso de la comunicación, para transmitir una variable, a un centro remoto de vigilancia, donde será visualizada o podrá ser usada para controlar el proceso del cual fue captada. El medio de comunicación puede ser alámbrico (guiado) o inalámbrico (no guiado).

Las señales que portan la información, viajan, en el primer caso, por cable metálico o fibra óptica; mientras que en el segundo caso, es el espectro electromagnético y el espacio abierto, que sirven como medio de transmisión en el que viaja la información contenida en ondas de radio, micro ondas o rayos infrarrojos. En este rubro, destaca la tecnología Wi-Fi como importante herramienta de comunicación. Esta tecnología que viene del término, Wireless Fidelity (fidelidad inalámbrica), ha sido rápidamente adoptada en el mundo computacional y mantiene la preferencia de los fabricantes de equipos gracias a su bajo costo de implementación [32].

Figura 4.05: Centro de monitoreo mediante pc.



Fuente: Elaboración propia

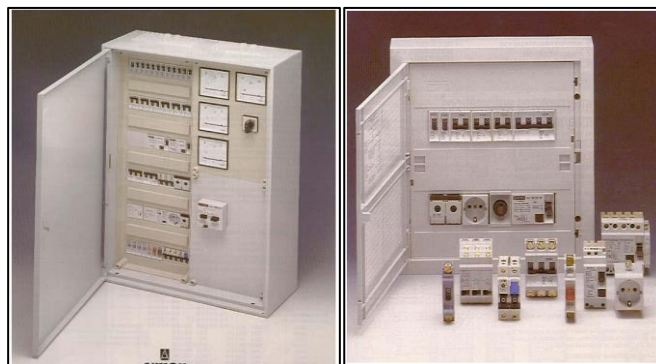
- Subsistema de protección y seccionamiento eléctrico.

Fundamentalmente, está constituido por dos interruptores diferenciales o termomagnéticos instalados “aguas arriba” y “aguas abajo” del inversor con la finalidad de proteger y seccionar los circuitos eléctricos de corriente continua y de corriente alterna, que constituyen el subsistema de potencia.

Tienen por función abrir automáticamente el circuito frente a sobre- intensidades, o por maniobras de personal autorizado, garantizando la seguridad de las personas, la instalación y su entorno inmediato.

Además, por lo común, el propio inversor entre sus bloques componentes, presenta ambos mecanismos de protección y seccionamiento eléctrico, con accesibilidad para ser maniobrados desde el exterior.

Figura 4.06: Elementos básicos de protección



Fuente: Instalaciones Solares Fotovoltaicas (Máster Universitario en Investigación (MUI) en Ingeniería Y Arquitectura en el curso 2012/2013)

- Subsistema mecánico de fijación y soporte

En su diseño y construcción se debe considerar la necesidad de resistir, además de las cargas de soporte, las sobrecargas mecánicas producidas por viento y nieve. Así mismo, debe permitir las necesarias dilataciones térmicas sin transmitir cargas que puedan afectar la integridad de los módulos, teniendo en cuenta las facilidades de montaje, desmontaje, mantenimiento, y las posibles necesidades de sustitución de elementos.

Este subsistema está constituido por una estructura mecánica debidamente cimentada que delimita el plano soporte. Sobre dicho plano se montan los sensores de radiación y temperatura, y el conjunto de módulos fotovoltaicos, con la finalidad de:

- Proporcionar, al sistema, la consistencia mecánica adecuada y un buen anclaje.
- Permitirles la inclinación y orientación óptimas a los paneles fotovoltaicos.
- En algunos casos, soportar el tablero eléctrico que aloja al inversor, interruptores, y demás componentes fijados a su carril DIN.
- Alojarse los sistemas de seguimiento, si los hubieran, para incrementar la energía recibida por los paneles solares, al moverlos en la dirección adecuada mediante mecanismos de uno y dos ejes, variando la orientación e inclinación de los módulos solares.

Figura 4.07: Estructura soporte de paneles solares.



Fuente: Proceso de Creación de una Planta Solar Fotovoltaica Conectada a Red - Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de Barcelona (ETSETB).

CAPÍTULO V

Descripción del SFCR-CTIC y Análisis de su Comportamiento Energético

5.1. Características Técnicas y de Instalación, del Sistema a Evaluar

El sistema a evaluar ha sido instalado en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), próximo al edificio del Centro Tecnológico de Informática y Comunicación (CTIC), al cual entrega energía desde su tablero principal, constituyendo un **SFCR interior de edificaciones** que, en el ámbito de la generación solar, es una de las posibilidades que contribuye a la configuración de un sistema eléctrico de generación distribuida.

El emplazamiento de la instalación es de aproximadamente, 12° S (latitud) y 77° O (longitud). La superficie colectora presenta una orientación de 0° con el norte, y 15° de inclinación hacia el norte.

Se trata de un SFCR de 3 kW de potencia (referida al inversor), provisto de la instrumentación necesaria para su monitoreo y visualización mediante pc instalada en un centro de vigilancia. Es el resultado de un proyecto impulsado por la Universidad de Jaén, España, representada por el Grupo de Investigación y Desarrollo en Energía Solar y Automática, IDEA, y la UNI, Perú, representada por el Centro de Energías Renovables, CER. Los elementos componentes de los distintos bloques funcionales de este SFCR, quedan caracterizados según datos de los fabricantes y proveedores, tal como se pasa a detallar:

- Subsistema eléctrico de potencia:

Está conformado por quince (15) módulos fotovoltaicos policristalinos tipo SW 215, del fabricante Solar World, de 215 Wp cada uno, conectados en cadena única, conformando un generador solar de 3 225 Wp.

Cada unidad modular SW215, muestra el siguiente comportamiento bajo condiciones estándar de prueba:

Potencia en el punto de máxima potencia, P_{Max}	215 Wp
Tensión en vacío, V_{oc}	36,5 V
Tensión a potencia máxima, V_{Mpp}	28,9 V

Corriente de cortocircuito, I_{sc}	8,00 A
Corriente a potencia máxima, I_{Mpp}	7,44 A

El inversor es del fabricante Steka, modelo Steka Grid 3000, de 3 kW, sin transformador con un peso de 9 a 11 kg, diseñado para operar con módulos solares que no requieren puesta a tierra. Lleva integrados bloques de protección, monitorización de red y seguimiento del punto de máxima potencia. Presenta un display para visualizar valores de rendimiento energético, parámetros de funcionamiento, y valor gravimétrico de CO₂ ahorrado, equivalente a 508 gr/kWh. De acuerdo con los datos del fabricante, su consumo propio es menor a 4 W, siendo sus potencias de conexión, desconexión y standby, de 10 W, 5 W y 6 W, respectivamente. Tiene una eficiencia máxima de 98,6 %, y una eficiencia europea de 98 %.

Su rango de tensión de entrada es, 350 V a 845 V, tensión alterna de salida 230 V, 60 Hz, con onda senoidal, de distorsión armónica total menor al 2 %.

Figura 5.01: Módulo solar e inversor (sub sistema de potencia).



Fuente: Elaboración propia

- Subsistema eléctrico de medida, control, protección, monitorización de red, almacenamiento y visualización de datos

Está integrado al inversor; permite la comunicación operador-sistema mediante cuatro teclas de manejo y un display que puede mostrar los valores de medición, mediante la indicación de estado y rendimiento, en respuesta a un menú de manejo.

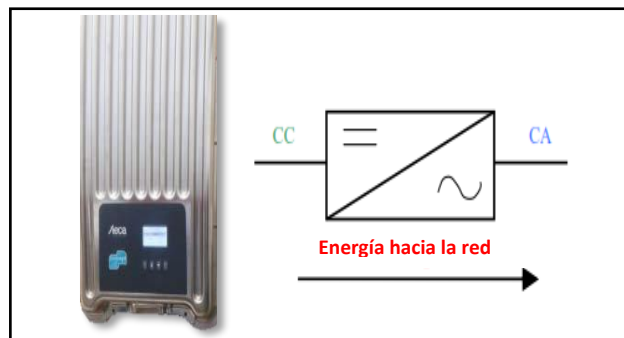
Durante la inyección, este subsistema va monitoreando continuamente los parámetros de red; si éstos no cumplen con las normativas legales para el lugar

de instalación, el inversor se desconectará automáticamente, volviendo a conectarse, al cumplirse dichas normativas.

Los datos comunicados por el inversor, son almacenados en una memoria interna permanente EEPROM. La comunicación con otros equipos tiene lugar mediante dos interfaces RS-485 adaptados a conector RJ-45.

El seguimiento del punto de máxima potencia se basa en un algoritmo de perturbación y observación, por el cual se modifica en ΔV , la tensión de operación a la entrada del inversor, y se mide el efecto en el incremento de potencia, ΔP ; si éste es positivo se continúa con el cambio de la tensión, en el mismo sentido, y si es negativo, el cambio de tensión se da, en sentido opuesto; si es nulo, el inversor estará operando en el MPP.

Figura 5.02: Inversor equipo electrónico multifuncional.



Fuente: elaboración propia.

- Subsistema de instrumentación electrónica de medida, de comunicación y monitorización del SFV

El sub sistema electrónico de adquisición de datos ha sido implementado en base a los siguientes componentes:

- Dos transductores de temperatura resistivos de platino, uno tipo sonda, modelo IKE 200K, para medir la temperatura ambiente, y el otro, tipo superficie, modelo TEMSOL 1000, para medir la temperatura de módulo.
- Un transductor de irradiancia global, de tecnología equivalente a la del generador solar, constituido por un pequeño panel fotovoltaico de $5 W_p$ de Solar Technology, tipo STP005BP (Fig. 5.03).

Figura 5.03: Sensores térmicos y sensor fotovoltaico



Fuente: Elaboración propia.

- Un analizador de red EM24DINAV93XIS, autoalimentado, del fabricante Carlo Gavazzi. Es el encargado de la medición de todos los parámetros de AC del sistema, que son transferidos al ordenador, gracias a que cuenta con la electrónica de comunicación y salida de interconexión al transmisor.

Además, puede almacenar y mostrar en un display propio, dicha información, tal como queda evidenciado en la figura adjunta.

Figura 5.04: Analizador de Red



Fuente: Carlo Gavazzi.

- Tres módulos de gestión y control, modelo Eos-Array del fabricante Carlo Gavazzi; alimentados por una fuente de 24 V (DC). Cada uno de ellos cumple una función específica. El módulo VMU-S, mide parámetros eléctricos de la cadena de paneles solares; el módulo VMU-P, mide variables ambientales (irradiancia, temperatura de módulo y temperatura ambiente); el módulo VMU-M, hace la función de maestro en la comunicación; gestiona el bus local para registrar las mediciones anteriormente citadas, transfiriéndolas al transmisor, que envía los datos al receptor conectado a la pc del centro de control. La

disposición de dichos módulos, referida a los paneles solares, es como se muestra (Fig. 5.05).

Figura 5.05: Módulo de Gestión y Control



Fuente: Carlo Gavazzi.

- Dos transmisores ATC-871RS-232 de **Advanced Technology (Tecnología Avanzada)**; tienen las ventajas de pequeño tamaño y peso, consumo de energía mínimo, buena estabilidad y fiabilidad. Permiten la transmisión, inalámbrica, de señales de datos hacia el ordenador. Están diseñados para tener un alcance de hasta 500 m en condiciones óptimas, en la banda de los 429,00 ~ 433,30 MHz ISM, con modulación FSK, potencia de transmisión de 100 mW y velocidad de 1 200 bps. Son energizados mediante fuentes de alimentación de 9 V (DC), 1 A, y están equipados con una antena desenroscable, orientable y con conector SMA, como se muestra (Fig.5.06).

Figura 5.06: Transmisor, Receptor Inalámbrico

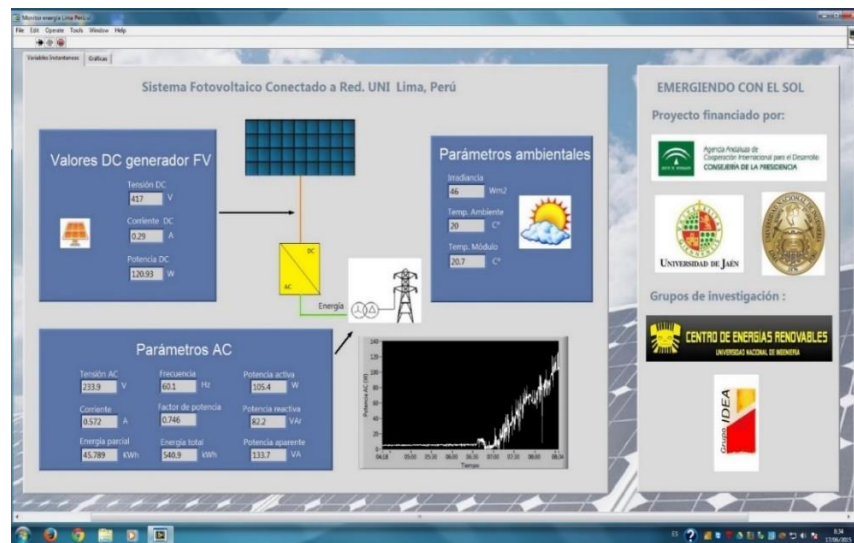


Fuente: Advanced Technology.

La información es transmitida, vía tecnología Wi-Fi, a una pc instalada en un centro de control, desde donde se vigila el comportamiento del sistema.

Se hace uso de una interface de usuario (ver Fig. 5.07), en lenguaje de programación LabView, para visualizar en tiempo real los datos en la pc, quedando almacenados en formato Excel, para su posterior tratamiento.

Figura 5.07: Interface de Usuario



Fuente: Elaboración propia.

- Subsistema de protección y seccionamiento eléctrico.

Está constituido por tres interruptores termomagnéticos; dos de ellos, instalados antes y después del inversor, como se registra en el esquema correspondiente (ver Anexos C, esquema EE-1).

Estos disyuntores son del fabricante Asea Brown Boveri (ABB), de 20 A y 25 A de corriente nominal serie S202, tipos C20 y C25; ambos con poder de corte de 6 kA en 230/400 V (AC).

Además, tanto la protección como el seccionamiento eléctrico es proporcionada por el propio inversor, mediante componentes hardware que pueden ser maniobrados desde el exterior.

El tercer termomagnético, hace las veces de interruptor auxiliar, protegiendo el subsistema de instrumentación electrónica de medida y monitorización del SFV,

incluidas sus fuentes de alimentación, que son energizadas (dos de ellas) desde dicho interruptor, como se detalla esquemáticamente (ver Anexos C, esquema EE-2).

Su corriente nominal es de 6 A, tensión 230/400 V (AC), con un poder de ruptura de 6 kA, curva de protección tipo C.

- Subsistema mecánico de fijación y soporte.

Toda la cadena de módulos que constituye el generador fotovoltaico, así como los sensores de radiación y temperatura están soportados, en la parte más alta, de una estructura mecánica que se levanta sobre tres postes de tubo de fierro galvanizado, cimentados mediante zapatas de concreto; a uno de dichos postes está sujeto el tablero que aloja al inversor y a los componentes de instrumentación y protección, tal como se registra en la imagen adjunta.

Figura 5.08: Estructura Soporte, Paneles Solares e Inversor.



Fuente: Elaboración propia.

5.2. Variables, Dimensiones e Indicadores de Evaluación

La evaluación del SFCR implica la valoración de la calidad de la instalación mediante la cuantificación de variables que pueden corresponder a distintos ámbitos, según sea el interés del evaluador, como son: el económico, energético, de impacto social, medioambiental, etc.

Para el presente trabajo, resulta de interés la variable: **comportamiento energético**, en base a la cual se ha cuantificado la evaluación del sistema fotovoltaico, con

resultados independientes de su localización. De este modo, es posible compararlo con otros sistemas fotovoltaicos conectados a red, instalados en distintas partes del mundo.

Dicha variable ha sido tratada en cuatro dimensiones, cada una de las cuales comprende un conjunto de indicadores o parámetros. Para uniformizar, estandarizar y sistematizar el proceso de evaluación, los parámetros fueron calculados en base a la definición operacional de cada uno de ellos establecida en la Norma IEC 61724-2000.

Los datos requeridos, se obtuvieron a partir de los registros de variables meteorológicas y de funcionamiento del sistema, facilitados por la instrumentación y monitorización del mismo.

En el cuadro 5.01 se registran: la variable de trabajo, sus dimensiones e indicadores, cuyas definiciones conceptuales se establecen seguidamente:

Cuadro 5.01: Variable, Dimensiones e Indicadores de Evaluación Energética del SFCR.

Variable de evaluación	Dimensiones	Indicadores
Comportamiento Energético (SFCR)	Productividad (Y)	- De referencia (Y_R). - De array o generador (Y_G). - Final (Y_F).
	Pérdidas (L)	- De captura (L_C). - Del resto del sistema (L_{BOS}).
	Eficiencia (η)	- Del generador (η_G). - Del resto del sistema (η_{BOS}). - Del sistema (η_S).
	Rendimiento (PR)	- Rendimiento energético, o Performance ratio (PR).

Fuente: Elaboración propia.

1. Comportamiento energético

Es la manera de funcionar del sistema fotovoltaico, desde el punto de vista de la energía que capta del sol, transforma e inyecta finalmente a la red en un periodo previamente establecido, considerando la variabilidad de las condiciones de trabajo a consecuencia del entorno y de los propios componentes del sistema.

2. Productividad

Se entiende por productividad la energía que en un periodo dado (mensual, anual, etc.) produce cada unidad productiva, asociada al sistema, representada por 1 kW de radiación estándar, o, 1 kW de potencia pico del generador solar de la instalación fotovoltaica, en evaluación energética (energía total/ total de unidades productivas).

3. Pérdidas

Por pérdidas se entiende las distintas limitaciones tecnológicas, meteorológicas y de praxis profesional, así como las diversas manifestaciones de la energía (radiación, energía eléctrica, calor, etc.) que dan lugar a que ésta no sea totalmente aprovechable en el propósito de ser inyectada a la red.

4. Eficiencia

La eficiencia es la capacidad que posee un componente de la instalación o la instalación en su conjunto, de permitir que la energía fluya, transformándola y/o acondicionándola según la función que le corresponda, de modo que la energía de salida sea la máxima fracción de la energía de entrada.

5. Rendimiento

El rendimiento se define como la energía total que la instalación entrega a la red en un periodo establecido, expresada dicha energía, como una fracción de la energía que en condiciones estándar entregaría el sistema, en el mismo periodo de trabajo cuantificado en horas solar pico.

5.3. Método y Definición Operacional de Indicadores

El método de evaluación utilizado se apoya en el **Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red**, IDAE-2011, Madrid España, y sigue los lineamientos dados por la **Norma IEC 61724 – 2000** (Monitorización de Sistemas Fotovoltaicos – Guías para la Medida, El Intercambio de Datos y El Análisis) según la cual, la variable **comportamiento energético** se debe evaluar en función de los correspondientes indicadores de las dimensiones:

- productividad (Y),
- eficiencia (η),

- pérdidas (L) y
- rendimiento (PR).

La definición operacional de cada uno de estos indicadores ha sido establecida en la citada norma, y, se muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro 5.02: Definición operacional de indicadores según Norma IEC 61724 – 2000.

Productividad (Y): (kWh)/(kW)			Eficiencia (η)			Rendimiento Global
De Referencia	De Generador	Final	Del Generador	Del BOS	Del Sistema	Performance Ratio (PR)
$Y_R = \frac{E_{SOL}}{G_{SC}}$	$Y_G = \frac{E_{DC}}{P_{MX}}$	$Y_F = \frac{E_{AC}}{P_{MX}}$	$\eta_G = \frac{E_{DC}}{E_{SOL}}$	$\eta_{BOS} = \frac{E_{AC}}{E_{DC}}$	$\eta_S = \frac{E_{AC}}{E_{SOL}}$	$PR = \frac{Y_F}{Y_R}$ $PR = \frac{E_{AC}G_{ST}}{P_{MX}H}$
Pérdidas (L): (kWh)/(kW)						
Del Generador (L_C)			Del resto del sistema (L_{BOS})			
$Y_R - Y_G$			$Y_G - Y_F$			

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- G_{SC}, G_{ST} : Potencia radiante sobre toda la superficie colectora del generador solar e irradiancia, ambas, en condiciones estándar de medida.
- P_{MX} : Potencia pico del generador fotovoltaico de la instalación.
- A : Área colectora del generador fotovoltaico ($A = 21,90 \text{ m}^2$).
- G, P_{DC}, P_{AC} : Irradiancia y potencias (DC, AC) según datos de monitorización.
- H, E_{SOL} : Irradiación y energía solar captadas por el generador en el periodo de evaluación.
- E_{DC}, E_{AC} : Energías eléctricas (DC, AC) entregadas por el generador e inversor, respectivamente, durante el periodo de evaluación.

Además:

$$G_{SC} = A(G_{ST}) = A\left(\frac{1KW}{m^2}\right); \quad P_{MX} = 3,225 \text{ kW}_p; \quad [5.1]$$

Cabe destacar que el parámetro performance ratio es el más utilizado actualmente para caracterizar el comportamiento energético de un SFCR. Se trata de un parámetro

de naturaleza global que se interpreta como la razón de la energía de salida en AC, a la energía que el generador entregaría trabajando a potencia nominal tantas horas solar pico, como corresponden a la irradiación captada.

5.4. Organización de Datos y Evaluación del SFCR

El cálculo de los parámetros de evaluación del SFV, se basa en los datos colectados durante el mes de marzo 2017 al mes de mayo 2018, proporcionados por la instrumentación instalada para la monitorización del sistema.

Se procedió al cómputo de los valores diarios de la energía solar (E_{SOL}) captada por la superficie colectora del generador fotovoltaico ($A = 21,90 \text{ m}^2$) a partir de la irradiancia incidente (G) registrada cada 15 segundos, durante las 24 horas del día, en la pc del centro de monitoreo de la instalación. De modo análogo, a partir de la potencia correspondiente (P_{DC} y P_{AC} o P_{activa}) se procedió a calcular la energía entregada por el arreglo solar (E_{DC}) y la energía inyectada a la red (E_{AC}).

Para tal fin, se utilizaron las siguientes relaciones:

$$H = \int G dt; \quad E_{SOL} = \int G A dt \quad [5.2]$$

$$E_{DC} = \int P_{DC} dt; \quad E_{AC} = \int P_{AC} dt \quad [5.3]$$

A partir de estos resultados se determinó el valor mensual, para cada mes del periodo considerado.

Además, se procedió a calcular el valor “mensual estacional”, para cada estación del año, comprendida entre marzo de 2017 y mayo de 2018, así como los valores estacionales y anual. Seguidamente se hallaron los valores diarios, promediados mensualmente, estacionalmente y anualmente.

Estos cálculos, luego han servido como datos de entrada para evaluar el sistema de acuerdo con los indicadores, previamente definidos operacionalmente, según la Norma IEC 61724 - 2000 (ver *Cuadro 5.02*).

CAPÍTULO VI

Presentación y Análisis de los Resultados

6.1. Presentación de Resultados

6.1.1. Resultados Mensuales

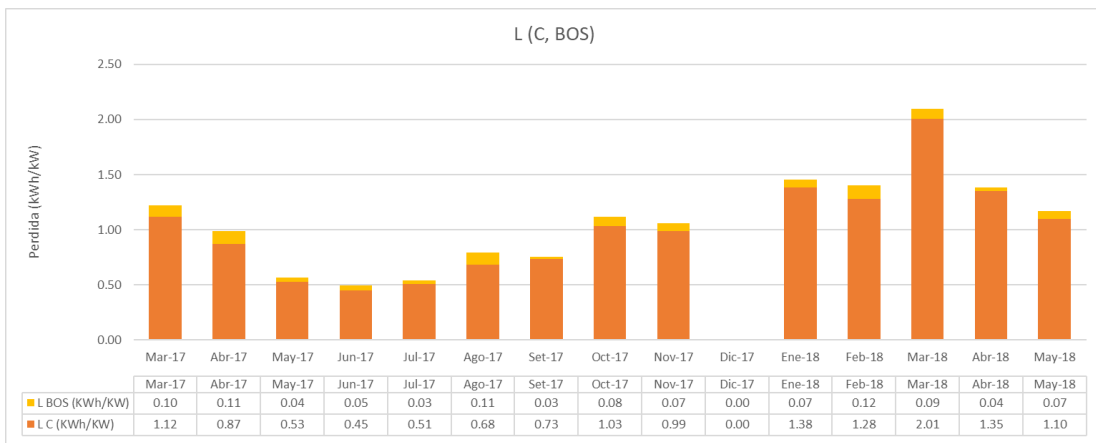
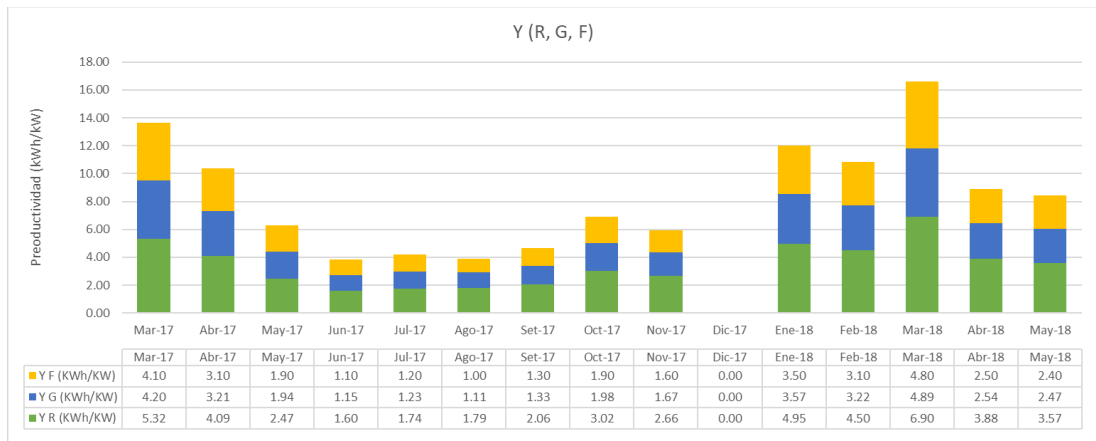
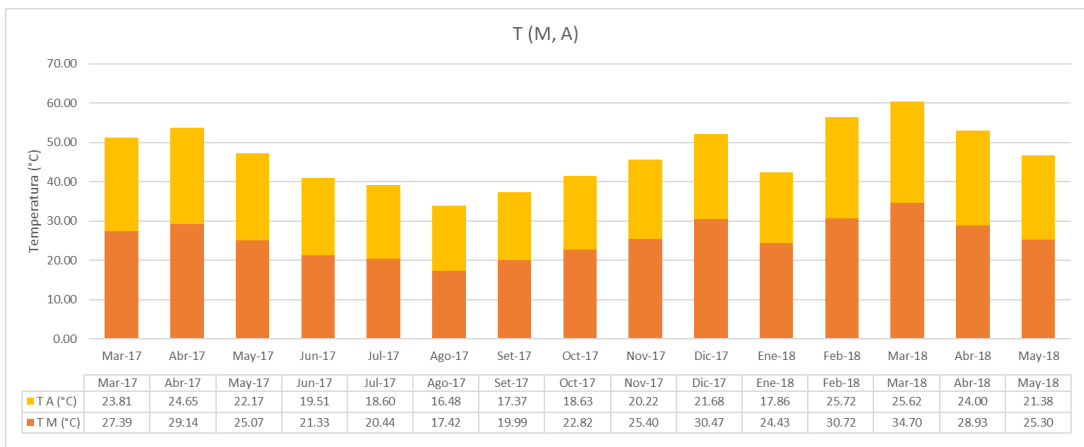
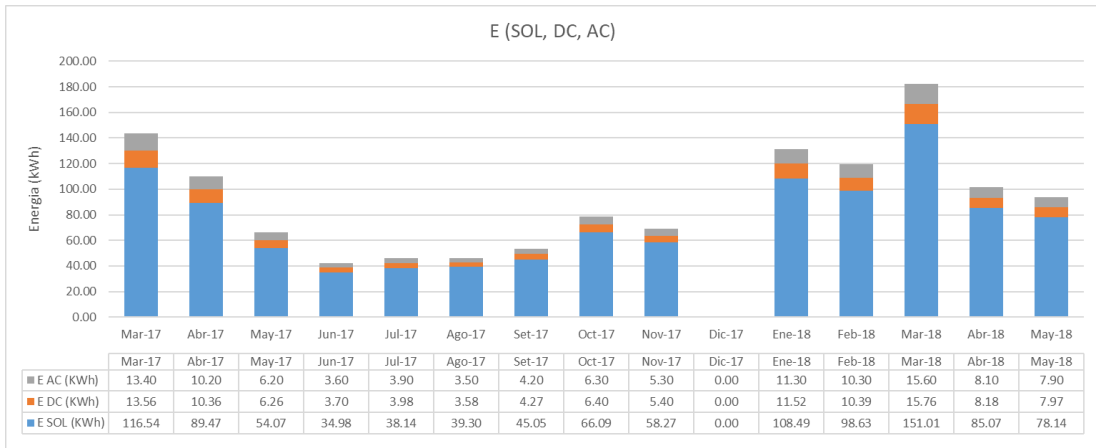
Cuadro 6.01: Valores diarios, promedio mensual, de Parámetros de Evaluación, marzo-17 a mayo-18.

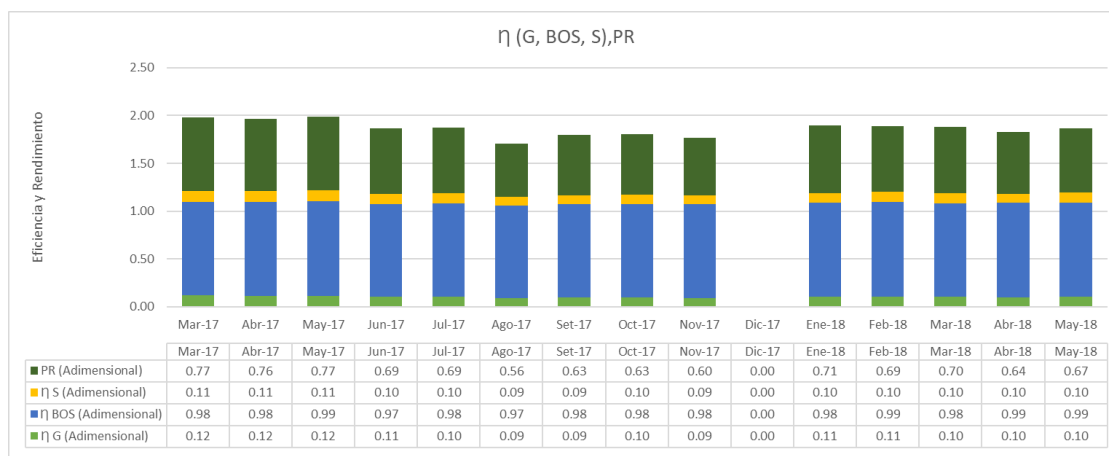
MESES	Mar-17	Abr-17	May-17	Jun-17	Jul-17	Ago-17	Set-17	Oct-17	Nov-17	Dic-17	Ene-18	Feb-18	Mar-18	Abr-18	May-18
ENERGIA	30	28	31	30	30	8	30	31	22	0	1	26	25	30	4
E_{sol} (KWh)	116,54	89,47	54,07	34,98	38,14	39,30	45,05	66,09	58,27	0,00	108,49	98,63	151,01	85,07	78,14
E_{DC} (KWh)	13,56	10,36	6,26	3,70	3,98	3,58	4,27	6,40	5,40	0,00	11,52	10,39	15,76	8,18	7,97
E_{AC} (KWh)	13,40	10,20	6,20	3,60	3,90	3,50	4,20	6,30	5,30	0,00	11,30	10,30	15,60	8,10	7,90
T_M (°C)	27,39	29,14	25,07	21,33	20,44	17,42	19,99	22,82	25,40	30,47	24,43	30,72	34,70	28,93	25,30
T_A (°C)	23,81	24,65	22,17	19,51	18,60	16,48	17,37	18,63	20,22	21,68	17,86	25,72	25,62	24,00	21,38
Y_R (KWh/KW)	5,32	4,09	2,47	1,60	1,74	1,79	2,06	3,02	2,66	0,00	4,95	4,50	6,90	3,88	3,57
Y_G (KWh/KW)	4,20	3,21	1,94	1,15	1,23	1,11	1,33	1,98	1,67	0,00	3,57	3,22	4,89	2,54	2,47
Y_F (KWh/KW)	4,10	3,10	1,90	1,10	1,20	1,00	1,30	1,90	1,60	0,00	3,50	3,10	4,80	2,50	2,40
L_C (KWh/KW)	1,12	0,87	0,53	0,45	0,51	0,68	0,73	1,03	0,99	0,00	1,38	1,28	2,01	1,35	1,10
L_{BOS} (KWh/KW)	0,10	0,11	0,04	0,05	0,03	0,11	0,03	0,08	0,07	0,00	0,07	0,12	0,09	0,04	0,07
η_G (Adimensional)	0,12	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	0,09	0,10	0,09	0,00	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10
η_{BOS} (Adimensional)	0,98	0,98	0,99	0,97	0,98	0,97	0,98	0,98	0,98	0,00	0,98	0,99	0,98	0,99	0,99
η_S (Adimensional)	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,09	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
PR (Adimensional)	0,77	0,76	0,77	0,69	0,69	0,56	0,63	0,63	0,60	0,00	0,71	0,69	0,70	0,64	0,67

Fuente: Elaboración propia.

- 1) En la tabla se indica cada mes y sus correspondientes días de medición. Se aprecia que la energía solar captada por el generador ha tenido sus valores más altos en los meses de marzo, del 2017 y del 2018.
- 2) En diciembre de 2017 no se registraron datos, y en agosto del mismo año, el registro fue bastante deficiente, al igual que en enero y mayo de 2018. El sistema no registró datos, por inconvenientes en su operación, ya sea por haber quedado fuera de servicio durante varios días, como por haber estado operando sin el mantenimiento adecuado, sobre todo en relación a la limpieza de los módulos que conforman la instalación, y del sensor de radiación.
- 3) Se aprecia que a valores bajos de la energía generada (E_{DC}), la energía inyectada a la red se le aproxima más que cuando se tienen valores elevados de E_{DC} . Esto se debe a que las pérdidas por efecto joule se incrementan con la potencia generada y por ende, con la energía entregada por el generador.
- 4) Como corresponde, la temperatura media de módulo, está por encima de la temperatura ambiente promedio.

- 5) La productividad de referencia (Y_R) constituye la irradiación captada, según periodo considerado, por unidad de irradiancia estándar. De acuerdo con el cuadro adjunto, su valor es mayor que el correspondiente a las otras productividades.
- 6) Las productividades de generador (Y_G) y final (Y_F) representan la energía que el arreglo fotovoltaico, por cada unidad de potencia pico, entrega al resto del sistema y a la red, respectivamente.
- 7) A consecuencia de las pérdidas que se producen en el resto del sistema, resulta obvio que cada unidad de potencia pico debe entregar más E_{DC} que E_{AC} , tal como revelan los resultados obtenidos y resumidos en el Cuadro 6.01.
- 8) Con relación a las pérdidas de captación (L_C), estas corresponden a factores como: operación en condiciones distintas a las estándar, sombreado, mismatch, suciedad, deficiencias del algoritmo de seguimiento del punto de máxima potencia, eficiencia de los módulos fotovoltaicos, fallos en el sistema, etc. Resultan ser mayores que las pérdidas del resto del sistema, y así se puede apreciar en los resultados obtenidos.
- 9) En cuanto a las pérdidas del resto del sistema (L_{BOS}), éstas comprenden las pérdidas por efecto joule, el autoconsumo del inversor, pérdidas en los puntos de conexión, y en el conductor entre el generador y el inversor, etc.
- 10) En relación con las eficiencias, se puede apreciar que los valores para la eficiencia de generador (η_G) están en el rango que corresponde al tipo de módulo fotovoltaico del generador solar.
- 11) En cuanto a la eficiencia del resto del sistema (η_{BOS}), sus valores se aproximan a los registrados en los datos técnicos del fabricante del inversor, si se tiene en consideración las aproximaciones en los cálculos realizados
- 12) Los valores de PR obtenidos, están comprendidos entre un máximo de 0,77 (marzo y mayo 17) y un valor mínimo de 0,56 (agosto 17).





6.1.2. Resultados por Estaciones del Año

Cuadro 6.02: Valores diarios, promedio “mensual estacional” y estacional, de Parámetros de Evaluación Otoño – Invierno.

ESTACION ENERGIA	OTOÑO - 17				INVIERNO - 17			
	21 MAR 21 ABR 30	22 ABR 21 MAY 30	22 MAY 21 JUN 31	TOTAL 91	22 JUN 21 JUL 30	22 JUL 22 AGO 10	23AGO 22SET 29	TOTAL 69
E_{SOL} (KWh)	108,45	66,44	32,73	68,80	32,65	50,61	35,40	36,41
E_{DC} (KWh)	12,74	7,75	3,54	7,96	3,38	5,14	3,30	3,60
E_{AC} (KWh)	12,60	7,70	3,50	7,90	3,30	5,10	3,20	3,50
T_M (°C)	27,28	26,49	21,72	25,13	20,45	18,44	18,98	19,34
T_A (°C)	23,59	22,99	19,93	22,14	18,85	17,36	16,92	17,74
Y_R (KWh/KW)	4,95	3,03	1,49	3,14	1,49	2,31	1,62	1,66
Y_G (KWh/KW)	3,95	2,40	1,10	2,47	1,05	1,59	1,02	1,12
Y_F (KWh/KW)	3,90	2,30	1,00	2,40	1,00	1,50	0,90	1,00
L_C (KWh/KW)	1,00	0,63	0,40	0,67	0,44	0,72	0,59	0,55
L_{BOS} (KWh/KW)	0,05	0,10	0,10	0,07	0,05	0,09	0,12	0,12
η_G (Adimensional)	0,12	0,12	0,11	0,12	0,10	0,10	0,09	0,10
η_{BOS} (Adimensional)	0,98	0,99	0,98	0,99	0,97	0,99	0,97	0,97
η_S (Adimensional)	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,10
PR (Adimensional)	0,79	0,76	0,67	0,76	0,67	0,65	0,56	0,60

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 6.03: Valores diarios, promedio “mensual estacional” y estacional, de Parámetros de Evaluación primavera – verano.

ESTACION ENERGIA	PRIMAVERA - 17				VERANO 17-18			
	23 SET 21 OCT 29	22 OCT 21 NOV 31	22 NOV 21 DIC 0	TOTAL 60	22 DIC 20 ENE 0	21 ENE 22 FEB 23	23 FEB 20 MAR 18	TOTAL 41
E_{SOL} (KWh)	70,56	57,87	0,00	65,32	0,00	99,65	169,60	130,36
E_{DC} (KWh)	6,81	5,63	0,00	6,23	0,00	10,46	17,94	13,75
E_{AC} (KWh)	6,70	5,60	0,00	6,20	0,00	10,30	17,80	13,60
T_M (°C)	22,67	23,06	31,03	25,59	22,84	30,46	36,71	32,72
T_A (°C)	18,35	19,27	22,15	19,93	16,25	25,44	26,47	25,44
Y_R (KWh/KW)	3,22	2,64	0,00	2,98	0,00	4,55	7,74	5,95
Y_G (KWh/KW)	2,11	1,75	0,00	1,93	0,00	3,24	5,56	4,26
Y_F (KWh/KW)	2,00	1,70	0,00	1,90	0,00	3,10	5,50	4,20
L_C (KWh/KW)	1,11	0,90	0,00	1,05	0,00	1,31	2,18	1,69
L_{BOS} (KWh/KW)	0,11	0,05	0,00	0,03	0,00	0,14	0,06	0,06
η_G (Adimensional)	0,10	0,10	0,00	0,10	0,00	0,10	0,11	0,11
η_{BOS} (Adimensional)	0,98	0,99	0,00	0,99	0,00	0,98	0,99	0,98
η_S (Adimensional)	0,09	0,10	0,00	0,09	0,00	0,10	0,10	0,10
PR (Adimensional)	0,62	0,64	0,00	0,64	0,00	0,68	0,71	0,71

Fuente: Elaboración propia.

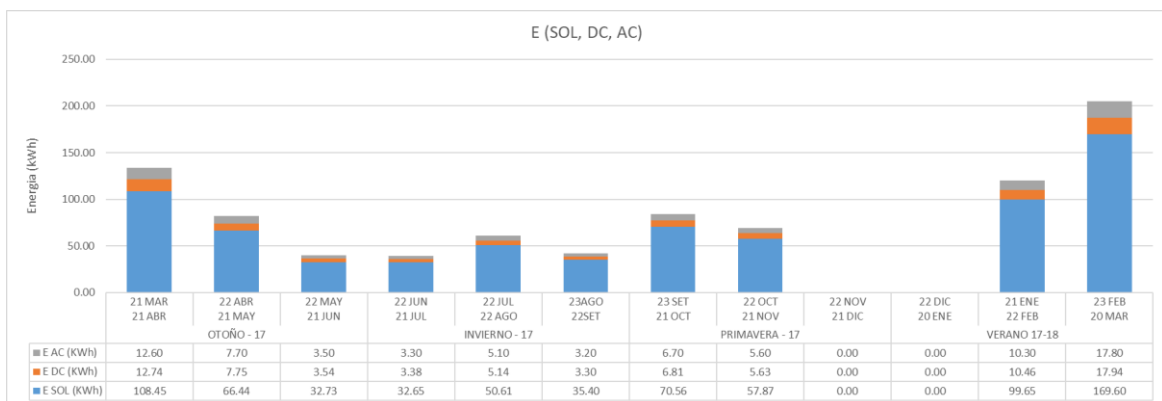
Cuadro 6.04: Resumen de Valores diarios promediados de Parámetros de Evaluación estacional y anual

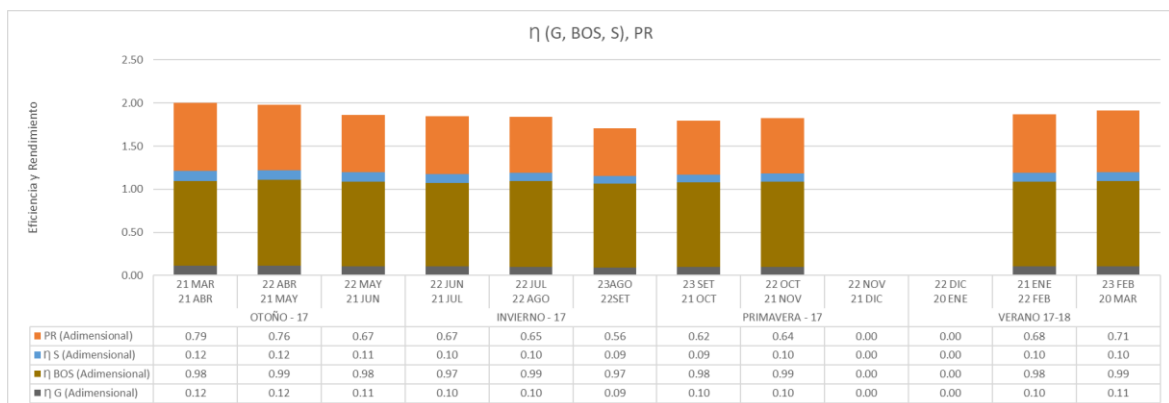
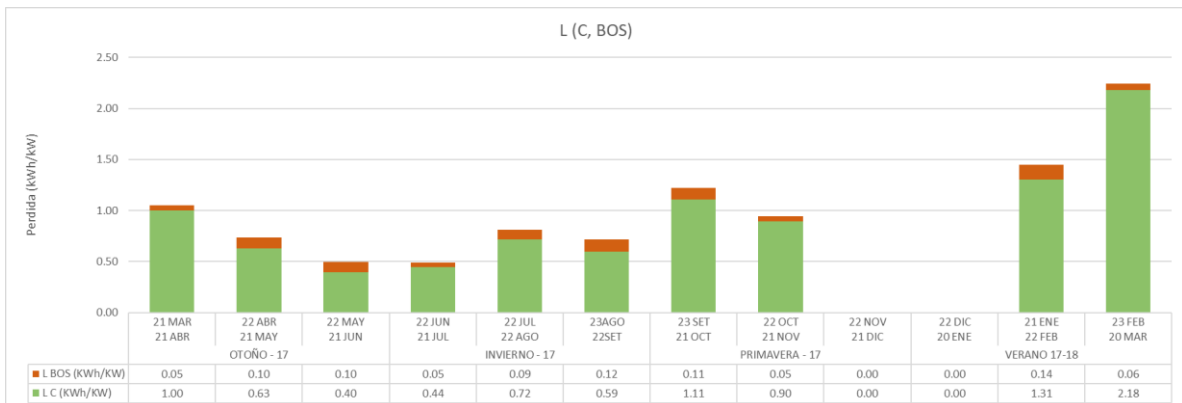
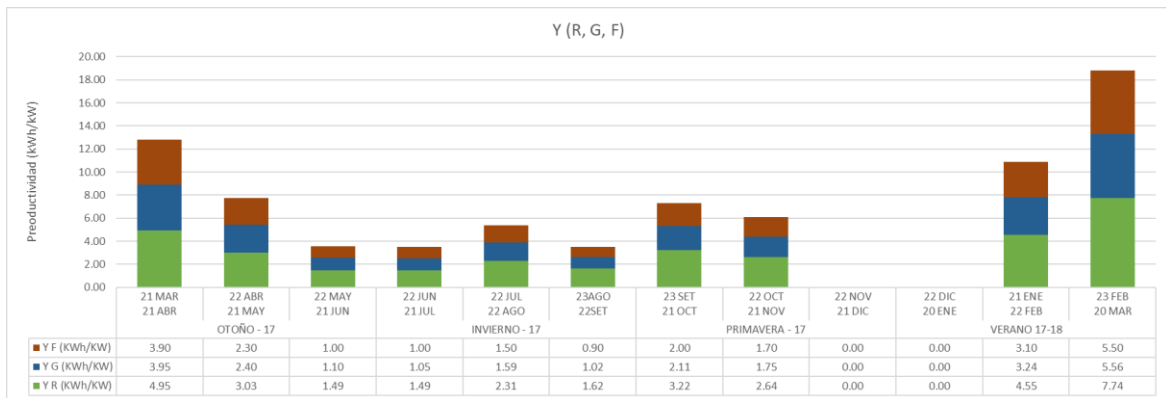
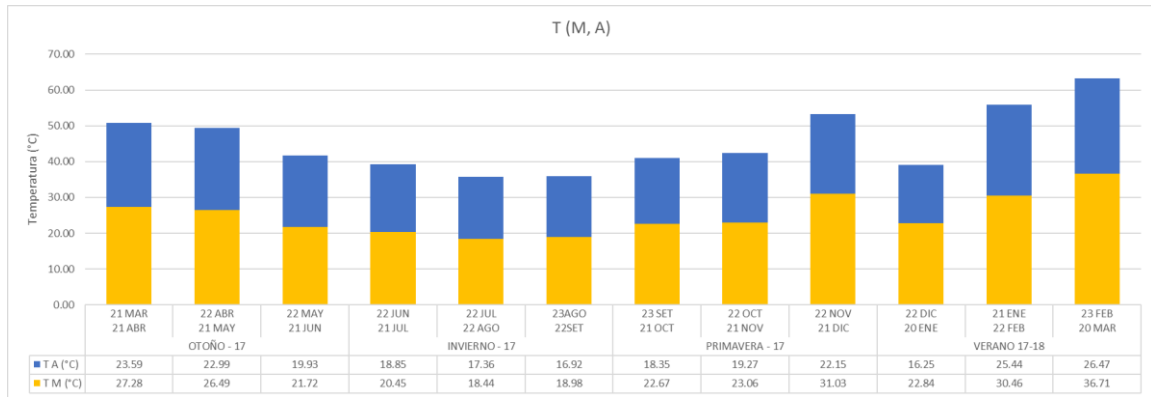
ENERGIA \ ESTACION	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	TOTAL	TOTAL
	17	17	17	17-18	(DIARIO)	(ANUAL)
	91	69	60	41	261	
E_{SOL} (KWh)	68,80	36,41	65,32	130,36	69,11	18037,14
E_{DC} (KWh)	7,96	3,60	6,23	13,75	7,32	1909,67
E_{AC} (KWh)	7,90	3,50	6,20	13,60	7,20	1879,20
T_M (°C)	25,13	19,34	25,59	32,72	24,75	24,75
T_A (°C)	22,14	17,74	19,93	25,44	20,76	20,76
Y_R (KWh/KW)	3,14	1,66	2,98	5,95	3,16	823,61
Y_G (KWh/KW)	2,47	1,12	1,93	4,26	2,27	592,14
Y_F (KWh/KW)	2,40	1,00	1,90	4,20	2,23	582,70
L_C (KWh/KW)	0,67	0,55	1,05	1,69	0,89	231,47
L_{BOS} (KWh/KW)	0,07	0,12	0,03	0,06	0,04	9,45
η_G (Adimensional)	0,12	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11
η_{BOS} (Adimensional)	0,99	0,97	0,99	0,98	0,98	0,98
η_S (Adimensional)	0,11	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10
PR (Adimensional)	0,76	0,60	0,64	0,71	0,71	0,71

Fuente: Elaboración propia.

En los Cuadro 6.02 y 6.03 se muestra los resultados de la evaluación energética en el periodo comprendido entre el otoño de 2017 y el verano de 2018, abarcando las cuatro estaciones climáticas. Se han registrado los valores de cada uno de los tres periodos mensuales comprendidos en cada estación y los correspondientes a ellas mismas.

En el Cuadro 6.04, se presenta un consolidado de los valores, por estación y anual. Para cada periodo estacional, se ha registrado el número de días con datos confiables. Según este cuadro, totalizando las cuatro estaciones, se tienen 261 días con registro de datos.





6.2. Prueba de Hipótesis

De acuerdo con lo sostenido en el presente trabajo (ver sección 5.2.), en base a la literatura referida al tema en estudio, puesta en evidencia en los antecedentes y en las recomendaciones de la norma IEC 61724-2000, es posible comparar distintas instalaciones de sistemas fotovoltaicos conectados a red.

En la prueba de hipótesis, los datos obtenidos al evaluar el SFCR CTIC-UNI 3 kW fueron comparados con los correspondientes a la base de datos del Programa de Sistemas de Potencia Fotovoltaica de la Agencia Internacional de Energía (PVPS-IEA) para instalaciones en distintas partes del mundo. Se hizo uso de los parámetros estandarizados según IEC 61724, relacionados con la radiación incidente (Y_R), la energía producida (Y_F) y las pérdidas globales (PR), para periodo de evaluación anual, tal como se muestra en el cuadro 6.05.

Cuadro 6.05: Índices de producción: valores medios base de datos del Programa de Sistemas de Potencia Fotovoltaica de la Agencia Internacional de Energía (PVPS-IEA) comparados con los del sistema evaluado SFCR-CTIC-UNI.

PAISES	$Y_R(kWh/kW)$	$Y_F(kWh/kW)$	PR
Alemania	950	700	0.74
Suiza	1200	830	0.69
Japón	1170	912	0.78
Israel	2400	1600	0.67
SFCR CTIC-UNI	823.61	582.70	0.71

Fuente: Seminario Monitorización, Telemetría Y Calidad de Sistemas Fotovoltaicos (2011) y fuente propia.

Como resultado se obtuvo que si bien el PR del SFCR CTIC-UNI, tiene un valor aceptable, los índices de productividad de referencia (Y_R), y final (Y_F), para dicho sistema, son marcadamente menores que los correspondientes a las instalaciones de comparación. Consecuentemente, el sistema evaluado no trabaja en condiciones de operación comparables al de instalaciones similares en otras partes del mundo.

Se concluye que la **hipótesis**, según la cual: la evaluación energética, con fines de estudio, del SFCR CER-IDEA 3kW conectado a la red del CTIC-UNI, revela sus posibilidades de uso en nuestro medio, al tener un comportamiento comparable al de instalaciones similares, localizadas en otras partes del mundo; **no se cumple**.

6.3. Discusión

- 1) La tabla 6.01 muestra cuatro meses con toma irregular de datos para el cálculo de los parámetros correspondientes; el mes de diciembre 17, carece de información, agosto del mismo año, tiene registrado ocho datos. Mientras que el mes de enero y mayo del 2018, cuenta con uno y cuatro datos, respectivamente.

Esta discontinuidad en el registro de datos se manifiesta en los resultados, estacionales y anual, al cuantificar la evaluación de la instalación en el periodo comprendido entre el otoño de 2017 y el verano de 2018. El cuadro 6.04, resume dichos resultados.

- 2) De acuerdo con la información contenida en el cuadro 6.01, al comparar las pérdidas de captura (L_C), en marzo 2017 y marzo 2018, se observa que L_C , en el segundo caso es mayor que, en el primero, Estas mayores pérdidas de captura, probablemente sean consecuencia del escaso mantenimiento que ha tenido el sistema, sobre todo en lo concerniente a la limpieza de los módulos fotovoltaicos que conforman el generador solar.
- 3) Cabe destacar que esta situación de pérdida de datos y manifestación de poco mantenimiento brindado a la instalación, ha quedado documentada en el trabajo de tesis, para optar el título de Licenciado en Física de la Facultad de Ciencias de la U.N.I.: **Análisis de Rendimiento de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red Eléctrica de 3, 225 kW en Lima**, cuyo autor: **Laureano Oré, Carlos**, hace un valioso aporte al analizar, en el periodo abril 2 015-abril 2 017, el sistema fotovoltaico, evaluado en la presente tesis.

En el citado trabajo, se lee en su página 31: ... “Los meses de julio, setiembre y octubre del 2016 el sistema de adquisición no funcionó correctamente o algunos sensores estaban siendo revisados por lo que no se tienen registros fiables”.

Además, Laureano, presenta un análisis del efecto, que la suciedad de los paneles, tiene en la producción energética de la instalación.

- 4) Ambos trabajos, coinciden en evaluar marzo y abril de 2 017, con resultados muy similares, como se corrobora al comparar la Tabla 3.3 (página 32) y el Cuadro 6.01 (página 66), de las correspondientes tesis.
- 5) Los resultados registrados en el cuadro 6.04, correspondientes al periodo de evaluación de un año (261 días efectivos de mediciones), revelan una productividad final anual, de:

$$Y_F = 582,70 \text{ kWh/kW}_p \cdot \text{año} \quad [6.1]$$

Este resultado, cae fuera del rango de valores que la experiencia con instalaciones similares en otras partes del mundo ofrece como referentes, según citan los autores Castejón Agustín y Santamaría Germán, en el texto Instalaciones solares fotovoltaicas (2010), página 186, en la que se lee:

“Aunque teóricamente se obtienen productividades de 1 300 a 1 500 kWh/kW_p, la mayoría de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red actualmente en funcionamiento tienen una productividad anual en el rango de 900 a 1 200 kWh/kW_p”.

“Esta diferencia entre la estimación teórica y el valor real de la productividad de una instalación fotovoltaica se reduce con una selección adecuada de los componentes que mejore la calidad de la instalación y con un mantenimiento correcto que reduzca las pérdidas asociadas al funcionamiento”.

- 6) De la base de datos del sistema fotovoltaico evaluado, que se registra en la pc del centro de control, se evidencia un funcionamiento inapropiado del mismo, en el periodo de evaluación.

CAPÍTULO VII

Conclusiones y Recomendaciones

7.1. Conclusiones

- 1) El presente estudio ha puesto de manifiesto que la toma de datos para los periodos de evaluación considerados no ha tenido la regularidad deseable que muestre con mayores detalles una imagen nítida del comportamiento energético del sistema. Esto se ha debido a su salida de servicio en 104 días de los 365 que comprende el periodo anual considerado, totalizándose 261 días en los que se han podido registrar datos válidos para la evaluación energética de la instalación fotovoltaica. En consecuencia, la disponibilidad de datos monitorizados respecto al total anual es de: 0,72.
- 2) La medición del comportamiento energético del SFCR CETIC-UNI, en base a parámetros estandarizados, provee información que será útil para impulsar la generación fotovoltaica en nuestro medio. En un ámbito global, ha de servir como referente de la calidad de los productos existentes y de las condiciones en que viene operando el sistema. Resultará útil a investigadores y proyectistas, como instrumento para identificar carencias en los equipos y alteraciones en la operación normal de la instalación.

Mientras que, a las autoridades competente, les será útil para estructurar el marco normativo que regule el uso de este tipo de sistemas garantizando la disponibilidad, seguridad y calidad del servicio de energía eléctrica.

- 3) Los indicadores de comparación entre sistemas de este tipo: productividad de referencia, productividad final y performance ratio, revelan, según los resultados obtenidos y los de instalaciones existentes, que el sistema, por la falta de continuidad de servicio, o funcionamiento en condiciones no apropiadas, opera con resultados, de producción energética, que están fuera de los valores que muestra la experiencia con sistemas instalados en otros lugares del mundo, según el banco de datos del Programa de Sistemas de Potencia Fotovoltaica (PVPS) de la Agencia Internacional de la Energía (AIE).

- 4) Para la evaluación anual del sistema (ver cuadro 6.04), el PR, con un valor de 0,71, a pesar de estar dentro del rango de aceptación en relación con lo que dicta la experiencia, revela que no hay un mejor aprovechamiento del recurso solar y de la capacidad productiva del generador fotovoltaico. Ello se pone de manifiesto en las pérdidas de captación (L_C) cuyo valor de 0,89 es bastante próximo al valor de 0,90 obtenido por Laureano. Entonces, las bajas productividades del sistema evaluado se deberían a la cubierta de polvo que ha estado afectando tanto al sensor de radiación como a la superficie colectora de los módulos fotovoltaicos.
- 5) Los valores diarios promedio estacional, resultan ser coherentes, muy en particular los que sirven de base en el cálculo de los indicadores que cuantifican la evaluación del SFCR, y están referidos a las energías: disponible (E_{SOL}), entregada por el generador (E_{DC}) e inyectada a la red (E_{AC}), con valores menor en invierno, intermedio en otoño/primavera, y mayor en verano, tal como se muestra en el cuadro 6.04.
- 6) De acuerdo con el resultado de prueba de hipótesis, ésta no se cumple; sin embargo, ello no niega las posibilidades de uso de los SFCR, en nuestro medio.

7.2. Recomendaciones

- 1) Desarrollar, de parte del personal encargado, una vigilancia sostenida, al proceso de producción energética y a las condiciones de trabajo del SFCR CER-IDEA 3 kW, garantizando la continuidad del servicio, y de registro en la base de datos.
- 2) Formar personal especializado en proyectos, instalaciones y análisis de sistemas solares referidos a SFCR, que puedan contribuir a generar información y desarrollar la normativa nacional necesaria para acelerar la implementación de estos sistemas, en el marco de los acuerdos de la COP 21, de cara a nuestra realidad, frente al cambio climático y la necesidad de modernizar el SEIN.
- 3) En base a que los sistemas fotovoltaicos tienen carácter multidisciplinario y se pueden aprovechar a distintos niveles de potencia, sobre todo, conectados a la red de distribución de servicio público y a la red interior de edificios, se recomienda desarrollar, en centros universitarios y tecnológicos, programas, para su difusión, en diferentes especialidades, según sea el nivel de conocimiento requerido.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Comunidad de Madrid (2 007). Guía básica de la generación distribuida (pag.3). Madrid, España: Gráficas Elisa, S.A.
- [2] Gómez Expósito, Antonio (2 002). Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica. España: McGraw Hill.
- [3] Stevenson, William (2 010). Análisis de sistemas eléctricos de potencia. Bogotá Colombia: McGraw Hill.
- [4] Carlos Machicao, J. y Olazabal Reyes, J. (2013). Matriz energética en el Perú y energías renovables. Fundación Friedrich Ebert. Biblioteca Nacional del Perú.
- [5] Grupo NAP (2 007). Energía solar fotovoltaica. Madrid, España. Colegio Oficial de Telecomunicaciones.
- [6] Delta Volt (2 018). Energía hidroeléctrica, energía tradicional del Perú. Disponible en: <http://deltavolt.pe/energia-renovable/renovable-peru>.
- [7] Instituto de las Américas (2 016). Energía y sostenibilidad en el Perú. <http://www.iamericas.org>.
- [8] Dirección General de Electrificación Rural (2 011). Atlas del potencial hidroeléctrico del Perú. Lima, Perú. Ministerio de Energía y Minas.
- [9] Dirección General de Electricidad (2 016). Atlas eólico del Perú. Lima, Perú. Ministerio de Energía y Minas.
- [10] Lope del Amo Martínez (2 013). Generación eléctrica distribuida. España, IDAE.
- [11] Arribas, Luis (2 017). Guía específica de trabajo sobre generación distribuida. Madrid, España. Fundación San Patricio.
- [12] Valencia, James (2 008). Generación distribuida: democratización de la energía eléctrica. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C.
- [13] Agencia Internacional de Energía (AIE) (2 016). Perspectivas sobre tecnología energética. Paris, Francia.
- [14] Dalbom, B, y Jonkers, R. (2 009). Cambiando los hábitos de consumo energético. España, IDAE.
- [15] Belloch, Consuelo (2 014). Las tecnologías de la información y comunicación. España. Universidad de Valencia.
- [16] Manrique, J. (1 984). Energía solar fundamentos y aplicaciones fototérmicas. México. Harla.
- [17] Perpiñan Lamigueiro, Oscar (2018). Energía solar fotovoltaica. <https://github.com/oscarperpinan/esf>.

- [18] Castejón, A. y Santamaría G. (2 010). Instalaciones solares fotovoltaicas. España. Editex.
- [19] INTELEC - PVS IN BLOOM (2 013). Introducción a la tecnología fotovoltaica, seminario de formación para técnicos.
- [20] TRITEC, TRI-KA (2 005). Analizador de curvas características, manual de usuario de hardware. Suiza.
- [21] Anthony, Dürschner y Remmers (2 006). Fotovoltaica para profesionales. Sevilla, España. Progensa.
- [22] Palomino, Álvaro (2 012). Análisis de los datos técnicos de los inversores fotovoltaicos de conexión a red. Madrid, España. Universidad Carlos II de Madrid.
- [23] Wiesner, Arnold (2 013). Sistema fotovoltaico conectado a la línea, con control programado del suministro de energía. Bogotá, Colombia. Pontificia Universidad Javeriana.
- [24] Chauca, F, et al. (2 014). Diseño y construcción de un inversor multinivel. Quito, Ecuador. Escuela politécnica nacional, facultad de ingeniería eléctrica y electrónica.
- [25] Pérez, Miguel, et al. (2 004). Instrumentación electrónica. Madrid, España. Thomson.
- [26] Rodríguez, Aquilino. (2 012). Sistemas SCADA. México, Alfaomega.
- [27] Rodríguez, Aquilino (2 008). Comunicaciones industriales guía práctica. Barcelona, España. Marcombo.
- [28] Cerro, Enrique (2 004). Comunicaciones industriales. Barcelona, España. CEYSA.
- [29] Cuervo, R. (2 009). Energía solar fotovoltaica. Madrid, España. Fundación Confemetal.
- [30] IDAE (2 011). Instalaciones de energía solar fotovoltaica. Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red. Madrid, España. www.idae.es.
- [31] Cáceres, M. et al. (2 012). Caracterización eléctrica de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados a la red de baja tensión. Corrientes, Argentina. Grupo de energías renovables. Facultad de ciencias exactas y naturales y agrimensura. Universidad nacional del nordeste.
- [32] De Moraes, Fernando (2 008). Redes inalámbricas. Madrid, España. S.G.E.L. (sociedad general española de librería).
- [33] Laureano Oré, Carlos (2 017). Análisis de rendimiento de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica de 3,225 kW en Lima. Tesis para optar el título de Licenciado en Física. U.N.I., Lima, Perú.

ANEXOS

A) DATOS TÉCNICOS DE PRINCIPALES AEROGENERADORES Y SFCR SEGÚN OSINERGMIN.

- A.1) Central Eólica Parque Eólico Marcona (32MW).
- A.2) Central Eólica Wayra I (Parque Nazca) (126 MW).
- A.3) Central Majes Solar 20T (20 MW).
- A.4) Central Panamericana Solar (20 MW).
- A.5) Central Solar Repartición 20T (20 MW).
- A.6) Central Tacna Solar (20 MW).

B) DATOS TÉCNICOS DE COMPONENTES DE SFCR – CETIC - UNI.

- B.1) Módulo Fotovoltaico SW215.
- B.2) Inversor Steca Grid 3000.
- B.3) Emisor – Receptor Inalámbrico ATC – 871.
- B.4) Contador y Analizador de Energía.
- B.5) Módulo Maestro y Registro de Datos.
- B.6) Unidad de Medición de String.
- B.7) Unidad de Variables Ambientales.

C) ESQUEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA Y COMUNICACIÓN

- C.1) Esquema Unifilar de Potencia.
- C.2) Esquema Unifilar Instrumentación de Medida.

D) CÁLCULOS AUXILIARES DE RESULTADOS OBTENIDOS

- D.1) Valores Diarios Expresados en Unidades según Base de Datos.
- D.2) Valores Diarios Expresados en Unidades convenientes para la Evaluación.

A) DATOS TÉCNICOS DE PRINCIPALES AEROGENERADORES Y SFCR SEGÚN OSINERGMIN.

- A.1) Central Eólica Parque Eólico Marcona (32MW).
- A.2) Central Eólica Wayra I (Parque Nazca) (126 MW).
- A.3) Central Majes Solar 20T (20 MW).
- A.4) Central Panamericana Solar (20 MW).
- A.5) Central Solar Repartición 20T (20 MW).
- A.6) Central Tacna Solar (20 MW).

A.1) Central Eólica Parque Eólico Marcona (32MW).



CENTRAL EÓLICA PARQUE EÓLICO MARCONA

DENOMINACIÓN	CENTRAL EÓLICA PARQUE EÓLICO MARCONA
EMPRESA CONCESIONARIA	PARQUE EÓLICO MARCONA S.R.L. (COBRA PERÚ)
TECNOLOGÍA	Energía Eólica
UBICACIÓN	Departamento: Ica Provincia: Marcona Distrito: Marcona Altitud: 200 msnm
DATOS TÉCNICOS	Potencia Instalada: 32 MW Punto de Oferta: Barra Marcona 220 kV Cantidad de Aerogeneradores: 11 Modelo de Aerogeneradores: 8 - SWT-3,15-108 y 3-SWT 2,3-108 Potencia de Aerogenerador: 8 x 3,15 MW + 3 x 2,3 MW
TRANSFORMADORES	Cantidad de Transformadores: 11 Potencia: 2,6 MVA y 3,4 MVA. Tensión: 0,69 kV/20 kV
DATOS DE CONTRATO	Firma de Contrato: 31.03. 2010 Puesta en Operación (POC): 25.04.2014 Energía Anual Ofertada Precio de la Energía Ofertado: 148 378 MWh 6,552 ctvs. US\$/kWh



Ubicación del Proyecto



Montaje de Pales



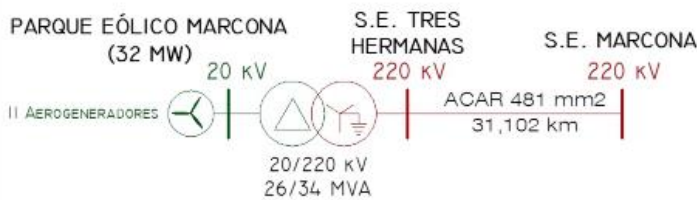
Aerogeneradores instalados



Transformador de 35 MVA – 220 kv

- INFORMACIÓN RELEVANTE**
- El proyecto contempló la instalación de 11 Aerogeneradores (8 x 3,15 MW + 3 x 2,3 MW).
 - Los 11 Aerogeneradores tienen una tensión de generación de 0,69 kV. Se agrupan en 3 bloques, interconectados entre sí. Luego, cada uno de estos bloques se conecta a la S.E. de la Central Eólica en el nivel de 20 kV. En la S.E. se instaló un transformador 20/220 kV (35 MVA), el cual se conecta a la S.E. Marcona existente.
 - El 13.08.2012, mediante R.S. N° 097-2012-EM, se otorgó la Concesión Definitiva de Generación y el 31.10.2012, mediante R.S. N° 104-2012-EM se otorgó la Concesión Definitiva de Transmisión.
 - La potencia generada se inyecta al SEIN mediante una L.T. de 31 km en 220 kV que conecta la S.E. Central Parque Eólico Marcona con la S.E. Marcona existente.
 - Con carta COES/D/DP-105-2014 del 27.01.2014 se aprobó el estudio de operatividad del Parque Eólico Marcona y su Línea de Transmisión.
 - La R.M. N° 301-2013-MEM aprobó la modificación de la Puesta en Operación Comercial para el 21.03.2014.
 - Con Carta COES/D/DP-530-2014 del 23.04.2014 se aprueba la Operación Comercial del Parque Eólico Marcona desde las 00:00 horas del día 25.04.2014.
 - El monto de inversión aproximado fue de 61,1 millones US\$.

ESQUEMA UNIFILAR DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN



A.2) Central Eólica Wayra I (Parque Nazca) (126 MW).

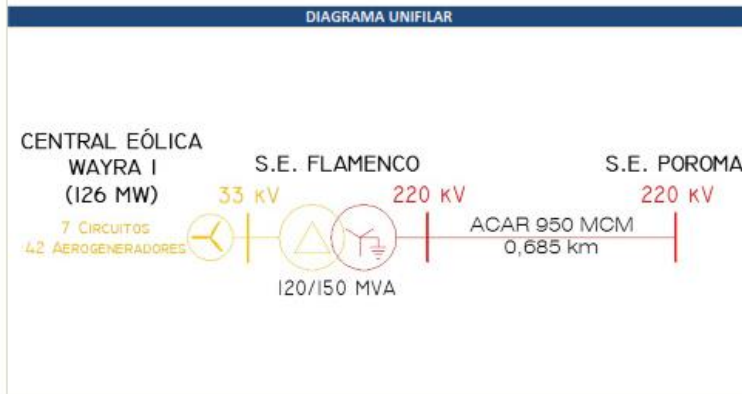


CENTRAL EÓLICA WAYRA I (PARQUE NAZCA) (126 MW)

EMPRESA CONCESIONARIA		ENEL GREEN POWER PERÚ S.A.	
DESCRIPCIÓN			
La central tendrá una capacidad de 126 MW, que se obtendrá mediante la instalación de 42 aerogeneradores de 3,15 MW. La conexión al SEIN se realizará a través de la L.T. 220 kV S.E. Flamenco - S.E. Poroma, de simple circuito de 0,685 km.			
UBICACIÓN			
Departamento	Ica		
Provincia	Nazca		
Distrito	Marcona		
Altitud	27 msnm		
DATOS DE LA CENTRAL			
Potencia Instalada	126 MW		
N° de circuitos	7		
DATOS DEL AEROGENERADOR			
N° de unidades	42		
Potencia Nominal	3,15 MW		
Tensión de Generación	12 kV		
Factor de Potencia	-		
Marca	ACCIONA (Modelo AW3150)		
Año de Fabricación	-		
DATOS DEL TRANSFORMADOR			
	Transformador de Potencia	Transformador del Aerogenerador	
Potencia Nominal	120/150 MVA	42x3,4 MVA	
Relación de Transformación	33/220 kV	12/33 kV	
Marca	Por definir	Por definir	
Año de Fabricación	-	-	
DATOS DE CONTRATO			
		HITOS	
Tipo de Contrato	Suministro RER (4ta Subasta)	Cierre Financiero	15.12.2015 (si)
Firma de Contrato	17.05.2016	Llegada de Equipos	13.09.2017 (si)
Energía Ofertada	573,00 GWh/año	Inicio de Obras	16.01.2017 (si)
Precio de la Energía Ofertada	37,83 US\$/MWh	Inicio de Montaje	22.09.2017 (si)
Puesta en Operación Comercial	31.03.2018	POC	31.03.2018



- INFORMACIÓN RELEVANTE**
- La Concesión Definitiva para desarrollar la actividad de generación eléctrica en la futura Central Eólica Nazca de 126 MW, fue otorgada mediante R.M. N° 290-2016-MEM/DM del 18.07.2016.
 - Con R.M. N° 314-2017-MEM/DM del 25.07.2017, se aprobó el cambio de nombre de la Central Eólica Nazca, por Central Eólica Wayra I.
 - El 18.01.2018, el COES aprobó el Estudio de Operatividad del proyecto.
 - El 26.01.2018, el COES autorizó la Conexión para las Pruebas de Puesta en Servicio de la Central.
 - El 04.02.2018, se energizó por primera vez la L.T. 220 kV Poroma-Flamenco por pruebas.
 - El 06.02.2018, se sincronizó por primera vez la C.E. Wayra I con el SEIN, como parte de sus pruebas de operación con una generación de 8 MW.
 - La C.E. Wayra I, actualmente viene inyectando energía al SIEN.
 - Actualmente se realizan pruebas de carga a los circuitos del 1 al 7.
 - El avance físico global es de 97%.
 - La POC estaba prevista para el 31.03.2018. La concesionaria solicitó ampliación de plazo para la POC hasta el 30.05.2018, la cual está pendiente de definición por el MINEM.
 - El monto de inversión aproximado será de 165,8 MM US\$, según lo indicado por la Concesionaria.
 - La ruta crítica del proyecto estuvo en el montaje de los componentes de los aerogeneradores, debido a las condiciones especiales del viento, necesarios para el montaje de los nacelles, aspas y torres. Fuertes vientos en la zona de trabajo motivaron atrasos en el montaje de aerogeneradores, motivo por el cual la Concesionaria solicitó al MINEM la ampliación de plazo de la POC.



A.3) Central Majes Solar 20T

(20 MW).



CENTRAL MAJES SOLAR 20T (OPERANDO)

DENOMINACIÓN	CENTRAL MAJES SOLAR 20T
EMPRESA CONCESIONARIA	GRUPO T SOLAR GLOBAL S.A.
TECNOLOGÍA	Solar Fotovoltaica – Módulos Fijos
UBICACIÓN Departamento Provincia Distrito Altitud	Arequipa Caylloma Majes 1 680 msnm
DATOS TÉCNICOS Potencia Instalada Punto de Oferta Cantidad de Módulos Fotovoltaicos Cantidad de Centros de Transformación Nivel de Tensión de Transformadores Secos Cantidad de Inversores Tensión de Entrada a Inversores (1 ϕ) Tensión de Salida de Inversores (3 ϕ) Factor de Planta	20 MW Barra de Repartición 138 kV 55 704 (Módulos de 350, 370, 390 y 410 W) 16 (1 250 kW c/u) 0,3/23 kV (1,4 MVA) 32 (625 kW c/u) 0,5 - 0,825 kV– DC (Corriente Continua) 0,3 kV– AC (Corriente Alterna) 21,5%
DATOS DE CONTRATO Firma de Contrato Puesta en Operación Comercial (POC) Energía Anual Ofertada Precio de la Energía Ofertado	31.03.2010 31.10.2012 37 630 MWh 22,25 Ctsv US\$/kWh



Piano de Ubicación



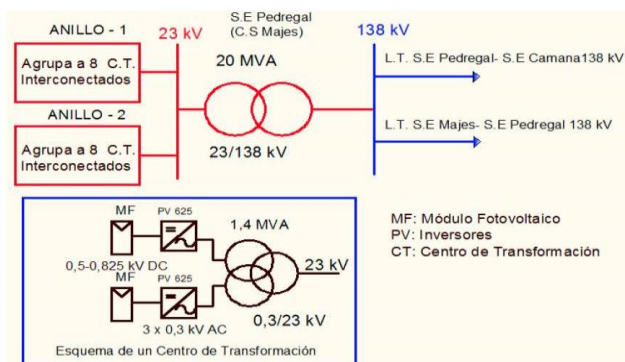
Disposición Final de Módulos Fotovoltaicos



Centro de Transformación de Corriente Continua a Corriente Alterna

- INFORMACIÓN RELEVANTE**
- La central está constituida por 55 704 módulos fotovoltaicos de capa fina con potencias de 350, 370, 390 y 410W, todos ellos orientados hacia el Norte y con una inclinación de 15° sobre la horizontal.
 - La central consta de 16 Centros de Transformación (C.T.) de 1,25 MW c/u; cada C.T. está equipada con 2 Inversores de 625 kW c/u. Existen 2 Anillos en 23 kV (Anillos 1 y 2, cada Anillo agrupa 8 C.T.). Desde c/u de los 2 Anillos se alimenta al Transformador de interconexión al SEIN de 20 MVA (23/138 kV).
 - La radiación solar máxima en la zona del proyecto, esto es, en las Pampas de Majes es de 724 W/m².
 - Mediante R.M. N° 244-2011-MEM/DM del 23.05.2011 se otorgó la Concesión Definitiva de Generación, a favor de GTS Majes S.A.C.
 - Con R.S. N° 020-2012-EM del 02.02.2012 se otorgó la Concesión Definitiva de Transmisión, a favor de GTS Majes S.A.C.
 - La S.E. Majes Solar (S.E. Pedregal) alimenta a la Barra Principal de 138 kV. A dicha Barra llega la L.T. 138 kV S.E. Majes (SEIN) - S.E. Majes Solar; y de dicha Barra parte la L.T. 138 kV S.E. Majes Solar (138 kV) - S.E. Camaná (SEIN).
 - Mediante R.M. N° 227-2012-MEM/DM se aprobó la modificación de la Puesta en Operación Comercial del 30.06.12 al 31.10.2012.
 - La Puesta en operación Comercial se dio el 31.10.2012.
 - La C.S. Majes actualmente está entregando al Sistema Interconectado Nacional una potencia de 20 MW (al medio día).
 - El periodo de generación diario es de 06:30 a 17:30 horas aproximadamente.
 - Monto de Inversión: 73,6 MM US\$

ESQUEMA UNIFILAR DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN



Transformador de Potencia 20 MVA, 23/138 kV (S.E. Central Majes Solar (S.E. Pedregal))



A.4) Central Panamericana Solar

(20 MW).



CENTRAL PANAMERICANA SOLAR (OPERANDO)

DENOMINACIÓN	PANAMERICANA SOLAR
EMPRESA CONCESIONARIA	PANAMERICANA SOLAR S.A.C.
TECNOLOGÍA	Solar Fotovoltaica – Módulos Móviles
UBICACIÓN Departamento Provincia Distrito Altitud	Moquegua Mariscal Nieto Moquegua 1 410 msnm
DATOS TÉCNICOS Potencia Instalada Punto de Oferta Cantidad de Módulos Fotovoltaicos Cantidad de Seguidores Solares Cantidad de Centros de Transformación (C.T.) Nivel de Tensión de Transformadores de C.T. Cantidad de Inversores Tensión de Entrada a Inversores (1ø) Tensión de Salida de Inversores (3ø) Factor de Planta	20 MW Barra Ilo ELP 138 kV 72 000 (290 W pico c/u) 174 16 (1,25 MW c/u) 0,3/23 kV 32 (625 kW c/u) 0,5 - 0,825 kV – DC (Corriente Continua) 0,3 kV – AC (Corriente Alterna) 28,9%
DATOS DE CONTRATO Firma de Contrato Puesta en Operación Comercial (POC) Energía Anual Ofertada Precio de la Energía Ofertado	31.03.2010 31.12.2012 50 676 MWh 21,5 Cts. US\$/kWh
INFORMACIÓN RELEVANTE	<ul style="list-style-type: none"> La central se ubicada en el km 1.190 de la Panamericana Sur en los distritos El Algarrobal y Moquegua. La Central utiliza el potencial lumínico del sol para generar electricidad limpia y renovable (Los módulos fotovoltaicos capturan la potencia del sol y la trasforma en electricidad). La central está constituida por 72 000 Módulos Fotovoltaicos de 290 W pico c/u, todos ellos de estructura metálica en acero galvanizado. La estructura está anclada sobre pilotes circulares de hormigón. La central está equipada con 174 sistemas de seguimiento solar. La central consta de 16 Centros de Transformación (C.T.) de 1,25 MW c/u; cada C.T. está equipada con 2 Inversores de 625 kW c/u. Existen 4 Anillos en 23 kV (cada Anillo agrupa 4 C.T.); desde c/u de los 4 Anillos se alimenta al Transformador de 20 MVA (23/138 kV). La Concesión Definitiva de Generación se otorgó mediante Resolución Ministerial N° 272-2011-MEM/DM del 22.06.2011. El 08.07.2012 el MINEM mediante R.S. N° 075-2012-EM otorgó la Concesión Definitiva de Transmisión para la L.T. 138 kV Planta de Generación Solar Panamericana Solar 20TS – Derivación L.T. CT Ilo – S.E. Toquepala. La fecha de Puesta en Operación Comercial se modificó del 30.06.2012 al 31.12.2012. La Puesta en operación Comercial se dio el 31.12.2012. La central actualmente está entregando al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional una potencia de 16 MW. El periodo de generación diario es de 06:00 a 17:30 horas aproximadamente. Montó de Inversión: 94,588 MM US\$
<p align="center">ESQUEMA UNIFILAR DE LA CENTRAL PANAMERICANA SOLAR</p> <p align="center">ANILLO - 1</p> <p>Existen 3 Anillos idénticos al Anillo - 1</p> <p align="right">S.E PANAMERICANA SOLAR (C.S Toquepala) 138 kV L.T. S.E Toquepala-S.E. ILO 138 kV</p> <p align="center">Esquema de un Centro de Transformación</p> <p align="right">MF: Módulo Fotovoltaico PV: Inversores CT: Centro de Transformación</p>	



Plano de Ubicación



Instalación de Módulos Fotovoltaicos



Instalación de Seguidor Solar



S.E. Central Panamericana Solar (23/138 kV)

A.5) Central Solar Repartición 20T

(20 MW).



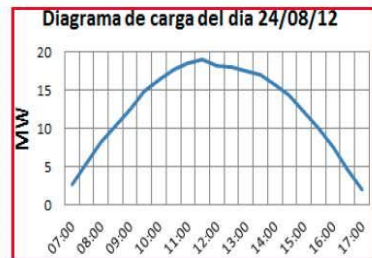
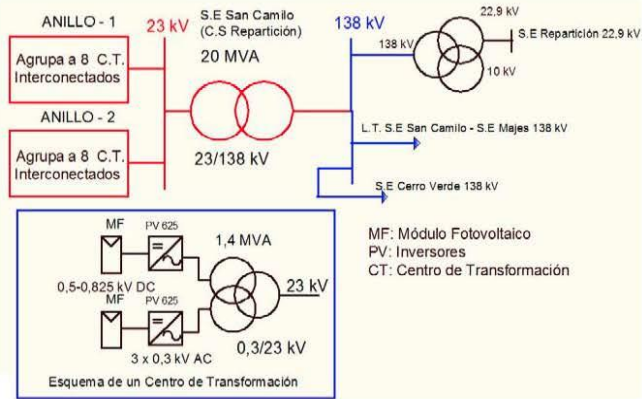
CENTRAL SOLAR REPARTICIÓN 20T (OPERANDO)

DENOMINACIÓN	CENTRAL SOLAR REPARTICIÓN 20T
EMPRESA CONCESIONARIA	GRUPO T SOLAR GLOBAL S.A.
TECNOLOGÍA	Solar Fotovoltaica – Módulos Fijos
UBICACIÓN Departamento Provincia Distrito Altitud	Arequipa Caylloma La Joya 1 187 msnm
DATOS TÉCNICOS Potencia Instalada Punto de Oferta Cantidad de Módulos Fotovoltaicos Cantidad de Centros de Transformación Nivel de Tensión de Transformadores Secos Cantidad de Inversores Tensión de Entrada a Inversores (1Ø) Tensión de Salida de Inversores (3Ø) Factor de Planta	20 MW Barra de Repartición 138 kV 55 704 (Módulos de 350, 370, 390 y 410 W) 16 (1 250 kW c/u) 0,3/23 kV-1.4 MVA 32 (625 kW c/u) 0,5 - 0,825 kV – DC (Corriente Continua) 0,3 kV – AC (Corriente Alterna) 21,4%
DATOS DE CONTRATO Firma de Contrato Puesta en Operación Comercial (POC) Energía Anual Ofertada Precio de la Energía Ofertado	31.03. 2010 31.10.2012 37 440 MWh 22,3 Cvs. US\$/kWh

INFORMACIÓN RELEVANTE

- La central está constituida por 55 704 módulos fotovoltaicos de capa fina con potencias de 350, 370, 390 y 410 W, todos ellos orientados hacia el Norte y con una inclinación de 15° sobre la horizontal.
- La central consta de 16 Centros de Transformación (C.T.) de 1,25 MW c/u; cada C.T. está equipada con 2 Inversores de 625 kW c/u. Existen 2 Anillos en 23 kV (Anillos 1 y 2, cada Anillo agrupa 8 C.T.) Desde c/u de los 2 Anillos se alimenta al Transformador de 20 MVA (23/138 kV).
- La radiación solar máxima en la zona del proyecto, esto es, en la localidad de San José es de 724 Wh/m².
- Mediante R.M. Nº 243-2011-MEM/DM del 23.05.2011 se otorgó la Concesión Definitiva de Generación.
- Con R.S. Nº 035-2012-EM del 23.02.2012 se otorgó la Concesión Definitiva de Transmisión, ambas a favor de GTS Majes S.A.C.
- Mediante R.M. Nº 228-2012-MEM/DM se aprobó la modificación de la Puesta en Operación Comercial del 30.06.12 al 31.10.2012.
- La Puesta en operación Comercial se dio el 31.10.2012.
- La central actualmente está entregando al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional una potencia de 20 MW (al medio día).
- El periodo de generación diario es de 06:30 a 17:30 horas aproximadamente.
- Monto de Inversión: 73,5 MM US\$

ESQUEMA UNIFILAR DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN



A.6) Central Tacna Solar

(20 MW).



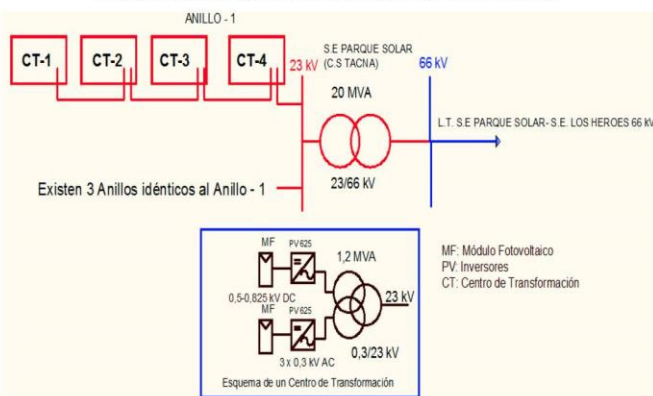
CENTRAL TACNA SOLAR (OPERANDO)

DENOMINACIÓN	CENTRAL TACNA SOLAR
EMPRESA CONCESIONARIA	TACNA SOLAR S.A.C.
TECNOLOGÍA	Solar Fotovoltaica – Módulos Móviles
UBICACIÓN Departamento Provincia Distrito Altitud	Tacna Tacna Tacna 560 msnm
DATOS TÉCNICOS Potencia Instalada Punto de Oferta Cantidad de Módulos Fotovoltaicos Cantidad de Seguidores Solares Cantidad de Centros de Transformación (C.T.) Nivel de Tensión de Transformadores de C.T. Cantidad de Inversores Tensión de Entrada a Inversores (1ϕ) Tensión de Salida de Inversores (3ϕ) Factor de Planta	20 MW Barra Los Héroes 66 kV 74 988 (290 W pico c/u) 182 16 (1,25 MW c/u) 0,3/23 kV (1,25 MVA) 32 (625 kW c/u) 0,5 - 0,825 kV – DC (Corriente Continua) 0,3 kV – AC (Corriente Alterna) 26,9%
DATOS DE CONTRATO Firma de Contrato Puesta en Operación (POC) Energía Anual Ofertada Precio de la Energía Ofertado	31.03. 2010 31.10.2012 47 196 MWh 22,5 Cts. US\$/kWh

INFORMACIÓN RELEVANTE

- La central está constituida por 74 988 Módulos Fotovoltaicos de 290 W pico c/u, todos ellos de estructura metálica en acero galvanizado. La estructura está anclada sobre pilotes circulares de hormigón. La Central está equipada con 182 sistemas de seguimiento solar.
- La central consta de 16 Centros de Transformación (C.T.) de 1,25 MW c/u; cada C.T. está equipada con 2 Inversores de 625 kW c/u. Existen 4 Anillos en 23 kV (cada Anillo agrupa 4 C.T.). Desde c/u de los 4 Anillos se alimenta al Transformador de 20 MVA (23/66 kV).
- La línea de transmisión 66 kV (5,4 km) conecta la C.S. Tacna (S.E. Parque Solar) con la S.E. Los Héroes del SEIN.
- Mediante R.M. N° 299-2011-MEM/DM del 04.07.2011 se otorgó la Concesión Definitiva de Generación.
- Con R.S. N° 025-2012-EM del 08.02.2012 se otorgó Concesión Definitiva para desarrollar la actividad de transmisión eléctrica a favor de GTS Tacna Solar S.A.C.
- Mediante R.M. N° 231-2011-MEM/DM del 11.05.2011, se autorizó la modificación de Contrato, estableciendo como nueva fecha para la Puesta en Operación Comercial para el 31.10.2012.
- La Puesta en Operación Comercial se dio el 31.10.2012.
- La C.S. Tacna actualmente está entregando al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional una potencia de 16 MW.
- El periodo de generación diario es de 06:00 a 17:30 horas aproximadamente.
- Monto de Inversión: 94,6 MM US\$

ESQUEMA UNIFILAR DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN



Plano de Ubicación



Módulos Solares Instalados



Seguidor Solar



Transformador de Potencia de 20 MW – 23 / 66 kV (S.E. C.S Tacna)

B) DATOS TÉCNICOS DE COMPONENTES DE SFCR – CETIC - UNI.

B.1) Módulo Fotovoltaico SW215.

B.2) Inversor Steca Grid 3000.

B.3) Emisor – Receptor Inalámbrico ATC – 871.

B.4) Contador y Analizador de Energía.

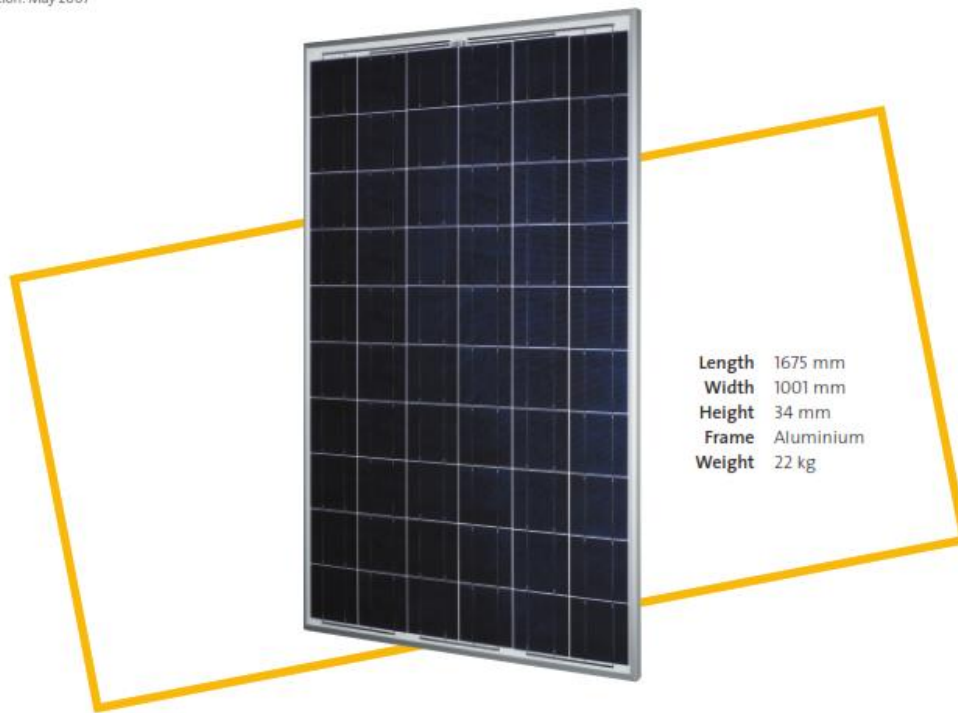
B.5) Módulo Maestro y Registro de Datos.

B.6) Unidad de Medición de String.

B.7) Unidad de Variables Ambientales.

B.1) Módulo Fotovoltaico SW215.

Edition: May 2007



Sunmodule⁺

SW 200/205/210/215/220/225 poly

The Sunmodule Plus heralds an innovative new module concept from SolarWorld. The Plus-sort (based on a SolarWorld flash report) and five watt model stepping ensures true, highest system efficiency and dispenses with the time-consuming task of sorting the modules on site. The fully automated production process at the SolarWorld factories creates a module quality that is consistently high, which in turn will ensure high yields for the long term.

The glass is set deep into the module frame and they are firmly attached to each other by silicone that is applied with continuous precision. This guarantees exceptional rigidity for the entire module and stops any possible loosening of the frame as a result of strong outward forces in cases such as sliding of heavy snow. Tests carried out in accordance with IEC 61215, applying loads up to 5.4 kN/m², confirm that the module can withstand high loads such as heavy accumulations of snow and ice.

The patented, flat and compact junction box provides perfect protection against corrosion, as well as a capacity to rapidly dissipate any excess heat providing lower operating temperature. The junction box is reliably connected by a solid, welded bond to guarantee lasting functionality. In addition, high-quality, robust cables with factory-equipped connectors are used. The ability to recycle the modules and a 25-year performance warranty are the finishing touches to this top-quality product.



SolarWorld. And EveryDay is a SunDay.

www.solarworld.de

SW 200/205/210/215/220/225 poly

Performance under standard test conditions

		SW 200	SW 205	SW 210	SW 215	SW 220	SW 225
Maximum power	P_{max}	200 Wp	205 Wp	210 Wp	215 Wp	220 Wp	225 Wp
Open circuit voltage	V_{oc}	36.1 V	36.2 V	36.4 V	36.5 V	36.6 V	36.8 V
Maximum power point voltage	V_{mpp}	28.3 V	28.5 V	28.7 V	28.9 V	29.2 V	29.5 V
Short circuit current	I_{sc}	7.70 A	7.80 A	7.90 A	8.00 A	8.08 A	8.17 A
Maximum power point current	I_{mpp}	7.07 A	7.20 A	7.32 A	7.44 A	7.54 A	7.63 A

Performance at 800 W/m², NOCT, AM 1.5

		SW 200	SW 205	SW 210	SW 215	SW 220	SW 225
Maximum power	P_{max}	143.0 Wp	146.6 Wp	150.1 Wp	153.7 Wp	157.3 Wp	160.9 Wp
Open circuit voltage	V_{oc}	32.7 V	32.8 V	32.9 V	33.0 V	33.1 V	33.3 V
Maximum power point voltage	V_{mpp}	25.4 V	25.5 V	25.7 V	25.9 V	26.2 V	26.5 V
Short circuit current	I_{sc}	6.36 A	6.45 A	6.53 A	6.61 A	6.68 A	6.75 A
Maximum power point current	I_{mpp}	5.64 A	5.74 A	5.84 A	5.94 A	6.01 A	6.08 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200 W/m², 95% (+/- 3%) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.

Component materials

Cells per module	60
Cell type	polycrystalline silicon
Cell dimensions	156 x 156 mm ²

System integration parameters

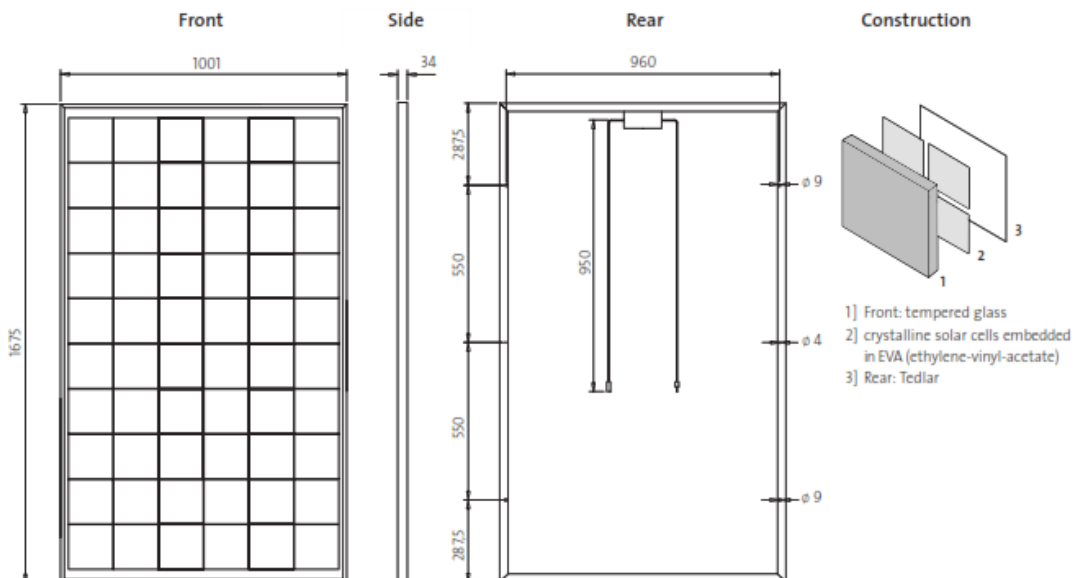
Maximum system voltage SC II	1,000 V _{DC}
Maximum reverse current	Do not apply external voltages larger than V _{oc} to the module

Thermal characteristics

NOCT	46°C
TC I _{sc}	0.034 %/K
TC V _{oc}	-0.34 %/K

Additional data

Power tolerance	+/- 3%
Junction box	IP 65
Connector	MC type 4



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

B.2) Inversor Steca Grid 3000.

	StecaGrid 3000	StecaGrid 3600	StecaGrid 4200
Máxima potencia de entrada con la máxima potencia activa de salida	3060 W	3690 W	4310 W
Potencia de entrada nominal (cos $\varphi = 1$)	3060 W	3690 W (Portugal: 3450 W)	4310 W (Portugal: 3680 W)
Potencia FV máxima recomendada	3800 Wp	4500 Wp	5200 Wp
Reducción / limitación de potencia	automáticamente cuando: <ul style="list-style-type: none"> ■ potencia de entrada disponible > potencia FV máx. recomendada ■ refrigeración insuficiente ■ corriente de entrada demasiado alta ■ corriente de red demasiado alta ■ reducción de potencia interna o externa ■ frecuencia de red demasiado alta (según el ajuste de país) ■ señal de limitación en interfaz externa ■ potencia de salida limitada (ajustada en el inversor) 		
Lado de salida CA (conexión de red)			
Tensión de salida	185 V ... 276 V (en función del ajuste de país)		
Tensión nominal de salida	230 V		
Corriente máxima de salida	16 A		18,5 A
Corriente de salida nominal	13 A	15,6 A	18,3 A
Potencia máxima activa (cos $\varphi = 1$)	3000 W	3600 W (Bélgica: 3330 W)	4200 W (Bélgica: 3330 W)
Potencia máxima activa (cos $\varphi = 0,95$)	3000 W	3530 W	3990 W
Energía aparente máxima (cos $\varphi = 0,95$)	3130 VA	3680 VA	4200 VA
Potencia nominal	3000 W	3600 W (Portugal: 3450 W)	4200 W (Portugal: 3680 W)
Frecuencia nominal	50 Hz y 60 Hz		
Tipo de red	L / N / FE (puesta a tierra funcional)		
Frecuencia de red	45 Hz ... 65 Hz (en función del ajuste de país)		
Pérdida de potencia en funcionamiento nocturno	< 0,7 W		
Fases de inyección	monofásica		
Coeficiente de distorsión (cos $\varphi = 1$)	< 2 %		
Factor de potencia cos φ	0,95 capacitivo... 0,95 inductivo		

	StecaGrid 3000	StecaGrid 3600	StecaGrid 4200
Características del funcionamiento			
Coeficiente de rendimiento máximo	98,6 %		
Coeficiente de rendimiento europeo	98,3 %	98,3 %	98,2 %
Coeficiente de rendimiento CEC	98,4 %	98,3 %	98,2 %
Coeficiente de rendimiento MPP	> 99,7 % (estático), > 99 % (dinámico)		
Desarrollo del coeficiente de rendimiento (al 5 %, 10 %, 20 %, 25 %, 30 %, 50 %, 75 %, 100 % de la potencia nominal) con una tensión nominal de	95,4 %, 97,3 %, 98,2 %, 98,4 %, 98,5 %, 98,5 %, 98,3 %, 98,0 %	95,8 %, 97,4 %, 98,2 %, 98,3 %, 98,4 %, 98,4 %, 98,1 %, 97,7 %	96,2 %, 97,6 %, 98,3 %, 98,3 %, 98,3 %, 98,2 %, 97,9 %, 97,4 %
Desarrollo del coeficiente de rendimiento (al 5 %, 10 %, 20 %, 25 %, 30 %, 50 %, 75 %, 100 % de la potencia nominal) con una tensión MPP mínima de	95,7 %, 97,5 %, 98,4 %, 98,5 %, 98,6 %, 98,6 %, 98,4 %, 98,1 %	96,3 %, 97,7 %, 98,5 %, 98,6 %, 98,6 %, 98,5 %, 98,3 %, 97,9 %	96,7 %, 98,0 %, 98,5 %, 98,6 %, 98,6 %, 98,4 %, 98,1 %, 97,6 %
Desarrollo del coeficiente de rendimiento (al 5 %, 10 %, 20 %, 25 %, 30 %, 50 %, 75 %, 100 % de la potencia nominal) con una tensión MPP máxima de	94,6 %, 96,7 %, 97,7 %, 97,9 %, 98,0 %, 98,2 %, 97,9 %, 97,6 %	95,2 %, 97,0 %, 97,8 %, 98,0 %, 98,1 %, 98,0 %, 97,8 %, 97,5 %	95,7 %, 97,0 %, 98,0 %, 98,1 %, 98,2 %, 97,9 %, 97,6 %, 97,2 %
Reducción del coeficiente de rendimiento al aumentarse la temperatura ambiente (si las temperaturas son > 40 °C)	0,005 %/°C		
Modificación del coeficiente de rendimiento si la tensión CC difiere de la tensión nominal CC	0,002 %/V		
Consumo propio	< 4 W		
Reducción de potencia en caso de potencia total	a partir de 50 °C (T _{amb})	a partir de 45 °C (T _{amb})	
Potencia de conexión	10 W		
Potencia de desconexión	5 W		
Potencia en standby	6 W		
Seguridad			
Clase de protección	II		
Principio de separación	sin separación galvánica, sin transformador		
Monitorización de red	sí, integrada		
Control de aislamiento	sí, integrado		

	StecaGrid 3000	StecaGrid 3600	StecaGrid 4200
Control de la corriente residual	sí, integrado ¹⁾		
Versión protección contra sobretensión	varistores		
Protección contra polaridad invertida	sí		
Condiciones de uso			
Lugar de instalación	climatizado en interiores, no climatizado en interiores		
Temperatura ambiental (T _{amb})	-15 °C ... +60 °C		
Temperatura de almacenamiento	-30 °C ... +80 °C		
Humedad relativa	0 % ... 95 %, no se condensa		
Altura de emplazamiento	≤ 2.000 m sobre el nivel del mar		
Grado de suciedad	PD3		
Emisión de ruidos, típicamente	26 dBA	29 dBA	31 dBA
Gases ambientales no permitidos	amoniaco, disolventes		
Accesorios y construcción			
Grado de protección	IP21 (carcasa: IP51, display: IP21)		
Categoría de sobretensión	III (CA), II (CC)		
Conexión CC	MultiContact MC4 (1 par)		
Conexión CA			
Tipo	conector Wieland RST25i3		
Sección de conexión	diámetro de cable 10 ... 14 mm ² , sección de conductor ≤ 4 mm ²		
Contraconector	incluido en el volumen de suministro		
Dimensiones (X x Y x Z)	340 x 608 x 222 mm		
Peso	9 kg		
Pantalla	display gráfico de 128 x 64 píxeles		
Interfaz de comunicación	RS485, 2 conectores RJ45, conexión a StecaGrid Vision, Meteocontrol WEB'log o Solar-Log		
Control de inyección según EEG 2012	EinsMan ready, por interfaz RS485		
Interruptor seccionador integrado	sí, conforme con VDE 0100-712		
Principio de enfriamiento	ventilador controlado por temperatura, con régimen de revoluciones variable, interno (protección contra el polvo)		
	StecaGrid 3000	StecaGrid 3600	StecaGrid 4200
Certificado de conformidad	certificado de conformidad según DIN VDE 0126-1-1, símbolo CE, VDE AR N 4105, G83, UTE C 15-712-1, AS4777, CEI 0-21		
	¹⁾ El inversor no puede generar corriente continua de fuga por razones que se deben a su construcción.		

B.3) Emisor – Receptor Inalámbrico ATC – 871.



RS-232/RS-485/TTL Mini Power Wireless Module

ATC-863/871/873

- #### Product Features
- Ultra low power transmission
 - ISM frequency band, not requiring on application of frequency point
 - High anti-interference and low BER (Bit error Rate)
 - Long transmission distance
 - Transparent data transmission
 - Multi-channel and speed
 - Low power consumption
 - High speed wireless communication and large data buffer
 - Intelligent data control and the user doesn't need to prepare excessive programs
 - High reliability, small and light
 - Watchdog monitor
 - Antenna choose



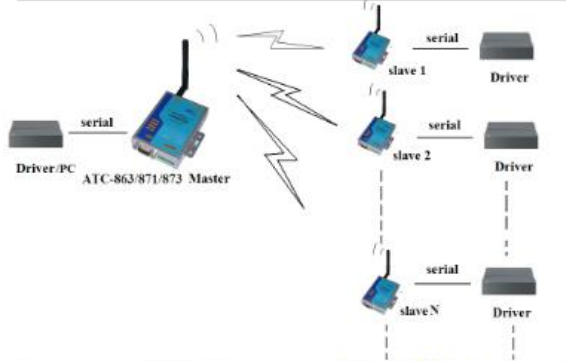
Application

ATC-863/871/873 the Mini Power Wireless Module is used as the wireless data transmission in short distance. With the small size, weight and power consumption and good stability and reliability, it has the function of bi-directional data sign transmission, test and control. It is used for Wireless meter reading, such as water meter, electric meter and gas meter, parking meter, intellectual card, electronic weighing apparatus, meter for checking on work attendance, queue wireless meter, building control, shipping company control, alarm system, intelligent equipment, Automatic data collecting system; Industrial remote control and remote test building automation, safety and security, powerhouse equipment wireless monitor, entrance control system, etc. It provides the USB power interface to be convenient for the mini computer and PC users if necessary.

Product Description

ATC-863/871/873 wireless digital transmission module offers standard RS-232, RS-485 and UART/TTL level interfaces for direct connection with computers, use's RS-485 equipments, SCM or other UART parts.

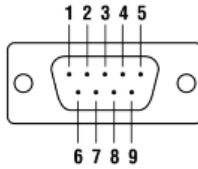
ATC-863/871/873 has adopted half duplex communication channel most suitable for point to multi-point communication mode. The primary station takes full control of communication harmony, and adopts data frames with address codes for data or command transmitting. The secondary station shall fully receive them and select response by comparing address codes; all the work shall be fulfilled by upper layer protocols, which shall ensure that only one wireless module in the communication network is in the transmitting state in any instant to avoid mutual interference. Therefore, the transmission channel built by ATC-863/871/873 is transparent to the user. ATC-863/871/873 can also be applied to point to point communication, making it easier and smoothly upgrade wire (RS232/485/TTL) transmission mode in original system.



www.szatc.com tech@szatc.com

Pin Assignment

RS-232 DB-9(Male)



PIN	RS-232
1/4/6/9	-
2	RXD (in)
3	TXD (out)
5	GND
7	CTS (out)
8	RTS (in)

RS-485/422 6-pin Terminal block

1	2	3	4	5	6
485+ (T+)	485- (T-)	R+	R-	VCC (9~32VDC)	GND

Specifications

Technical Characteristics		
Modulation mode	FSK/GFSK	
Working frequency	433MHz/868MHz/915MHz	
Transmission power	ATC-863/871	100mW
	ATC-873	500mW
Receiving sensitivity	ATC-863	-110dBm
	ATC-871	-121dBm
	ATC-873	-123dBm
Transmitting current	ATC-863/871	<360mA
	ATC-873	<75mA
Receiving current	ATC-863	<11mA
	ATC-871	<30mA
	ATC-873	<45mA
Sleeping current	ATC-863/871	<10uA
	ATC-873	<1mA
Channel speed rate	ATC-863	1200/2400/4800/9600/19200bps
	ATC-871/873	1200/2400/4800/9600/19200/38400bps
Interface speed rate	ATC-863	1200/2400/4800/9600/19200bps
	ATC-871/873	1200/2400/4800/9600/19200/38400bps
Change time for receiving and sending	<10ms	
Interface data format	8E1/8N1/8O1	
Power Supply	9-12V@200mA	
Physical Characteristics		
Installation	DIN-Rail Mounting	
Housing	Iron (1mm)	
Weight	0.6kg	
Dimensions	100 × 86 × 26 mm(3.94 × 3.39 × 1.02 in)	
Environmental Limits		
Operating Temperature	-20 ~ 70°C (-4 ~ 158°F)	

www.szatc.com tech@szatc.com

Storage Temperature	-40 ~ 85°C (-40 ~ 176°F)
Ambient Relative Humidity	5% to 95%(non-condensing)
Standards and Certifications	
RoHS, CE, FCC	

Order Information

Model No	Description	Serial Type	Frequency	Distance
ATC-863	Mini Power Wireless Module	RS-232/485/TTL	433/868/915MHz	300meter
ATC-871	Mini Power Wireless Module	RS-232/485/TTL	433/868/915MHz	500meter
ATC-873	Mini Power Wireless Module	RS-232/485/TTL	433/868/915MHz	1000meter
ATC-875	Mini Power Wireless Module	RS-232/485/TTL	433/868/915MHz	2000meter

Contact us

Shenzhen ATC Technology Co., Ltd
Room 803, Block B, Building 4, Tian'an Cyber Park, Longgang District, Shenzhen, China, 518172
Tel: +86-755 - 8345 2531 / 8345 3318 Fax: +86-755-2899 8985

B.4) Contador y Analizador de Energía.

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 dig.
 - Lectura de energías/gas/agua : 8 dig.
 - 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 dig.)
 - 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



Especificaciones de Entrada

Entradas de medida	Tipo de sistema: trifásico Aislamiento galvánico mediante CT incorporado (modelos AV5 y AV6) Por conexión directa (AV2 y AV9)		Tarifa: 6+1 o 7 dig. (con signo "-"). Indicación EEEE cuando el valor medido excede la "Sobrecarga de entrada continua" (capacidad máxima de medida)
Tipo de entr. de intensidad		Indicación de sobrecarga	
Escala de intens. (mediante CT)	AV5 y AV6: 1/5(10)A	Indicación de máx. y mín.	Máx. variables instantáneas: 9999; energías: 99 999 999. Mín. variables instantáneas: 0,000; energías 0,00.
Escala de intens. (conex. directa)	AV2: 10(65)A; AV9: 10(65)A		
Tensión	AV5: 400VLL; AV2: 230/400 VLL AV9: 400 VLL CA AV6: 120VLLN/208VLL		
Tensión mediante VT/PT			
Precisión (display + RS485) (a 25°C ±5°C, H. R. 60%, 50±5Hz/60±5Hz)	Ib: ver abajo, Vn: ver abajo	LEDs	LED rojo (consumo de energía) según norma EN50470-1, EN62052-11, 0.001 kWh/kvarh por pulso si la relación del trafo de intensidad CT x la relación del trafo de tensión VT es ≤7; 0.01 kWh/kvarh por pulso si la relación del trafo de intensidad CT x la relación del trafo de tensión VT es > 7.1 ≤ 70.0; 0.1 kWh/kvarh por pulso si la relación del trafo de intensidad CT x la relación del trafo de tensión VT es > 70.1 ≤ 700.0; 1 kWh/kvarh por pulso si la relación del trafo de intensidad CT x la relación del trafo de tensión VT es > 700.1; 0.001kWh/kvarh por pulso 16Hz
Modelo AV5	In: 5A, Imax: 10A; Vn: 160 a 480VLLN (277 a 830VLL)	Modelos AV5, AV6	
Modelo AV6	In: 5A, Imax: 10A; Vn: 40 a 144VLLN (70 a 250VLL)		
Modelo AV2	Ib: 10A, Imax: 65A, Vn: 113 a 265VLLN (196 a 460VLL)		
Modelo AV9	Ib: 10A, Imax: 64A; Vn: 184 a 276VLLN (318 a 480VLL)		
Intensidad			
Modelos AV5, AV6	De 0,002In a 0,2In: ±(0,5% lec. +3 dig.) De 0,2In a Imax: ±(0,5% lec. +1 dig.) De 0,004Ib a 0,2Ib: ±(0,5% lec. +3 dig.) De 0,2Ib a Imax: ±(0,5% lec. +1 dig.)	Modelos AV2, AV9	
Modelos AV2, AV9	En la escala Vn: ±(0,5% lec. +1 dig.) En la escala Vn: ±(1% lec. +1 dig.) ±0,1Hz (50±5Hz/60±5Hz) ±(1% lec. +2 dig.) ±[0,001+1% (1,000 - "lec. PF")] ±(2% lec. +2 dig.)	Frecuencia máxima	
Tensión fase-neutro	En la escala Vn: ±(0,5% lec. +1 dig.)	Medidas	Ver "Lista de las variables que pueden ser conectadas para": Medida TRMS de tensión/intensidad de una onda distorsionada.
Tensión fase-fase	En la escala Vn: ±(1% lec. +1 dig.)	Método	Medida TRMS de tensión/intensidad de una onda distorsionada.
Frecuencia	±0,1Hz (50±5Hz/60±5Hz)	Tipo de conexión	Directa para los modelos AV2 y AV9. Mediante CT externo para los modelos AV5 y AV6
Potencia activa y aparente	±(1% lec. +2 dig.)		
Factor de potencia (PF)	±[0,001+1% (1,000 - "lec. PF")] ±(2% lec. +2 dig.)	Factor de cresta	Ib 10A 4 (pico máx. 91A) In 5A 3 (pico máx. 15A)
Potencia reactiva	Clase 1 según norma EN62053-21, Clase B según norma EN50470-3	Protec. contra sobrecargas intensidad	
Energía activa	Clase 2 según norma EN62053-23	Continua	1/5(10) A: 10A, a 50Hz 10(65) A: 65A, a 50Hz
	In: 5A, Imax: 10A; 0,1 In: 0,5A, Intensidad de arranque: 10mA	Durante 500ms	1/5(10) A: 200A, a 50Hz
	Ib: 10A, Imax: 65A; 0,1 Ib: 1.0A Intensidad de arranque: 40mA	Durante 10ms	10(65) A: 1920A máx, a 50Hz
		Protec. contra sobrecargas de tensión	
Errores adicionales de energía	Según norma EN62053-21, EN50470-3, EN62053-23	Continua	1,2 Vn
Deriva térmica	≤200ppm/°C	Durante 500ms	2 Vn
Frecuencia de muestreo	1600 lecturas/s a 50Hz 1900 lecturas/s a 60Hz	Impedancia de entrada	
Tiempo de refresco del display	750 ms	208VLL-L (AV6)	>1600KΩ
Display	3 líneas (1 x 8 dig.; 2 x 4 dig.) LCD, alt. 7mm	230/400VLL-L (AV2)	Ver "Consumo de potencia"
Tipo	4 dig.	400VLL-L (AV5)	>1600KΩ
Lectura de variables instantáneas	Totales consumida: 6+2, 7+1 u 8 dígitos	400VLL-L (AV9)	Ver "Consumo de potencia"
Energías	Totales/Parciales generada/	1/5(10) A (AV5-AV6)	< 0,3VA
		10(65) A (AV2-AV9)	< 4VA
		Frecuencia	50±5Hz/60±5Hz
		Joystick	Para la selección de las variables y programación de los parámetros operativos del instrumento

Especificaciones de Salida

Salidas digitales Salidas de pulso Numero de salidas Tipo Duración del pulso Salidas de alarma Numero de salidas Modos de alarma Ajuste del punto de consigna Histéresis Retardo a la conexión Estado de salida Tiempo mín. de respuesta Nota	Hasta 2, independientes Programables, de 0.001 a 10.00 kWh/kvarh por pulso. Salidas conectables a los contadores de energía (kWh/kvarh) $T_{OFF} \geq 120ms$, según norma EN62053-31 T_{ON} seleccionable (30 ms o 100 ms), según EN62053-31 Hasta 2, independientes Alarma de máx., alarma de mín. (ver la tabla: "Lista de las variables que pueden ser conectadas para") De 0 a 100% de la escala del display De 0 a la escala completa De 0 a 255s Seleccionable; normalmente desactivada o norm. activada ≤ 700 ms, filtro excluido. Retardo de activ. alarma: "0s" Las 2 salidas de pulsos pueden funcionar también como dos salidas de pulsos, como dos salidas de alarma y como una salida de pulsos y una salida de alarma	RS485 Tipo Conexiones Direcciones Protocolo Datos (bidireccionales) Dinámicos (sólo lectura) Estáticos (lectura y escritura) Formato de datos Velocidad en baudios Impedancia de entrada del driver Aislamiento M-bus Tipo Conexiones Direcciones Dirección del primario Dirección del secundario Protocolo Datos disponibles y formato de trama Velocidad en baudios Selección de la velocidad en baudios Capacidad de entrada del driver Funciones especiales Aislamiento Nota (para puertos RS485 y M-bus)	Multiterminal, bidireccional (variables estáticas y dinámicas) 2 hilos Distancia máx. 1000m 247, seleccionables a través del joystick frontal MODBUS/JBUS (RTU) Variables del sistema y de cada fase: ver tabla "Lista de variables..." Todos los parámetros de configuración. 1 bit de arranque, 8 bit de datos, sin paridad, 1 bit de parada 4800, 9600 bits/s Carga unitaria, 1/5 Máximo: 160 transceptores en el mismo bus. Mediante optoacopladores, 4000 VRMS entre salida y entrada de medida, 4000 VRMS entre salida y entrada de alimentación One-drop, direccional 2 hilos, máx. distancia según EN13757-1 247, seleccionables a través del joystick frontal y de M-bus (por defecto 0). Predefinida, se configura durante la fabricación M-bus según EN13757-1 Ver tabla "Variables disponibles de M-bus y formato de trama" 300, 2400 (por defecto) y 9600 bits/s Configurar durante la programación o directamente mediante M-bus master Carga unitaria 1 Ninguna Por optoacopladores, 4000 VRMS entre salida y entrada de medida Los medidores provistos de puerto de comunicación (modelo "AV9" con las opciones "M1" e "IS") podrán funcionar aunque se interrumpa VL3 (deberán estar disponibles VL1, VL2 y VN) (ver la tabla "notas de modo de operación")
Salida estática Utilizada para: Señal Aislamiento	Salida de pulsos o salida de alarma V_{ON} 1,2 VCC/ máx. 100 mA V_{OFF} 30 VCC máx. Mediante optoacopladores, 4000 VRMS entre salida y entrada de medida, 4000 VRMS entre salida y entrada de alimentación		
Salida de relé Utilizada para: Tipo Aislamiento Nota	Salida de alarma o salida de pulsos Relé, tipo SPST CA 1-5A a 250VCA CC 12-5A a 24VCC CA 15-1,5A a 250VCA CC 13-1,5A a 24VCC 4000 VRMS entre salida y entrada de medida, 4000 VRMS entre salida y entrada de alimentación Los medidores provistos de salidas de relé (Modelo "AV9" con la opción "R2") funcionarán aunque se interrumpa VL3 (deberán estar disponibles VL1, VL2 y VN) (ver la tabla "notas de modo de operación")		

B.5) Módulo Maestro y Registro de Datos.

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



- 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

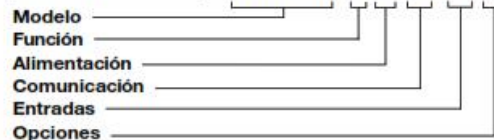
Descripción del producto

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 proporcionar

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 a carril DIN, grado de protección IP40 (frontal).

Código

VMU-M 4 A S1 T2 X



Selección del Modelo

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

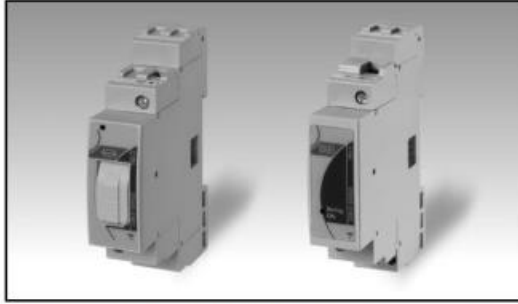
Especificaciones sujetas a cambios sin previo aviso Eos-Array DS ESP 250214

B.6) Unidad de Medición de String.

Eos-Array



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), ±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

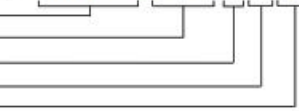
Unidad de medición de variables con portafusible de protección incorporado (el fusible no se incluye) adecuada para la medición de intensidad CC, tensión, potencia y energía en aplicaciones solares fotovoltaicas. Las entradas/salidas de intensidad y las entradas de tensión facilitan las conexiones de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

Modelo
Escala
Alimentación
Comunicación
Opción



Selección del Modelo

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

(*) estándar.

(**) opcional

B.7) Unidad de Variables Ambientales.

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

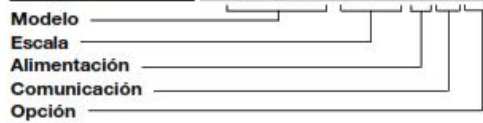
Descripción del producto

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

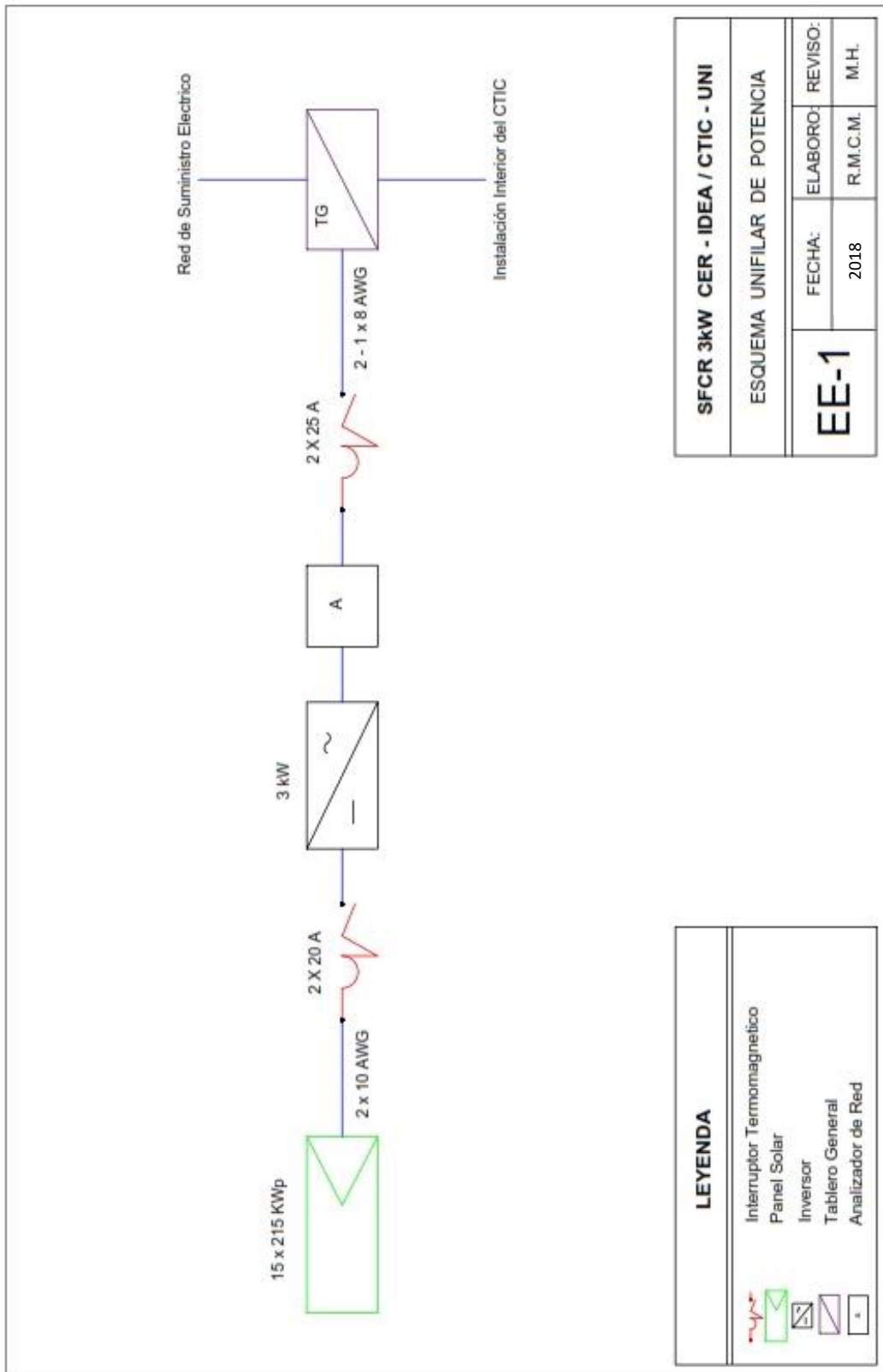
(*) estándar.

C) ESQUEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA Y COMUNICACIÓN

C.1) Esquema Unifilar de Potencia

C.2) Esquema Unifilar Instrumentación de Medida

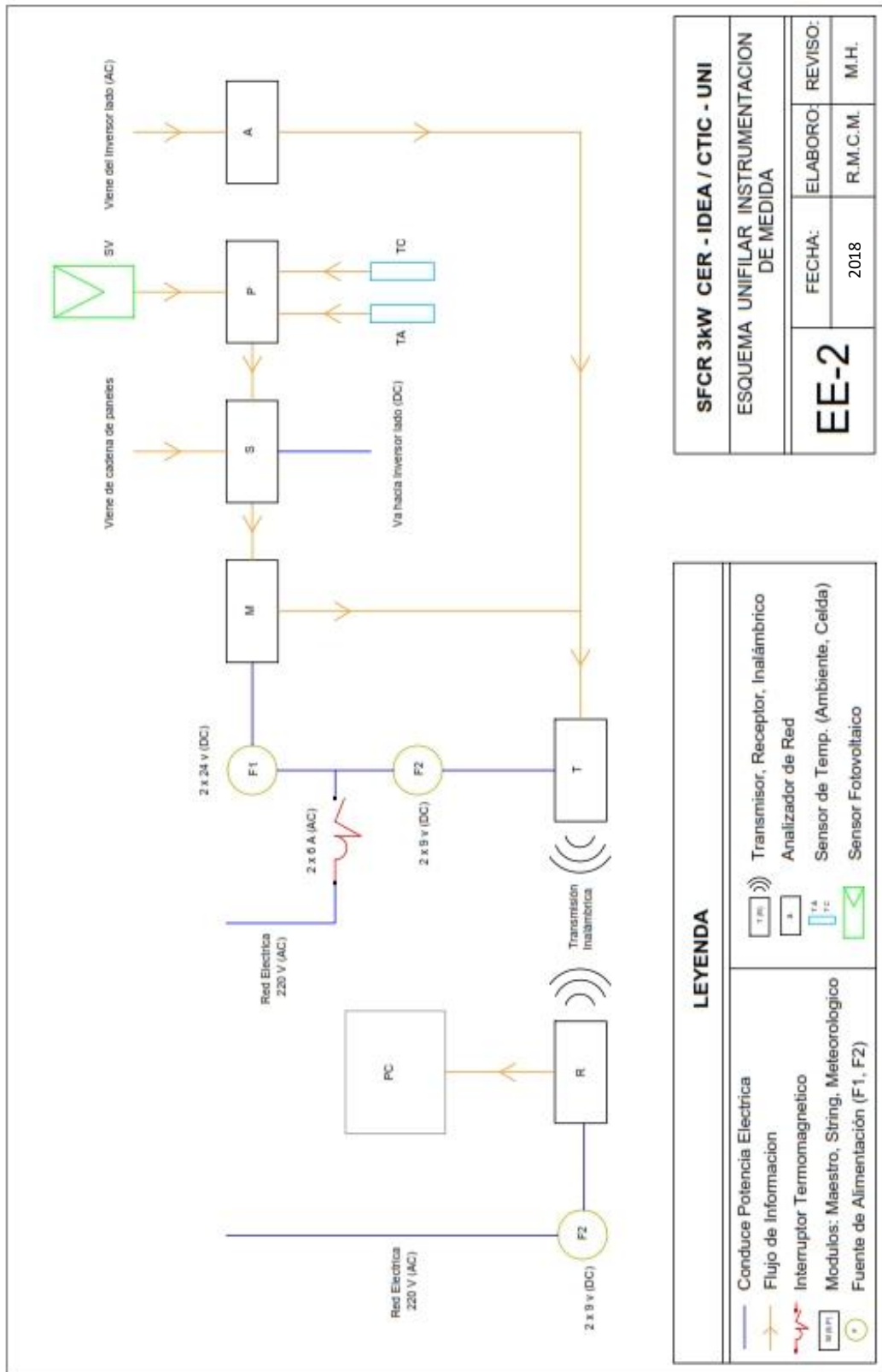
C.1) Esquema Unifilar de Potencia



LEYENDA	
	Interruptor Termomagnético
	Panel Solar
	Inversor
	Tablero General
	Analizador de Red

SFCR 3kW CER - IDEA / CTIC - UNI			
ESQUEMA UNIFILAR DE POTENCIA			
EE-1	FECHA:	2018	REVISO:
			M.H.
	ELABORO:	R.M.C.M.	

C.2) Esquema Unifilar Instrumentación de Medida



D) CÁLCULOS AUXILIARES DE RESULTADOS OBTENIDOS

D.1) Valores Diarios Expresados en Unidades según Base de Datos.

D.2) Valores Diarios Expresados en Unidades convenientes para la Evaluación.

D.1) Valores Diarios Expresados en Unidades según Base de Datos.

Fecha_hora	Tension AC	Corriente A	Potencia ac	Potencia ap	Potencia re	Frecuencia	Factor de pf	Energía tota	Energía par	Tension DC	Corriente D	Potencia DC	Irradiancia	Temp modu	Temp amb
21/03/2017	1322550	17032,16	3813941	3947129	56228,9	345579,2	2181,442	25885055	283712,7	1270149	9627,86	3858779	1483860	20,16664	19,87078
22/03/2017	1321679	15536,14	3457218	3598173	31753,3	345632,1	2019,771	25975754	369961,2	1254377	8758,15	3494077	1356761	21,79346	20,30973
23/03/2017	1319155	15959,95	3563317	3697695	26206,2	345626,7	2031,446	26060181	454341	1273056	9023,14	3601287	1407426	26,18851	21,46735
24/03/2017	1032775	6775,467	1437783	1567343	-32884,5	271341,7	929,778	20528171	226108,5	762195,7	3587,68	1439949	560357	21,0302	20,47274
25/03/2017	1317573	16126,94	3598098	3734468	56101	345639,8	2104,153	26243959	48648,81	1271698	9082,93	3639802	1396269	22,3862	21,10674
26/03/2017	1322470	14245,49	3161925	3308614	47988,8	345639,7	1928,948	26325689	130444,4	1282342	7820,1	3190300	1205230	22,11012	21,20785
27/03/2017	1320370	13813,03	3058856	3194738	43238,2	345561,1	2099,202	26394814	203999,6	1281700	7601,58	3101648	1175952	24,89715	21,79
28/03/2017	1320895	17019,45	3807593	3942241	36356,7	345624,2	2036,134	26481389	286100,7	1269395	9582,26	3854493	1488596	21,21398	20,46877
29/03/2017	1321994	18380,52	4129342	4261821	47929	345621,3	2114,519	26576656	381238,8	1273088	10356,39	4172197	1592756	21,48852	20,48432
30/03/2017	1321752	16869,45	3770561	3910840	59993,5	345561,4	2211,174	26667082	476205,1	1238474	9293,03	3811884	1418530	19,82881	19,48135
31/03/2017	1323046	16161,9	3612797	3752428	52411,7	345626,9	2107,739	26759656	564255	1261399	9069,32	3650941	1390209	19,65278	19,19891
1/04/2017	1322156	14528,56	3233488	3365604	51457,9	345641,7	2240,407	26842288	646853,3	1284975	7918,24	3262513	1222382	31,06507	26,26658
2/04/2017	1322884	14530,5	3238197	3375905	40912,8	345567,5	2071,812	26916151	725271,9	1292759	7954,41	3265391	1236588	30,5121	25,29048
3/04/2017	1323013	15666,34	3499066	3637790	57319,3	345519,5	2212,036	26991523	385873,7	1267110	8650,18	3534968	1330340	30,9813	25,18939
4/04/2017	1323226	15083,41	3353583	3494324	34219,1	345625,6	1994,543	27082264	91001,76	1267907	8379,53	3386533	1292997	30,8599	25,40773
5/04/2017	1321448	11192,78	2454171	2593704	42056,9	345561	2073,119	27233970	247275,6	1285571	5929,55	2469468	920287	31,09123	25,23569
6/04/2017	1321448	11192,78	2454171	2593704	42056,9	345561	2073,119	27233970	247275,6	1285571	5929,55	2469468	920287	29,23905	25,29153
7/04/2017	1322957	16298,13	3650329	3783838	24987,5	345628,3	2069,639	27311836	320517,8	1282551	9094,3	3684582	1419783	31,97545	26,51887
8/04/2017	519911,6	1537,918	285605,2	353952,9	-32214,5	136987,7	312,227	10843124	145033,9	375432,8	656,21	278651,8	102890	23,47433	23,38752
9/04/2017															
10/04/2017	664551	7992,557	1785529	1857732	28704,3	172749,6	1145,548	13792998	17981,54	627712,7	4521	1804406	723669	33,28823	27,33595
11/04/2017	1322631	12536,6	2760808	2905199	10054,7	345623,4	1874,406	27635011	75438,36	1284875	6770,78	2776655	1129211	29,58031	25,12132
12/04/2017	1322273	15039,79	3343796	3481691	33400,1	345617,4	2030,551	27708381	148851,7	1264695	8392,34	3372033	1361026	31,82924	25,9176
13/04/2017	1323886	14684,03	3273674	3412136	24840,9	345573,4	2084,352	27783121	228385,2	1255025	8183,84	3302070	1327353	31,48897	25,54209
14/04/2017	1322737	14517,75	3239484	3379724	21044,5	345622,4	1954,734	27865901	306320,8	1274810	8074,08	3262820	1323772	30,95792	25,27373
15/04/2017	1322174	13450,65	2983124	3128795	14420,7	345616,5	1789,207	27940168	380536	1274427	7363,86	3002397	1230355	30,41003	24,83047
16/04/2017	1322001	13097,03	2900113	3041636	31416	345557,6	1977,764	28005795	450979,9	1262702	7075,41	2920436	1165242	29,46692	24,14348
17/04/2017	1323600	13899,23	3084837	3224965	32053,4	345634,1	1987,434	28083139	523569,6	1284588	7449,91	3105311	1246635	29,93649	24,59677
18/04/2017	1320388	13677,34	3023336	3165822	18700	345625,2	1882,333	28156381	596800,8	1262604	7433,03	3045154	1240397	31,67729	25,9741
19/04/2017	1251318	11389,84	2500627	2635296	56770,7	327627,1	2056,139	26750105	625930,8	1243432	6087,55	2522052	993454	31,16894	25,94703
20/04/2017	201496,8	170,286	4747	38665,8	-38332,1	53222,7	-109,225	4361938	8,807659	19140,8	0	0	0	22,18918	24,38298

21/04/2017	1320706	11112,25	2426930	2574615	10550,1	345616,4	1807,676	28355434	29811,93	1304379	5760,31	2436977	991130	28,63047	24,5526
22/04/2017	1321067	13239,6	2922218	3067502	22481,5	345623,4	1857,098	28418487	92921,02	1286478	7033,94	2940381	1209738	30,37854	24,83819
23/04/2017	1321962	7344,867	1543233	1699909	-4684,8	345563,3	1514,261	28465351	144619,5	1278252	3597,62	1537973	632188	26,28769	22,99929
24/04/2017	1319813	3576,35	656506,4	824409,8	-342,1	345622,9	1455,211	28498583	172979,4	1259452	1509,07	644036,9	256033	23,51483	22,31804
25/04/2017	1322175	8560,444	1834927	1981219	40350,2	345628,2	2117,82	28528118	202572,4	1273066	4290,88	1844598	697000	27,3155	24,22799
26/04/2017	1320924	12490,02	2752566	2898201	-1418	345557,7	1817,981	28578472	257754,8	1295289	6600,22	2771050	1117071	29,47472	24,29965
27/04/2017	1323482	12849,26	2833498	2978658	6885,1	345628,9	1865,175	28650638	324984	1283358	6832,28	2854509	1138447	30,09531	24,4487
28/04/2017	1321143	10083,74	2190815	2338756	12504,8	345626,9	1856,595	28711090	385285,3	1264162	5252,95	2200698	867914	27,78252	23,22667
29/04/2017	1322277	2282,58	324451,9	526784,5	59591,5	345555,1	1473,118	28736563	415784	1181544	791,81	324607,8	122239	21,1681	20,89644
30/04/2017	1324094	3472,535	636478	802701	23386,3	345630	1623,455	28752730	426936,3	1252480	1521,24	631088	235195	22,19361	21,14326
1/05/2017	1322642	10292,97	2245956	2395049	49169,5	345619,4	2050,855	28785500	459826,1	1220470	5526,54	2263868	825259	26,48854	22,47762
2/05/2017	1320780	4042,001	776797,6	932657	48216,7	345560,3	1915,772	28818364	497475,4	1227899	1857,19	775145,8	276427	22,66406	21,27029
3/05/2017	1320510	11176,08	2446064	2588661	22724,3	345615	1960,325	28860939	535216	1240428	6031,23	2462972	925839	27,59134	22,85146
4/05/2017	1322797	13242,91	2936738	3076406	13547,1	345617,8	1887,243	28927059	601330,3	1263867	7209,22	2953192	1137466	28,43101	22,67649
5/05/2017	1324209	12996,19	2882570	3022814	10134,4	345623,4	1960,237	28996653	671015,3	1259310	7118,53	2901786	1125474	28,69293	23,04158
6/05/2017	1322464	10858,72	2375298	2524232	16122,5	345548,1	1727,122	29053579	732837,1	1273998	5778,19	2384857	931631	27,03711	23,19323
7/05/2017	1324237	12859,17	2844825	2987597	61232,7	345613,9	2165,611	29122106	796489,9	1241125	7003,93	2868049	1104158	29,62491	24,67264
8/05/2017	1322469	7090,351	1489702	1641960	2355,5	345625,9	1695,41	29173426	847732,8	1284440	3457,38	1486387	559099	24,48733	21,93347
9/05/2017	1321699	12443,75	2743793	2883983	5274,3	345565	1863,334	29220390	899602,4	1261765	6735,63	2761307	1089811	29,89937	24,47345
10/05/2017	1320051	12870,41	2834973	2979029	34689,3	345617,7	2025,995	29292397	966755,7	1206477	7037,91	2862630	1129493	32,30012	26,91188
11/05/2017	1321463	12247,07	2690835	2834740	50030,8	345620,6	2098,567	29358843	1033219	1217383	6498,66	2713628	1050993	30,36628	25,97135
12/05/2017	1321191	12736,57	2805548	2949377	18862,2	345553,4	1877,322	29419415	1098649	1257559	6756,34	2826372	1112324	29,48236	24,58932
13/05/2017	1324848	12644,82	2801018	2943833	24789,4	345590,5	1819,859	29491791	1166068	1274663	6689,33	2816597	1095602	29,12436	23,44179
14/05/2017	1322056	6933,61	1448361	1606892	26643,7	345627,4	1712,665	29542252	1216584	1203561	3491,94	1451921	563291	26,33153	22,97481
15/05/2017	1321663	6671,519	1390145	1544829	1517,7	345562,1	1624,642	29570104	1249328	1239679	3331,68	1387091	558419	25,419	23,09868
16/05/2017	1322345	6289,278	1302047	1455598	2326,2	345620,7	1806,387	29607990	1282359	1220828	3118,75	1301859	516700	25,05286	22,35201
17/05/2017	1321194	3904,954	737644,6	900812,7	20299,2	345633,2	1643,603	29633303	1307568	1223719	1754,14	730521,5	289409	23,13392	21,59915
18/05/2017	1320004	5313,47	1071544	1227440	26022,9	345567,4	1755,571	29649859	1329060	1215107	2548,68	1067682	425755	24,25537	21,70601
19/05/2017	1322082	5206,183	1029175	1206032	-35911,8	345628,2	1129,244	29679182	1353467	1228439	2467,28	1022591	430522	23,65795	21,33799
20/05/2017	1321620	3639,402	676319,5	839850,8	8838,9	345601,4	1544,068	29700848	1375082	1242411	1576,67	665794,1	273597	22,26967	20,77642
21/05/2017	1319077	2283,919	335715,9	525848,9	-14524,7	345560,8	1063,644	29708174	1387355	1198022	793,65	328126,4	144653	20,16664	19,87078
22/05/2017	839561,2	2427,239	464240,9	559586,4	13915,7	220150,7	1092,86	18930714	887843,5	950321,1	1096,61	460031,1	194965	21,79346	20,30973
23/05/2017	1314325	8960,284	1917800	2072897	-16904,1	343649,7	1502,728	29583695	1420245	1216375	4682,18	1921802	793448	26,18851	21,46735

24/05/2017	1320727	2485,768	382904,9	572386,8	-41757,3	345570,2	860,21	29778086	1457240	1211890	887,84	370123,8	158268	21,0302	20,47274
25/05/2017	1319579	3775,2	699747,1	869510,8	42070,3	345605,7	1690,922	29796493	1470677	1188153	1660,73	697532	258760	22,3862	21,10674
26/05/2017	1319710	3012,014	516302,4	693227,9	55406,1	345619,9	1692,479	29811103	1485311	1173101	1242,61	514313	191918	22,11012	21,20785
27/05/2017	1318620	7129,289	1477922	1648464	38934,9	345568,9	1705,648	29828750	1507852	1182675	3636,73	1484485	574742	24,89715	21,79
28/05/2017	1319238	2818,462	465765,8	648338,9	10248,5	345615,8	1339,001	29858346	1532550	1182598	1109,57	459169,5	176705	21,21398	20,46877
29/05/2017	1321182	3086,762	537064,7	711336,1	5529,9	345625,2	1388,45	29870257	1544448	1207830	1275,88	529576,3	198683	21,48852	20,48432
30/05/2017	1318698	1188,208	50537	271939	-207637,2	345539,3	-648,099	29872327	1551382	1309294	50,01	18625,34	107957	19,82881	19,48135
31/05/2017	1319251	1286,748	78052	295106,2	-174720,6	345613,3	-413,411	29878970	1553104	1302783	129,05	50401,67	147914	19,65278	19,19891
1/06/2017	1318689	2425,16	360171,8	558429,4	-61997,3	345638,4	621,781	29884091	1558240	1226607	834,7	346190,3	183531	20,40146	19,6516
2/06/2017	1320997	3068,828	533071,6	706568	60413,4	345552,2	1754,26	29889695	1568822	1179508	1301,12	536020,2	206875	21,29559	20,48545
3/06/2017	1319197	5073,898	1018152	1172183	34770,7	345614,4	1820,936	29913726	1587906	1213878	2408,69	1017690	393180	22,16392	20,10484
4/06/2017	1322450	3599,281	655807,7	830589,7	47909,1	345614,4	1658,999	29933351	1607461	1181020	1582,51	660109,1	252579	20,93811	19,65851
5/06/2017	1322882	2569,48	407664,5	593096,5	18289,7	345550,9	1330,036	29941397	1620477	1184926	993,17	407735,6	160206	19,77078	19,28027
6/06/2017	1322491	2426,041	372351,4	560518,8	20810	345607	1306,401	29955740	1629969	1172119	915,04	373827,7	145971	19,64087	19,16707
7/06/2017	1321957	4616,215	903009,9	1065177	47205,2	345606,2	1863,364	29971178	1645268	1191993	2167,38	904943,3	352739	21,85604	20,16215
8/06/2017	1321066	2613,394	417157,1	602666,6	-58518,2	345550,6	829,419	29981324	1660471	1222388	969,02	401594,8	202932	20,65411	19,73396
9/06/2017	1319054	2402,98	365450,6	552980,5	28570,4	345613,7	1366,545	29996347	1670447	1166590	901,13	366438,5	141390	20,2479	19,69682
10/06/2017	1322284	2541,205	400609,5	585573,5	19214	345630,1	1345,87	30005540	1679731	1163903	979,2	402298,7	156706	19,44017	18,83502
11/06/2017	1320750	3358,746	600877,3	773491,9	-10090,8	345556,2	1269,86	30012169	1691262	1208648	1439,32	597875,3	251799	19,94733	18,67079
12/06/2017	1320164	6790,454	1418413	1572555	28036,9	345614,2	1824,716	30039784	1713947	1194547	3512,13	1426554	572695	22,03556	19,59806
13/06/2017	1322435	8322,858	1781235	1930494	-573,7	345629,4	1676,421	30078435	1752550	1200102	4333,76	1784783	724905	23,92938	20,20477
14/06/2017	1322159	7327,081	1543028	1699829	28149,2	345555,3	1733,444	30112855	1791922	1187664	3753,8	1552009	620994	22,93403	19,73476
15/06/2017	1324647	10640,7	2337956	2477264	18518,6	345622,7	1919,957	30165630	1839890	1243403	5586,69	2349700	951490	25,04649	20,07382
16/06/2017	1324940	6572,213	1370705	1526141	-12860,5	345623,6	1553,352	30209460	1883651	1216482	3265,15	1368686	548358	22,42995	19,23453
17/06/2017	1321985	1106,701	38117,8	253867,5	-250574,6	345586,3	-865,806	30222899	1901962	1362109	0	0	233201	19,58521	18,47145
18/06/2017	1321593	4028,325	765495,1	931367,6	-10845,9	345627,2	1353,299	30237156	1911347	1234110	1792,08	759871,8	324425	20,99795	19,36764
19/06/2017	1324423	5971,797	1226210	1383679	26996,1	345620,6	1770,078	30259801	1934015	1219721	2941,73	1230533	511585	22,44859	19,77318
20/06/2017	1322057	6152,253	1266065	1426156	6555,4	345560,9	1617,222	30285098	1964168	1211359	2969,56	1265513	515613	22,44049	19,69684
21/06/2017	1325410	9507,237	2052258	2208469	11004,2	345618,1	1685,185	30330238	2004467	1220905	4911,23	2064453	863654	24,54184	20,12924
22/06/2017	1323155	5135,133	1028471	1188352	32347,8	345628,7	1785,648	30367409	2041531	1242804	2373,26	1028303	433806	21,5875	19,47023

D.2) Valores Diarios Expresados en Unidades convenientes para la Evaluación.

Fecha__hora__	Irradiancion E_{SOL} (KWh/m ²)	Potencia DC E_{DC} (KWh)	Potencia activa E_{AC} (KWh)	Temp modulo T_M (°C)	Temp ambiente T_A (°C)
21/03/2017	6,18	16,08	15,89	20,17	19,87
22/03/2017	5,65	14,56	14,41	21,79	20,31
23/03/2017	5,86	15,01	14,85	26,19	21,47
24/03/2017	2,33	6,00	5,99	21,03	20,47
25/03/2017	5,82	15,17	14,99	22,39	21,11
26/03/2017	5,02	13,29	13,17	22,11	21,21
27/03/2017	4,90	12,92	12,75	24,90	21,79
28/03/2017	6,20	16,06	15,86	21,21	20,47
29/03/2017	6,64	17,38	17,21	21,49	20,48
30/03/2017	5,91	15,88	15,71	19,83	19,48
31/03/2017	5,79	15,21	15,05	19,65	19,20
1/04/2017	5,09	13,59	13,47	31,07	26,27
2/04/2017	5,15	13,61	13,49	30,51	25,29
3/04/2017	5,54	14,73	14,58	30,98	25,19
4/04/2017	5,39	14,11	13,97	30,86	25,41
5/04/2017	3,83	10,29	10,23	31,09	25,24
6/04/2017	3,83	10,29	10,23	29,24	25,29
7/04/2017	5,92	15,35	15,21	31,98	26,52
8/04/2017	0,43	1,16	1,19	23,47	23,39
9/04/2017					
10/04/2017	3,02	7,52	7,44	33,29	27,34
11/04/2017	4,71	11,57	11,50	29,58	25,12
12/04/2017	5,67	14,05	13,93	31,83	25,92
13/04/2017	5,53	13,76	13,64	31,49	25,54
14/04/2017	5,52	13,60	13,50	30,96	25,27
15/04/2017	5,13	12,51	12,43	30,41	24,83
16/04/2017	4,86	12,17	12,08	29,47	24,14
17/04/2017	5,19	12,94	12,85	29,94	24,60
18/04/2017	5,17	12,69	12,60	31,68	25,97
19/04/2017	4,14	10,51	10,42	31,17	25,95
20/04/2017					

21/04/2017	4,13	10,15	10,11	28,63	24,55
22/04/2017	5,04	12,25	12,18	30,38	24,84
23/04/2017	2,63	6,41	6,43	26,29	23,00
24/04/2017	1,07	2,68	2,74	23,51	22,32
25/04/2017	2,90	7,69	7,65	27,32	24,23
26/04/2017	4,65	11,55	11,47	29,47	24,30
27/04/2017	4,74	11,89	11,81	30,10	24,45
28/04/2017	3,62	9,17	9,13	27,78	23,23
29/04/2017	0,51	1,35	1,35	21,17	20,90
30/04/2017	0,98	2,63	2,65	22,19	21,14
1/05/2017	3,44	9,43	9,36	26,49	22,48
2/05/2017	1,15	3,23	3,24	22,66	21,27
3/05/2017	3,86	10,26	10,19	27,59	22,85
4/05/2017	4,74	12,30	12,24	28,43	22,68
5/05/2017	4,69	12,09	12,01	28,69	23,04
6/05/2017	3,88	9,94	9,90	27,04	23,19
7/05/2017	4,60	11,95	11,85	29,62	24,67
8/05/2017	2,33	6,19	6,21	24,49	21,93
9/05/2017	4,54	11,51	11,43	29,90	24,47
10/05/2017	4,71	11,93	11,81	32,30	26,91
11/05/2017	4,38	11,31	11,21	30,37	25,97
12/05/2017	4,63	11,78	11,69	29,48	24,59
13/05/2017	4,57	11,74	11,67	29,12	23,44
14/05/2017	2,35	6,05	6,03	26,33	22,97
15/05/2017	2,33	5,78	5,79	25,42	23,10
16/05/2017	2,15	5,42	5,43	25,05	22,35
17/05/2017	1,21	3,04	3,07	23,13	21,60
18/05/2017	1,77	4,45	4,46	24,26	21,71
19/05/2017	1,79	4,26	4,29	23,66	21,34
20/05/2017	1,14	2,77	2,82	22,27	20,78
21/05/2017	0,60	1,37	1,40	20,17	19,87
22/05/2017	0,81	1,92	1,93	21,79	20,31
23/05/2017	3,31	8,01	7,99	26,19	21,47

24/05/2017	0,66	1,54	1,60	21,03	20,47
25/05/2017	1,08	2,91	2,92	22,39	21,11
26/05/2017	0,80	2,14	2,15	22,11	21,21
27/05/2017	2,39	6,19	6,16	24,90	21,79
28/05/2017	0,74	1,91	1,94	21,21	20,47
29/05/2017	0,83	2,21	2,24	21,49	20,48
30/05/2017	0,45	0,08	0,21	19,83	19,48
31/05/2017	0,62	0,21	0,33	19,65	19,20
1/06/2017	0,76	1,44	1,50	20,40	19,65
2/06/2017	0,86	2,23	2,22	21,30	20,49
3/06/2017	1,64	4,24	4,24	22,16	20,10
4/06/2017	1,05	2,75	2,73	20,94	19,66
5/06/2017	0,67	1,70	1,70	19,77	19,28
6/06/2017	0,61	1,56	1,55	19,64	19,17
7/06/2017	1,47	3,77	3,76	21,86	20,16
8/06/2017	0,85	1,67	1,74	20,65	19,73
9/06/2017	0,59	1,53	1,52	20,25	19,70
10/06/2017	0,65	1,68	1,67	19,44	18,84
11/06/2017	1,05	2,49	2,50	19,95	18,67
12/06/2017	2,39	5,94	5,91	22,04	19,60
13/06/2017	3,02	7,44	7,42	23,93	20,20
14/06/2017	2,59	6,47	6,43	22,93	19,73
15/06/2017	3,96	9,79	9,74	25,05	20,07
16/06/2017	2,28	5,70	5,71	22,43	19,23
17/06/2017	0,97			19,59	18,47
18/06/2017	1,35	3,17	3,19	21,00	19,37
19/06/2017	2,13	5,13	5,11	22,45	19,77
20/06/2017	2,15	5,27	5,28	22,44	19,70
21/06/2017	3,60	8,60	8,55	24,54	20,13
22/06/2017	1,81	4,28	4,29	21,59	19,47