

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ciencias

Escuela Profesional de Física Aplicada

**CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO
CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA DE LA UNJBG
UTILIZANDO UN APLICATIVO INFORMÁTICO,
TACNA-2017**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JOSIMAR KLEVER COHAILA MAYTA

Para optar el Título Profesional de:

LICENCIADO EN FÍSICA APLICADA

TACNA – PERÚ

2018

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 325

En la ciudad de Tacna, en el auditorio de la Facultad de Ciencias, de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann; siendo las 12:00 horas del día 28 de diciembre de 2018, estando presente el jurado calificador nominado por Resolución de Facultad N° 9246-2018-FACI-UN/JBG conformado por los siguientes docentes:

Dr. Daladier Miguel Castillo Cotrina	Presidente
Dr. José Antonio Tiburcio Moreno	Miembro
Mgr. Carlos Alberto Zavaleta Caballero	Secretario

Acto seguido, se dio inicio lectura a la resolución correspondiente y del mismo modo se dio lectura al artículo 22 del Reglamento de Grados y títulos de la Facultad de Ciencias.

A continuación, el presidente del jurado insto al Bach. Josimar Klever Cohaila Mayta a exponer la tesis titulada: "Caracterización del Sistema Solar Fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la UNJBG utilizando un aplicativo informático, Tacna - 2017".

Siendo las 12:55 horas, el tesista concluye su exposición, luego se procedió a la formulación de las preguntas por parte de los miembros del jurado calificador. Terminado este proceso, se invitó a que los miembros del jurado emitan su calificación de acuerdo a reglamento. El promedio de la calificación dio el siguiente resultado: aprobado por unanimidad con el calificativo de sobresaliente (17) de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias.

Siendo las 13:10 horas, se dio por concluido el acto de sustentación de la tesis firmando los señores miembros del jurado calificador, en señal de conformidad.

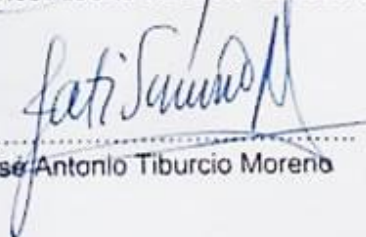
PRESIDENTE:


.....
Dr. Daladier Miguel Castillo Cotrina

SECRETARIO:


.....
Mgr. Carlos Alberto Zavaleta Caballero

MIEMBRO:


.....
Dr. José Antonio Tiburcio Moreno

Dedicatoria:

Dedico este trabajo con todo cariño: a mis padres Klever y Rosario, por su apoyo y aliento incondicional que permitieron alcanzar este objetivo.

Agradecimientos:

*Dicen que la mejor herencia, que nos
pueden dejar los padres, son los estudios,
por ello mi agradecimiento eterno para:*

Klever y Rosario.

*A mi asesor MSc. Carlos Polo Bravo por la
oportunidad y orientación brindada.*

A todos, gracias.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO I	3
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Formulación del problema	4
1.3. Justificación	5
1.4. Alcances y limitaciones.....	6
1.5. Objetivos.....	7
1.5.1. Objetivo general.....	7
1.5.2. Objetivos específicos	7
1.6. Hipótesis.....	7
CAPÍTULO II	8
II. MARCO TEÓRICO	8
2.1. La radiación solar	8
2.2. Paneles fotovoltaicos.....	9
2.3. Conversión fotovoltaica	12
2.4. ¿Qué es un sistema fotovoltaico?	12
2.5. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.....	14
2.6. Curva característica del módulo fotovoltaico	16
2.7. Inversor.....	17
2.8. Sistema fotovoltaico conectado a la red – CERT UNJBG	20
2.8.1. Emplazamiento del SFCR.....	20
2.8.2. Descripción del SFCR.....	21
2.8.2.1. Generador fotovoltaico.....	21
2.8.2.2. Inversor.....	23
2.8.2.3. Medida, control y protección	25
2.9. Programación estructurada	28
2.9.1. Definición de las tres estructuras básicas	29

2.10. Software Matlab.....	32
2.11. ISO/IEC 9126	38
CAPÍTULO III.....	44
III. MARCO METODOLÓGICO.....	44
3.1. Diseño de la investigación	44
3.2. Variables de investigación	44
3.2.1. Variable independiente.....	44
3.2.2. Variable dependiente.....	44
3.3. Operacionalización de variables.....	45
3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos.....	47
3.4.1. Instalación del sistema de monitoreo.....	47
3.4.2. Tratamiento de datos	49
3.4.3. Análisis de datos y desarrollo del aplicativo informático	54
3.4.4. Metodología para la evaluación del aplicativo informático	56
CAPÍTULO IV.....	58
IV. APLICATIVO INFORMÁTICO.....	58
4.1. Descripción del aplicativo informático.....	58
CAPÍTULO V.....	62
V. RESULTADOS	62
5.1. Caracterización del SFCR, analizando solo un día	63
5.2. Caracterización del SFCR, analizando un mes	68
5.3. Caracterización del SFCRF analizando un año.....	75
5.4. Evaluación de la usabilidad del aplicativo informático	81
CAPÍTULO VI.....	84
VI. DISCUSIÓN.....	84
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Panel fotovoltaico (a) Monocristalino (b) Policristalino	10
Figura 2: Elementos del panel fotovoltaico.....	11
Figura 3: Estructura del panel fotovoltaico	11
Figura 4: Sistema básico de instalación autónoma	13
Figura 5: Sistema básico de instalación autónoma	13
Figura 6: Clasificación de los sistemas fotovoltaicos de aplicación terrestre.....	14
Figura 7: Diagrama de un edificio fotovoltaico conectado a la red mostrando los elementos básicos de un SFCR.	15
Figura 8: Curva característica, Tensión – Intensidad	16
Figura 9: Inversor	18
Figura 10: Detalles del panel FV SolarWord modelo SW275 mono.....	22
Figura 11: Inversor StecaGrid familia coolcept-x, modelo 3010-x.....	23
Figura 12: Pantalla (monocromática, 128 x 64 píxeles)	25
Figura 13: Sistema de protección instalado en el CERT tanto para DC y AC..	26
Figura 14: Sistema de protección instalado para DC y AC (a) Interruptor Diferencial (b) Interruptor termomagnético para DC y AC (c) Arrestor - DC (Izquierda) y TVSS - AC (derecha) para protección de sobre tensiones por descargas atmosféricas.	27
Figura 15: Diagrama de instalación y conexión del sistema de protección	28
Figura 16: Estructura secuencial.....	29
Figura 17: Estructuras selectivas	30
Figura 18: Estructuras repetitivas (Iterativo). (a) While (b) Do – While (c) For .	31
Figura 19: Nuevo proyecto GUIDE.....	33
Figura 20: Ventana de inicio de GUI	34
Figura 21: Entorno de diseño de GUI.....	35
Figura 22: Cuadro de herramientas de Matlab – GUIDE	35
Figura 23: Entorno de diseño	36
Figura 24: Calidad en el ciclo de vida del software	39
Figura 25: Modelo de calidad para calidad interna y externa.....	40

Figura 26: Diagrama de instalación de monitoreo del SFCR en el CERT	47
Figura 27: Equipos instalados para el monitoreo del SFCR del CERT	
(a) Analizador de Redes (b) Eos – Array VMU - (M,S,P)	49
Figura 28: Equipos instalados para el monitoreo del SFCR del CERT	49
Figura 29: Ordenador dedicado al monitoreo del SFCR	50
Figura 30: Ventana de datos instantáneos medidos	51
Figura 31: Ventana de gráficos de datos instantáneos medidos.....	51
Figura 32: Modelo de adquisición de datos SFCR	54
Figura 33: Escala de puntuación.....	57
Figura 34: Bloques básicos del aplicativo informático	58
Figura 35: Ventana de análisis diario del SFCR.....	59
Figura 36: Ventana de análisis mensual del SFCR.....	60
Figura 37: Ventana de análisis anual del SFCR.....	60
Figura 38: Ventana menú de presentación del SFCR	61
Figura 39: Gráfico de Irradiación vs Tiempo	66
Figura 40: Gráfico de Irradiación vs Tiempo	66
Figura 41: Temperatura. Panel – Temperatura. Ambiente vs Tiempo	67
Figura 42: Irradiancia vs Corriente DC	67
Figura 43: Vista del aplicativo en ejecución - Análisis diario	68
Figura 44: Irradiancia vs Tiempo.....	69
Figura 45: Corriente DC vs Tiempo.....	70
Figura 46: Energía DC vs Tiempo.....	70
Figura 47: Potencia Activa vs Irradiancia	71
Figura 48: Energía AC - Energía DC vs Energía Solar	71
Figura 49: Eficiencia total del sistema.....	72
Figura 50: Vista del aplicativo en ejecución - Análisis mensual	72
Figura 51: Irradiancia vs Tiempo.....	76
Figura 52: Corriente DC vs Tiempo.....	76
Figura 53: Temperatura ambiente - Temperatura del Panel vs Tiempo.....	77
Figura 54: Energía DC – Energía AC vs Tiempo	77
Figura 55: Energía DC – Energía AC – Energía Solar vs Tiempo.....	78
Figura 56: Irradiancia – Corriente DC vs Tiempo	78

Figura 57: Eficiencia total de sistema.....	79
Figura 58: Vista del interfaz gráfico del análisis anual	79
Figura 59: Modelo de encuesta SUS	81
Figura 60: Puntuaciones del SUS correspondientes a las siete calificaciones de adjetivos.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Características técnicas del generador fotovoltaico	21
Tabla 2.	Características eléctricas del inversor StecaGrid 3010x – DC	23
Tabla 3.	Características eléctricas del inversor StecaGrid 3010x – AC	24
Tabla 4.	Descripción de controles del entorno de diseño.....	36
Tabla 5.	Características internas y externas de ISO 9126	41
Tabla 6.	Operacionalización de variables.....	45
Tabla 7.	Modelo de ordenamiento de los datos	53
Tabla 8.	Archivos faltantes, periodo 2017	62
Tabla 9.	Extracto de los datos del día 21 de marzo de 2017	64
Tabla 10.	Valores promedios diarios durante el mes de octubre	73
Tabla 11.	Valores promedios mensuales durante el año 2017	80
Tabla 12.	Puntuaciones de las encuestas aplicadas.....	82
Tabla 13.	Estadísticas de las puntuaciones del SUS para las calificaciones de adjetivos.....	83

Resumen

Con el presente trabajo de investigación se ha desarrollado un aplicativo informático para caracterizar el sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, a efectos de analizar, cuantificar y graficar los parámetros térmicos, energéticos y eléctricos; del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica.

El aplicativo informático fue desarrollado en el software Matlab R2017b, en el entorno Guide, la técnica de programación fue la secuencial.

La data se encontraba almacenada en archivos de extensión *.CSV, teniendo un archivo para cada fecha determinada, los archivos se tienen desde el 16 de abril de 2015, hasta el presente, se almacenan de forma diaria y continua en intervalos de 15 segundos.

El análisis diario permite visualizar los parámetros térmicos, energéticos y eléctricos vs el tiempo, obtener valores mínimos, máximos y promedios, así como la energía promedio generada en esa fecha, así como la energía acumulada en un día de evaluación, mensualmente y anualmente, finalmente muestra los valores de eficiencia del módulo fotovoltaico, así como la eficiencia del sistema.

La eficiencia anual del sistema fotovoltaico es de 14,31 %, y el mes de mayor eficiencia fue el mes abril con 15 %. La energía activa acumulada durante este año 2017 fue de 4 632,22 kwh. Mientras que la energía activa registrada por el inversor fue de 5 149 kwh. Esta diferencia de 516,22 kwh, se debe a que no contó con toda data del año 2017.

Abstract

With the present research work a computer application has been developed to characterize the photovoltaic solar system connected to the electrical network of the Faculty of Sciences of the National University Jorge Basadre Grohmann, for the purposes of analyzing, quantifying and graphing the thermal, energy and electric; of the photovoltaic solar system connected to the electric network.

The computer application was developed in Matlab R2017b software, in the Guide environment, the programming technique was sequential.

The data was stored in files of extension *.CSV, having a file for each determined date, the files are from April 16, 2015, to the present, they are stored daily and continuously at intervals of 15 seconds.

The daily analysis allows to visualize the thermal, energetic and electric parameters vs the time, obtain minimum, maximum and average values, as well as the average energy generated on that date, as well as the accumulated energy on an evaluation day, monthly and annually, finally It shows the efficiency values of the photovoltaic module, as well as the efficiency of the system.

The annual efficiency of the photovoltaic system is 14,31 %, and the month of greatest efficiency was the month of April with 15 %. The active energy accumulated during this year 2017 was 4 632,22 kwh. While the active energy registered by the investor was 5 149 kwh. This difference of 516,22 kwh, is due to the fact that I do not have any data for 2017.

.

INTRODUCCIÓN

El sistema solar fotovoltaico instalado en la Ciudad Universitaria de la UNJBG tiene una potencia eléctrica de 3,3 kw, la puesta en funcionamiento se inició el 02 de diciembre de 2014, el almacenamiento de la data se realiza desde el 16 de mayo de 2015.

Todo sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica necesita de un sistema el cual permita monitorearlo, el inversor (componente del sistema) puede mostrar información del sistema en operación, pero es restringido, solo muestra la información en forma instantánea, lo que requiere el sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica (SFCR), es la aplicación de la informática la cual le permita caracterizar el sistema, ya sea diariamente, mensualmente o anualmente.

¿Cómo se puede caracterizar un sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la UNJBG utilizando tecnologías de la informática?

En tal sentido, se plantea la siguiente hipótesis: Es posible desarrollar un aplicativo informático que permita caracterizar el funcionamiento del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la UNJBG -Tacna.

El objetivo general del trabajo de investigación es: Caracterizar el sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la UNJBG – Tacna, desarrollando un aplicativo informático. Para llevar a cabo la investigación, el trabajo se ha estructurado en VI capítulos.

En el capítulo I, Planteamiento del problema, se presenta la descripción y formulación del problema, contiene el problema de investigación, los objetivos y las hipótesis.

En el capítulo II, Marco teórico, se revisan los conceptos teóricos básicos, partiendo del concepto radiación solar y finalizando en estándar para la evaluación de la calidad del producto software.

En el capítulo III, Marco Metodológico, se describe el diseño de investigación, las variables de investigación y demás técnicas usadas en el presente trabajo de investigación.

El capítulo IV, Aplicativo Informático, trata acerca del desarrollo, bloques básicos y presentación de la interfaz gráfica del aplicativo informático.

El capítulo V, Resultados, presenta los resultados obtenidos producto del desarrollo del aplicativo informático, presentando datos, gráficos y tablas.

En el capítulo VI, Discusión, se realiza la discusión de los resultados obtenidos, así como las dificultades o problemas sufridos a lo largo del desarrollo del presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En el caso de nuestra casa superior de estudios se cuenta con un proyecto que consiste en generar y monitorear la energía eléctrica usando como fuente energética la energía del sol, a través de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica de 3,3 kw de potencia, instalado en el ambiente del Centro de Energías Renovables de la Facultad de Ciencias, suministrando energía a 220 VAC a la red eléctrica de la Ciudad Universitaria de la UNJBG, cuyo funcionamiento se viene evaluando integralmente bajo las condiciones meteorológicas ambientales de la ciudad de Tacna. (Polo, 2016)

Todo sistema solar fotovoltaico, conectado a la red eléctrica, necesita de un sistema, el cual permita monitorearlo, mostrar los datos procesados, ya sea mediante tablas o gráficos, en la actualidad por parte del regulador (componente del sistema) se puede mostrar información del sistema en operación pero es restringido, solo muestra la información en forma instantánea, así mismo, también se cuenta con un pequeño programa instalado en una de las PC de CERT el cual adquiere y almacena los datos de operación de forma electrónica, a su vez muestra también información del sistema en forma instantánea.

El CERT, Tacna, cuenta con datos almacenados electrónicamente desde fines de 2014 a la fecha bajo el proyecto Emergiendo con el Sol (PES), que requiere tratamiento informático a efectos de obtener información detallada y cuantitativa de cada uno de los parámetros de

funcionamiento del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica (SFCR), bajo la consideración que a nivel local y nacional no se cuenta con un aplicativo informático que permita la caracterización integral del funcionamiento del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica, los datos almacenados son variables y extensos. Si se desea procesar los datos almacenados provenientes de la aplicación para el monitoreo del sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica (SFCR), se tendría que recurrir a una hoja de cálculo, tal como Excel, lo cual llevaría una inversión de tiempo razonable, pero sí se desea procesar los datos durante un mes, allí sí se tendría alguna dificultad debido a la abundante data disponible, a que cada archivo diario generado por la aplicación para el monitoreo del SFCR, es de 5760 filas x 16 columnas diarios, y más aún si se desea procesar los datos durante un año, la data disponible sería de 365 archivos de 5760 filas x 16 columnas diarios, Lo cual ya requiere de un tratamiento informático especial, el cual podría ser del desarrollo de un aplicativo informático.

Lo que requiere el sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica (SFCR) es la aplicación de la informática, la cual le permita caracterizar el sistema, ya sea diariamente, mensualmente o anualmente.

En las Universidades del país, donde se tiene instalado sistemas idénticos al nuestro como la UNI, UNSA, se desconoce hasta el momento sobre la implementación de una herramienta informática, la cual permita hacer el tratamiento de los datos y permita la caracterización del SFCR, bajo los términos del aplicativo informático desarrollado.

1.2. Formulación del problema

Las consideraciones expuestas en la descripción del problema llevan a plantear la siguiente interrogante:

¿Cómo se puede caracterizar un sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la UNJBG utilizando tecnologías de la informática?

1.3. Justificación

El investigar es un proceso de búsqueda y generación de conocimiento planificado, consciente, racional y crítico. (Anasagasti, 2012)

Con el desarrollo del aplicativo informático será posible la caracterización del SFCR, empleando para ello toda la data almacenada disponible, la caracterización se realizará en menor tiempo en comparado si se realiza con una hoja de cálculo convencional. El desarrollo del aplicativo informático permitirá conocer diariamente, mensualmente y anualmente los parámetros eléctricos, energéticos y ambientales, así como la eficiencia del SFCV. El desempeño del SFCR a lo largo de su vida útil, los resultados anuales como la eficiencia del sistema podrían compararse y estimar los años de mayor producción de energía, los cuales deben estar relacionados directamente con la irradiancia y tiempo de vida útil de los paneles fotovoltaicos, y en un futuro poder determinar será hacer un monitoreo diario del comportamiento del SFCR.

El aplicativo informático también podría ser utilizado como herramienta didáctica de enseñanza, en cursos concernientes a las energías renovables, que se dictan en la escuela de física aplicada de la UNJBG. Sería un recurso útil tanto para el docente como para el estudiante.

Por lo indicado, es necesario implementar un aplicativo informático capaz de realizar dichos cálculos en forma rápida y eficiente que a su vez permita caracterizar integralmente el funcionamiento del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica, como también encontrar

hallazgos instantáneos del funcionamiento bajo condiciones meteorológicas anómalas.

1.4. Alcances y limitaciones

La presente tesis de investigación tiene como alcance de aplicación caracterizar el sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica, del centro de energías renovables de Tacna, por periodo de tiempo de un año, escogiendo la data almacenada del año 2017. El aplicativo informático que se empleará para la caracterización permite un análisis diario, mensual y anual.

El aplicativo informático se desarrolló en el software Matlab 2017A. El aplicativo informático lee la data existente y almacenada en formatos *.CSV respetando la estructura del archivo, la forma de lectura de los archivos es de uno a la vez, pues el aplicativo está desarrollado bajo el enfoque de programación estructurada:

La visión clásica de la programación estructurada se refiere al control de ejecución. La regla general es que las instrucciones se ejecuten sucesivamente una tras otra, pero diversas partes del programa se ejecutan o no dependiendo de que se cumpla alguna condición. (Programación Estructurada, 2018) todo programa puede escribirse utilizando únicamente las tres estructuras básicas de control siguientes:

- Secuencia: el bloque secuencial de instrucciones, instrucciones ejecutadas sucesivamente, una detrás de otra.
- Selección: la instrucción condicional con doble alternativa, de la forma "if condición then instrucción-1 else instrucción-2".
- Iteración: el bucle condicional "while condición do instrucción", que ejecuta la instrucción repetidamente mientras la condición se cumpla.

Los programas que utilizan sólo estas tres instrucciones de control básicas o sus variantes se llaman estructurados.

El aplicativo informático desarrollado podrá ser empleado también para las instalaciones de las Universidades de san Agustín de Arequipa, así como para las instalaciones de la Universidad Nacional de Ingeniería, ya que dichas instalaciones cuentan con sistemas fotovoltaicos idénticos al instalado en el centro de energías renovables de Tacna.

Una limitación del aplicativo informático es su exclusividad, en cuanto al formato de la data, variables registradas y área de paneles instalada.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Caracterizar el sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la UNJBG –Tacna, desarrollando un aplicativo informático.

1.5.2. Objetivos específicos

- Diseñar e implementar un aplicativo informático para el sistema solar fotovoltaica conectado a la red eléctrica, empleando el software Matlab.
- Analizar, cuantificar y graficar los parámetros térmicos, energéticos y eléctricos; del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica.

1.6. Hipótesis

Es posible desarrollar un aplicativo informático que permita caracterizar el funcionamiento del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la UNJBG -Tacna.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. La radiación solar

La **radiación solar** es la energía que emana del Sol en forma de ondas o partículas. A la radiación solar que incide en una superficie en un lugar y tiempo determinado se le conoce como **insolación**. (Paneles Solares PR, 2018)

La **irradiancia solar** es un dato normalizado que indica cuánta potencia por unidad de área lleva la radiación solar en un lugar y a un ángulo específico. La irradiancia se mide en watts por metro cuadrado (w/m^2).

La irradiancia solar varía durante el día. Las horas pico de sol ("*peak sun hours*") son las horas del día en las cuales la irradiancia solar es igual $1000 w/m^2$. Este es un dato importante que se utiliza cuando se estima la producción de energía de un sistema fotovoltaico.

La **irradiación solar** es un dato normalizado que da la energía que se acumula en un periodo de tiempo por unidad de área. La irradiación solar se obtiene multiplicando la irradiancia solar por las horas picos de sol de un lugar. Las unidades de medición de la irradiación solar son los vatios-hora por metro cuadrado (wh/m^2) o kilo-vatios-hora por metro cuadrado (kwh/m^2).

$$Irradiacion\ Solar = (Irradiancia\ Solar) \times (Horas\ Pico\ de\ Sol)$$

En resumen:

- Cuando se habla de irradiancia e insolación solar se refieren a la potencia que envía la luz solar en una superficie. Esta potencia se mide en vatios por metro cuadrado (w/m^2).
- En promedio la irradiancia solar máxima durante un día de sol sin nubes es aproximadamente $1\ 000\ \text{w/m}^2$.
- Las horas pico de sol son las horas durante las cuales la irradiancia solar de un lugar es aproximadamente $1\ 000\ \text{w/m}^2$.
- La irradiación solar es la energía que se acumula durante un día en una superficie. Esta energía normalmente se mide en kilo-watts-hora por metro cuadrado (kwh/m^2).

2.2. Paneles fotovoltaicos

Un panel solar está constituido por varias células iguales conectadas eléctricamente entre sí, en serie y/o en paralelo, de forma que la tensión y corriente suministrada por el panel se incrementa hasta ajustarse al valor deseado. La mayor parte de los paneles solares se construyen asociando primero células en serie hasta conseguir el nivel de tensión deseado, y luego asociando en paralelo varias asociaciones serie de células. Además, el panel cuenta con otros elementos a parte de las células solares, que hacen posible la adecuada protección del conjunto frente a los agentes externos; asegurando una rigidez suficiente, posibilitando la sujeción a las estructuras que lo soportan y permitiendo la conexión eléctrica. (Rodríguez de Luis, 2004), (Figura 1)

Sus elementos son:

Cubierta exterior de cara al Sol. Es de vidrio que debe facilitar al máximo la transmisión de la radiación solar. Se caracteriza por su resistencia mecánica, alta transmisividad y bajo contenido en hierro. (Figura 2)

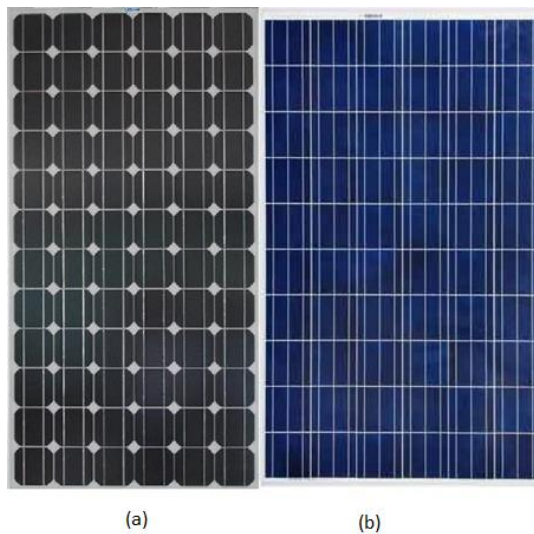


Figura 1: Panel fotovoltaico (a) Monocristalino (b) Policristalino

Fuente: (Polo, 2016)

Encapsulante. De silicona o más frecuentemente EVA (etilenvinilacetato). Es especialmente importante que no quede afectado en su transparencia por la continua exposición al sol, buscándose además un índice de refracción similar al del vidrio protector para no alterar las condiciones de la radiación incidente. (Figura 2), (Figura 3)

Protección posterior. Igualmente debe dar rigidez y una gran protección frente a los agentes atmosféricos. Usualmente se emplean láminas formadas por distintas capas de materiales, de diferentes características. (Figura 2)

Marco metálico. De Aluminio, que asegura una suficiente rigidez y estanqueidad al conjunto, incorporando los elementos de sujeción a la estructura exterior del panel. La unión entre el marco metálico y los elementos que forman el modulo está realizada mediante distintos tipos de sistemas resistentes a las condiciones de trabajo del panel. (Figura 2), (Figura 3)

Cableado y bornas de conexión. Habituales en las instalaciones eléctricas, protegidos de la intemperie por medio de cajas estancas. (Figura 2), (Figura 3)

Diodo de protección. Su misión es proteger contra sobre-cargas u otras alteraciones de las condiciones de funcionamiento de panel. (Figura 2)

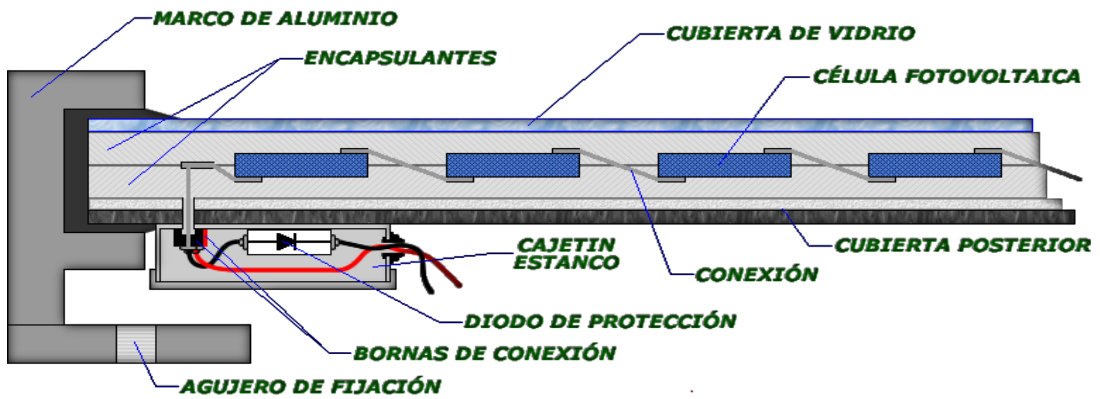


Figura 2: Elementos del panel fotovoltaico

Fuente: (Rodríguez de Luis, 2004)

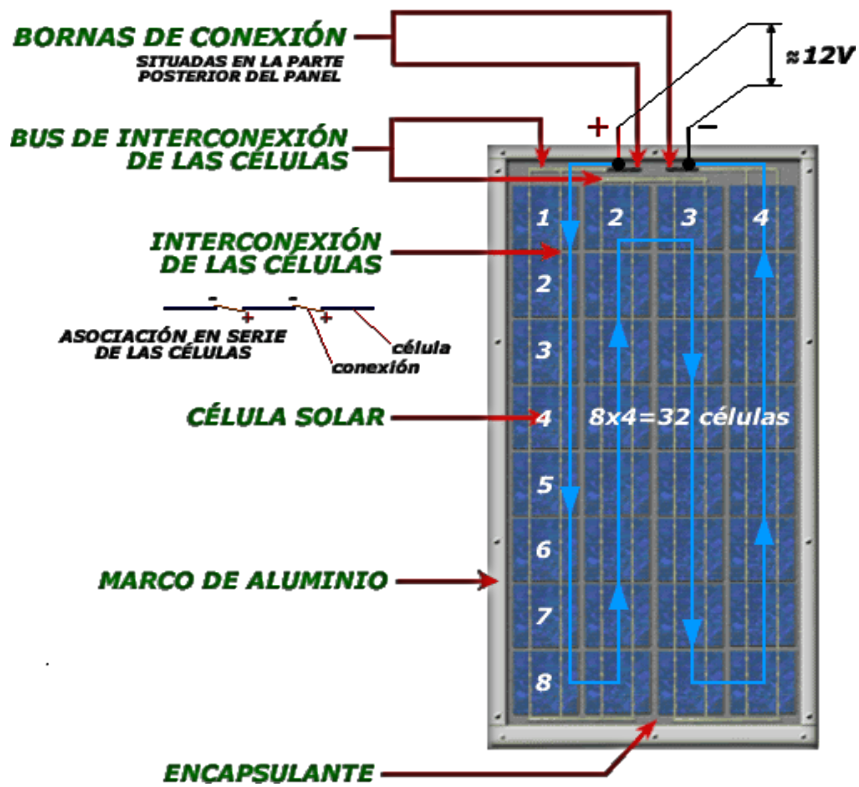


Figura 3: Estructura del panel fotovoltaico

Fuente: (Rodríguez de Luis, 2004)

2.3. Conversión fotovoltaica

Es un proceso por el cual la energía solar se transforma directamente en electricidad. El dispositivo o elemento que media en el proceso es la célula solar o célula fotovoltaica. A esta conversión fotovoltaica se le llama efecto fotoeléctrico.

El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por un material cuando se le ilumina con radiación electromagnética (luz visible o ultravioleta, en general). El efecto fotoeléctrico fue descubierto y descrito por Heinrich Hertz en 1887.

Cuando la energía luminosa, principalmente la radiación solar, incide en la célula fotoeléctrica, existe un desprendimiento de electrones de los átomos que comienzan a circular libremente en el material. Si se mide el voltaje existente entre los dos extremos del material, se observa que existe una diferencia de potencial entre 0,5 y 0,6 voltios.

2.4. ¿Qué es un sistema fotovoltaico?

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la convierten en energía eléctrica. (QuimiNet.com)

Los sistemas fotovoltaicos se basan en la capacidad de las celdas fotovoltaicas de transformar energía solar en energía eléctrica (DC). En un sistema conectado a la red eléctrica esta energía, mediante el uso de un inversor, es transformada a corriente alterna (AC), la cual puede ser utilizada en hogares e industrias. La generación de energía eléctrica dependerá de las horas que el sol brille sobre el panel solar y del tipo y cantidad de módulos instalados, orientación, inclinación, radiación solar que les llegue, calidad de la instalación y la potencia nominal.

Un sistema fotovoltaico puede ser “interconectado” que es lo más conveniente para residencias o negocios con acceso a la red eléctrica de la CFE. (QuimiNet.com) (Figura 4)

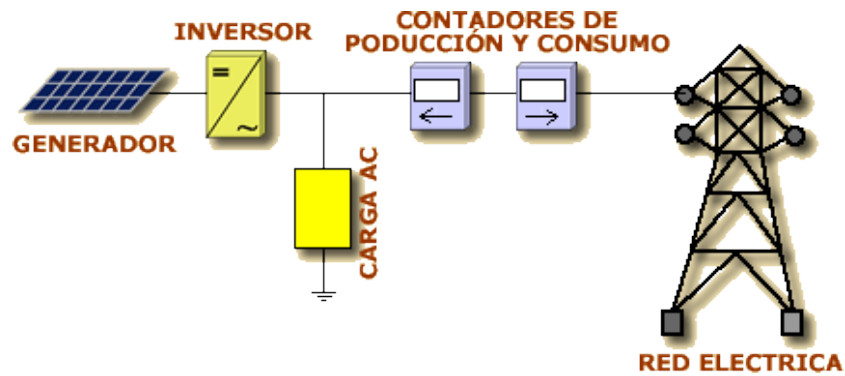


Figura 4: Sistema básico de instalación autónoma
Fuente: (Rodríguez de Luis, 2004)

Con este sistema la energía generada se inyecta a la red eléctrica y de allí se toma cuando uno la necesita. La otra opción es un sistema “isla” que permite el suministro de energía eléctrica en lugares inaccesibles para la red eléctrica. Estos sistemas son usados principalmente en casas de campo o en antenas de telecomunicación. (Figura 5)

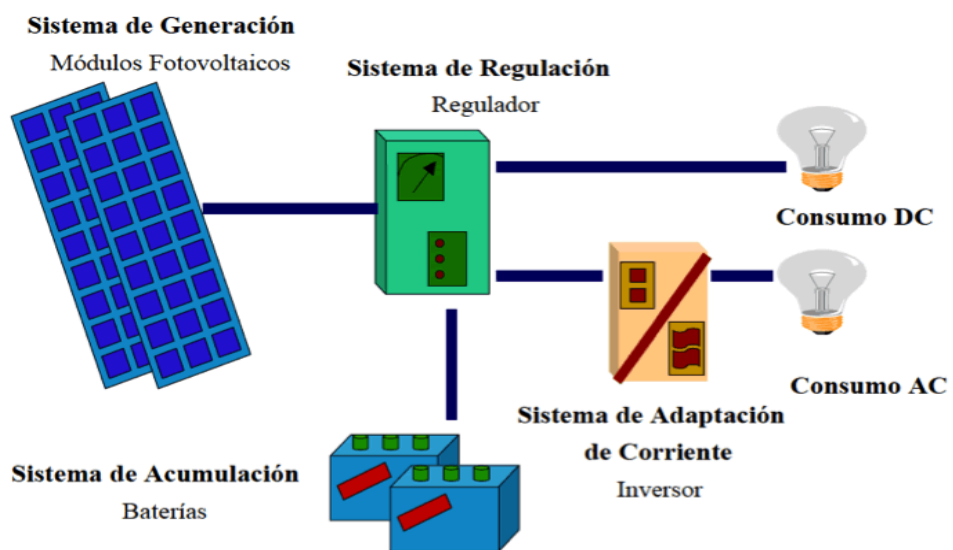


Figura 5: Sistema básico de instalación autónoma
Fuente: (Rodríguez de Luis, 2004)

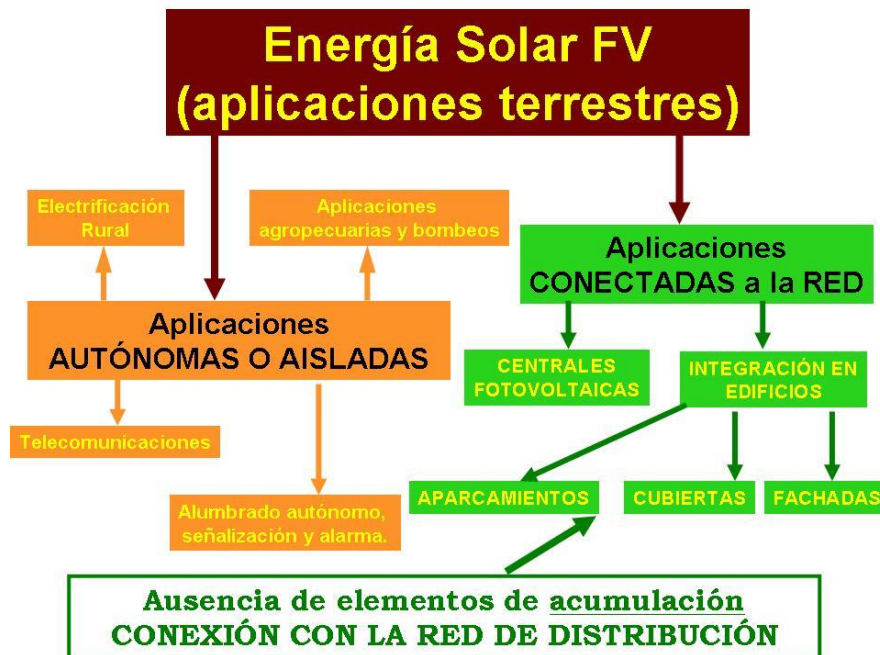


Figura 6: Clasificación de los sistemas fotovoltaicos de aplicación terrestre
Fuente: (Nofuentes & De la casa, 2014)

2.5. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR) consiste básicamente en un generador fotovoltaico acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica convencional. El concepto de SFCR es compatible con un amplio margen de aplicaciones las cuales pueden ir desde centrales de varios megavatios hasta pequeños sistemas de unos cuantos kilovatios. En nuestro caso estamos centrados en sistemas pequeños y medianos, tales como los que pueden incorporarse en un edificio (*Edificios Fotovoltaicos Conectados a la Red, EFCR*). El carácter intrínsecamente modular de la tecnología fotovoltaica permite, al contrario que en la mayoría de las fuentes de energía convencionales, un costo unitario relativamente independiente del tamaño de la instalación; por ello los pequeños sistemas presentan un gran interés (producción de energía descentralizada u autosuficiencia del usuario o consumidor). (Almonacid, 2000)

En la (Figura 7) se muestra una figura de sistema conectado a la red en donde se pueden ver los elementos básicos de que consta un SFCR. Éste, básicamente está formado por un generador fotovoltaico, constituido por el número necesario de paneles -conectados en serie para obtener la tensión nominal de funcionamiento-, y el número de ramas en paralelo suficiente para obtener la corriente (potencia) requerida. El inversor se conecta tras un cuadro de conexión que incorpora los elementos de protección del sistema fotovoltaico: diodos de bloqueo, fusibles de protección en cada una de las ramas y descargadores de tensión. Este dispositivo transforma la energía eléctrica en forma de corriente continua, proporcionada por el generador fotovoltaico, en corriente alterna con las mismas características que la red. (Almonacid, 2000)

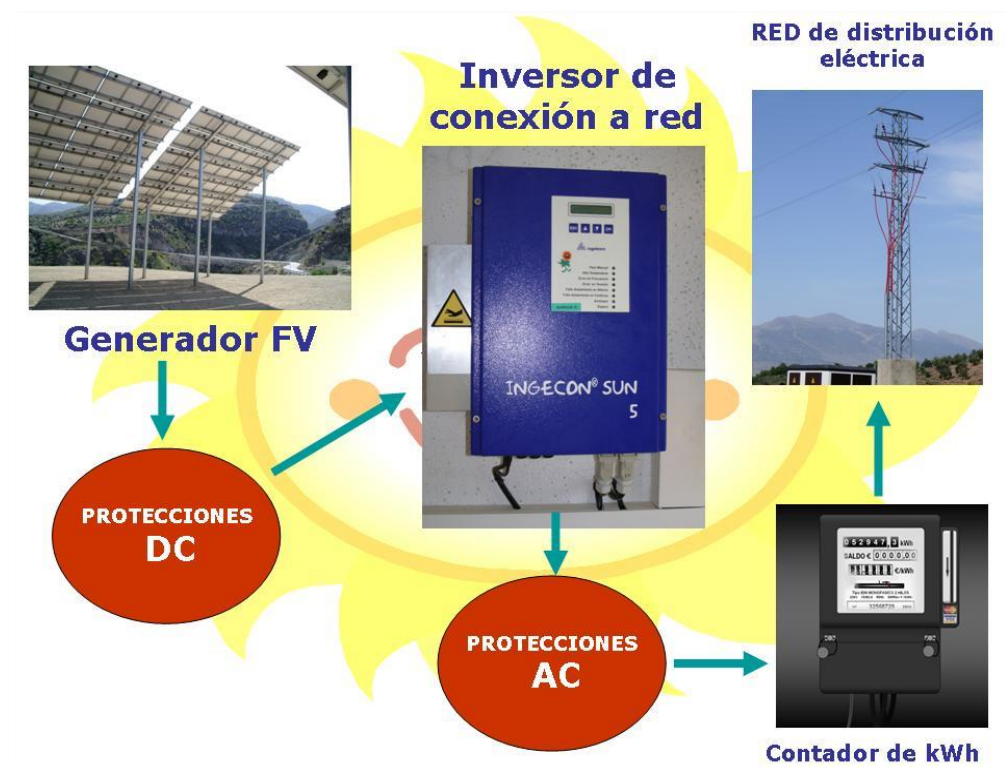


Figura 7: Diagrama de un edificio fotovoltaico conectado a la red mostrando los elementos básicos de un SFCR.

Fuente. (Nofuentes & De la casa, 2014)

2.6. Curva característica del módulo fotovoltaico

La representación estándar de un dispositivo fotovoltaico es la característica corriente-tensión. La curva representa las posibles combinaciones de corriente y voltaje para un dispositivo fotovoltaico bajo unas condiciones ambientales determinadas (radiación solar incidente y temperatura ambiente). El punto en concreto de corriente y voltaje en el que el dispositivo fotovoltaico trabajará vendrá determinado por la carga a la que esté conectado. (Fernández, 2009) (Figura 8)

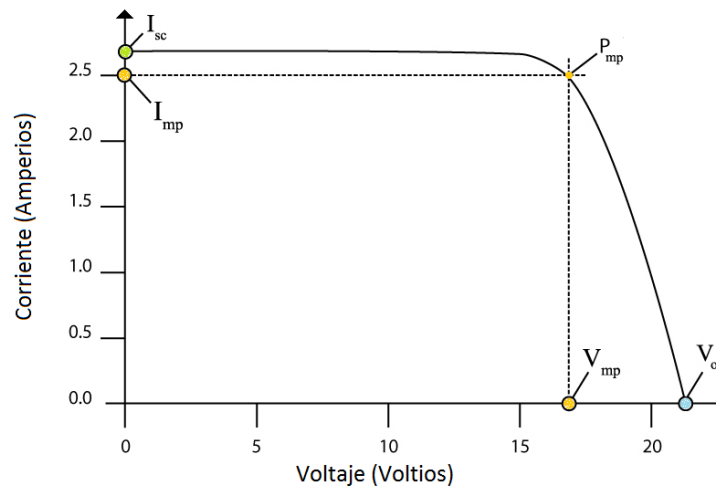


Figura 8: Curva característica, Tensión – Intensidad

Fuente: (Paneles Solares PR, 2018)

Principales parámetros de la característica I-V

- Corriente de cortocircuito (I_{cc} notación española, I_{sc} notación internacional): es la máxima corriente que producirá el dispositivo bajo unas condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a un voltaje igual a cero.
- Voltaje de circuito abierto (V_{ca} notación española, V_{oc} notación internacional): Es el máximo voltaje del dispositivo bajo unas

condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a una corriente igual a cero.

- Potencia máxima (P_{max}): Es la máxima potencia que producirá el dispositivo en unas condiciones determinadas de iluminación y temperatura, correspondiente al par máximo I-V.
- Corriente en el punto de máxima potencia (I_{pmp}): Es el valor de la corriente para P_{max} en unas condiciones determinadas de iluminación y temperatura.
- Voltaje en el punto de máxima potencia (V_{pmp}): Es el valor de voltaje para P_{max} en unas condiciones determinadas de iluminación y temperatura.
- Factor de forma (FF): Es el valor correspondiente al cociente entre P_{max} y el producto de I_{sc} x V_{oc} . Puede venir expresado en tanto por ciento o tanto por 1, siendo el valor 100 % el que corresponderá a un hipotético perfil de cuadrado, no real. Da una idea de la calidad del dispositivo fotovoltaico, siendo éste tanto mejor cuanto más alto sea su factor de forma.

2.7. Inversor

En las instalaciones fotovoltaicas son los paneles fotovoltaicos los encargados de generar potencia a partir de la radiación solar captada. La potencia eléctrica generada es potencia continua, con unos valores de tensión y corrientes dependientes de la disposición de los paneles. El inversor fotovoltaico es el equipo electrónico que permite suministrar la potencia generada a la red comercial. Su función principal es convertir la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna, con unas características establecidas por la red: 220 V de valor eficaz de tensión y una frecuencia de 60 Hz. (Palomino, 2012) (Figura 9)



Figura 9: Inversor

Fuente: (Paneles Solares PR, 2018)

Las partes fundamentales en un inversor son:

- Control principal. Incluye todos los elementos de control general, los sistemas de generación de onda basados en sistemas de modulación de anchura de pulsos (PWM) y parte del sistema de protecciones.
- Etapa de potencia. Esta etapa puede ser única o modular en función de la potencia deseada. Se opta por la tecnología en baja frecuencia ya que ofrece buenos resultados con una alta fiabilidad y bajo coste. Además, debe incorporar un filtro de salida (LC), para filtrar la onda y evitar el rizado en la tensión procedente de los módulos.
- Control de red. Es la interface entre la red y el control principal. Proporciona el correcto funcionamiento del sistema al sincronizar la forma de onda generada a la de la red eléctrica, ajustando tensión, fase, sincronismo, etc.
- Seguidor del punto de máxima potencia (MPPT). Es uno de los factores más importantes en un inversor. Su función es acoplar la entrada del inversor a los valores de potencia variables que produce el generador, obteniendo en todo momento la mayor cantidad de energía disponible, la máxima potencia.
- Protecciones. De manera general, los inversores deben estar protegidos ante tensión de red fuera de márgenes, frecuencia de red fuera de márgenes, temperatura de trabajo elevada, tensión baja del

generador, intensidad del generador fotovoltaico insuficiente, fallo de la red eléctrica y transformador de aislamiento, además de las protecciones pertinentes contra daños a personas y compatibilidad electromagnética.

- Monitorización de datos. Los inversores dispondrán de microprocesadores que les facilite una gran cantidad de datos tanto de los parámetros habituales (tensión, corriente, frecuencia, etc.) como de parámetros externos (radiación, temperatura ambiente, etc.) e internos (p.e. temperaturas de trabajo). Debido al elevado coste de las instalaciones solares fotovoltaicas, durante la explotación los inversores deben ofrecer un alto rendimiento y fiabilidad. Dicho rendimiento depende de la variación de la potencia de la instalación, por lo que debe procurarse trabajar con potencias cercanas o iguales a la nominal, puesto que, si la potencia procedente de los paneles fotovoltaicos a la entrada del inversor varía, el rendimiento disminuye.

Los principales parámetros habituales a tener en cuenta en un inversor son (Palomino, 2012):

- Tensión nominal (V). Tensión que debe aplicarse en bornes de entrada del inversor.
- Potencia nominal (VA). Potencia que suministra el inversor de forma continuada.
- Potencia activa (W). Potencia real que suministra el inversor teniendo en cuenta el desfase entre tensión y corriente.
- Capacidad de sobrecarga. Capacidad del inversor para suministrar una potencia superior a la nominal y tiempo que puede mantener esa situación.
- Factor de potencia. Cociente entre potencia activa y potencia aparente a la salida del inversor. En el caso ideal, donde no se

producen pérdidas por corriente reactiva, su valor máximo es 1, es decir, estas condiciones son inmejorables para el suministro de corriente del inversor.

- Eficiencia o rendimiento. Relación entre las potencias de salida y entrada del inversor.
- Autoconsumo. Es la potencia, en tanto por ciento, consumida por el inversor comparada con la potencia nominal de salida.
- Armónicos. Un armónico ideal es una frecuencia de onda múltiplo de la frecuencia fundamental. Tener en cuenta que, sólo a frecuencia fundamental, se produce potencia activa.
- Distorsión armónica. La distorsión armónica total o THD (Total Harmonic Distortion) es el parámetro que indica el porcentaje de contenido armónico de la onda de tensión de salida del inversor.
- Rizado de corriente. Pequeña variación que se produce sobre el valor de la onda de corriente alterna al rectificarse o invertir una señal de CC a CA. A continuación, se analizarán cuáles son los parámetros que caracterizan a un inversor fotovoltaico para una instalación fotovoltaica conectada a red.

2.8. Sistema fotovoltaico conectado a la red – CERT UNJBG

Se describirá la instalación y los componentes del SFCR del campus de la UNJBG ubicado en las instalaciones del CERT-UNJBG (en adelante, SFCR). Además, mencionará los cálculos y resultados obtenidos de la toma de datos a lo largo del periodo estudiado.

2.8.1. Emplazamiento del SFCR

Los principales componentes del SFCR son donación del Proyecto EMERGIENDO CON EL SOL, un proyecto de Cooperación Científica para el Desarrollo.

Las coordenadas del sistema son:

Latitud: 18°1'28.26''

Longitud: -70°15'5.86''

La orientación de los paneles es de un aspecto importante, el ángulo de inclinación óptimo resulta $\theta_{opt}=19,501^\circ$, valor cercano al ángulo real dispuesto. (Coaquira, 2015)

2.8.2. Descripción del SFCR

El generador fotovoltaico está compuesto por las siguientes componentes:

2.8.2.1. Generador fotovoltaico

El generador está compuesto por 12 paneles solares de la marca SolarWorld modelo SW275 mono, todos ellos conectados en serie, dando una potencia total de 3300 W. Se tiene las siguientes características eléctricas para el generador SFCR:

Tabla 1.

Características técnicas del generador fotovoltaico

	STC	NOCT
Potencia en el punto de máx. potencia $P_{m\acute{a}x}$	275 Wp	205 Wp
Tensión en vacío V_{oc}	39,4 V	36,1 V
Tensión a máxima potencia V_{mpp}	31 V	28,4 V
Corriente de cortocircuito I_{sc}	9,58 A	7,75 A
Corriente a potencia máxima I_{mpp}	8,94 A	7,22 A
Eficiencia del módulo η	16,40 %	

Fuente: Laureano, (2017)

STC: PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS

1000 W/m², 25 °C, AM 1.5

NSTC: PERFORMANCE AT 800 W/m², NOCT, AM 1.5

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200 W/m², 100% (+/-2%) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved (SOLARWORLD, 2018).

El panel FV tiene 60 celdas de silicio que son del tipo monocristalino con área de 243,36 cm² por celda (156 cm x 156 cm) y 1,68 m² de área por panel FV (1,001m x 1,675m) (Figura 10).

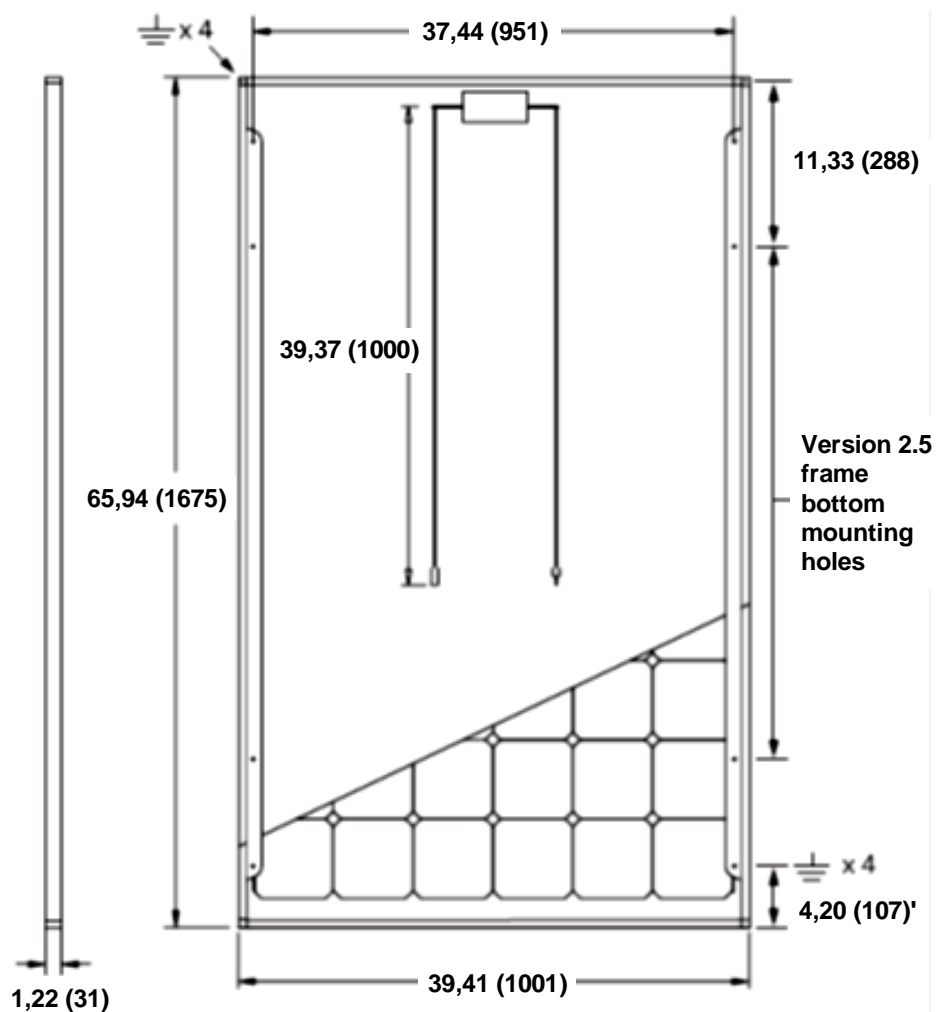


Figura 10: Detalles del panel FV SolarWord modelo SW275 mono
Fuente: (SOLARWORLD, 2018)

2.8.2.2. Inversor

El SFCR cuenta con el inversor de la marca StecaGrid, de la familia coolcept, y modelo 3010x. Este inversor está indicado para todos los módulos solares cuyas conexiones no deben requerir una puesta a tierra. (Figura 11)



Figura 11: Inversor StecaGrid familia coolcept-x, modelo 3010-x
Fuente: (Steca Elektronik, 2018)

Este inversor monofásico tiene las siguientes características eléctricas:

Tabla 2.

Características eléctricas del inversor StecaGrid 3010x – DC

Datos de entrada DC (generador FV)	
Tensión de entrada máxima	600 V
Rango de tensión de entrada de funcionamiento	125 V - 500 V
Corriente de entrada máxima	11.5 A
Corriente máxima en el cortocircuito	20 A/-13 A
Potencia máxima de entrada con la máxima potencia activa de salida	3070 W

Tabla 3.

Características eléctricas del inversor StecaGrid 3010x – AC

Datos de salida AC (conexión a la red)	
Tensión de salida nominal	230 V
Corriente máxima de salida	14 A
Potencia máxima activa (cos phi =1)	3000 W
Potencia máxima activa (cos phi =0.95)	3000 W
Potencia aparente máxima (cos phi=0.95)	3160 VA
Potencia nominal	3000W
Frecuencia nominal	50 Hz y 65 Hz
Fases de inyección	monofásico
Coefficiente de distorsión (cos phi = 1)	< 2 %
Factor de potencia cos phi	0,95 capacitivo 0,95 inductivo

Además, según el fabricante, el consumo propio por las noches es menor a 2 W, se puede obtener una eficiencia máxima de 98,0 %.
Eficiencia MPP > 99,7 % (estático), > 99,0 % (dinámico)

Este inversor StecaGrid 3010x tiene la ventaja de contar con un display en el que se pueden ver parámetros de funcionamiento, además guarda los rendimientos y los muestra en forma de lista para periodos diarios, mensuales y anuales, todos con muy limitada capacidad de espacio. (Figura 12)



Figura 12: Pantalla (monocromática, 128 x 64 píxeles)

Fuente: (Steca Elektronik, 2018)

Ejemplo visualización de estado de la potencia de salida:

- 1 Denominación de la visualización
- 2 Valor de medición con unidad
- 3 Fecha
- 4 Símbolo Mensajes de suceso no confirmados
- 5 Símbolo animado Conectado (muestra tráfico de datos en el bus RS485)
- 6 Símbolo Reducción de potencia (Derating)
- 7 Símbolo Función tensión fija activada
- 8 Hora
- 9 Dirección IP del aparato con conexión de red existente, visualización alternada con ③ – ⑦

2.8.2.3. Medida, control y protección

Todo generador de electricidad debe tener un sistema de protección y esto no es una excepción. Para este equipo se configuró un sistema de protección para corriente continua (DC) y Corriente Alterna (AC). (Figura 13)

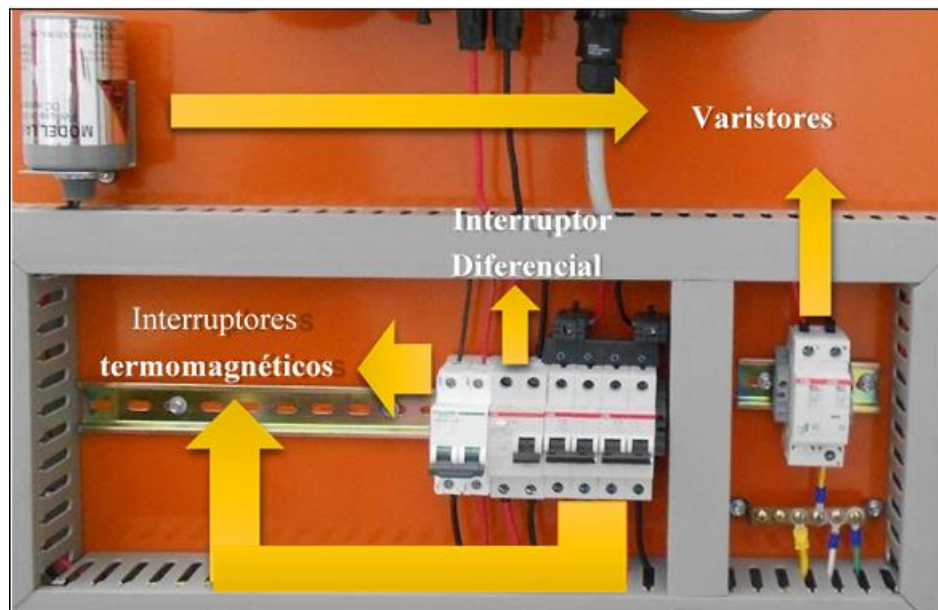


Figura 13: Sistema de protección instalado en el CERT tanto para DC y AC.

Fuente: (Polo, 2016)

El SFCR empleó los siguientes sistemas de protección: Varistores (protección contra sobre tensiones), Interruptor diferencial (protección contra fugas de corriente) e Interruptores termos magnéticos (protección contra corto circuito y sobrecarga) conocido también como magnético térmicos (Figura 13), estos equipos son los mínimos que debe tener un SFCR; además cuenta con un sistema de puesta a tierra.

Interruptor termomagnético: Tiene una función doble, la primera es termo referente a la temperatura, esta función es de proteger el conductor en caso de que exista una sobre corriente, sobrepasando la corriente máxima soportada del interruptor. La segunda función es magneto referente a la protección en caso de corto circuito (en donde también existirá una sobre corriente que sobrepase la corriente máxima soportada por el interruptor). En cualquiera de estos casos el interruptor automáticamente se desconecta.

Interruptor diferencial: Como su nombre lo indica, busca alguna diferencia de corriente entre los dos conductores, se basa en que la corriente que ingresa por un conductor es la misma que sale por el otro conductor. Si sucede alguna diferencia entre estos dos conductores, este equipo automáticamente desconecta el suministro de energía.

Varistor: Su función principal es proteger contra sobre tensiones, y si existiera todo esto descargaría a tierra, esa es la diferencia con los equipos de protección anteriores. Estas sobretensiones se presentan en zonas donde existen descargas eléctricas atmosféricas que pueden dañar al SFCR y equipos en uso en tiempos de milisegundos.

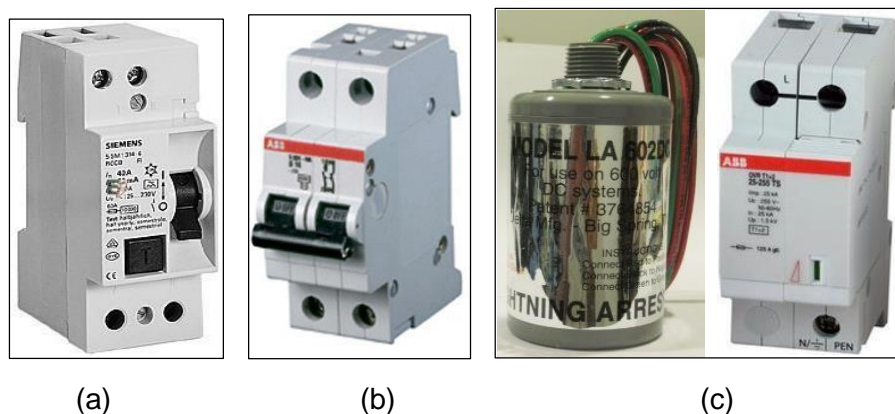


Figura 14: Sistema de protección instalado para DC y AC (a) Interruptor Diferencial (b) Interruptor termomagnético para DC y AC (c) Arrestor - DC (Izquierda) y TVSS - AC (derecha) para protección de sobre tensiones por descargas atmosféricas.

Fuente: (Polo, 2016)

En la (Figura 15) se muestra el diagrama de instalación y conexión del sistema de protección, desde el inversor a cada uno de los equipos de protección, conexión a puesta a tierra y por último a la red eléctrica de la Universidad.

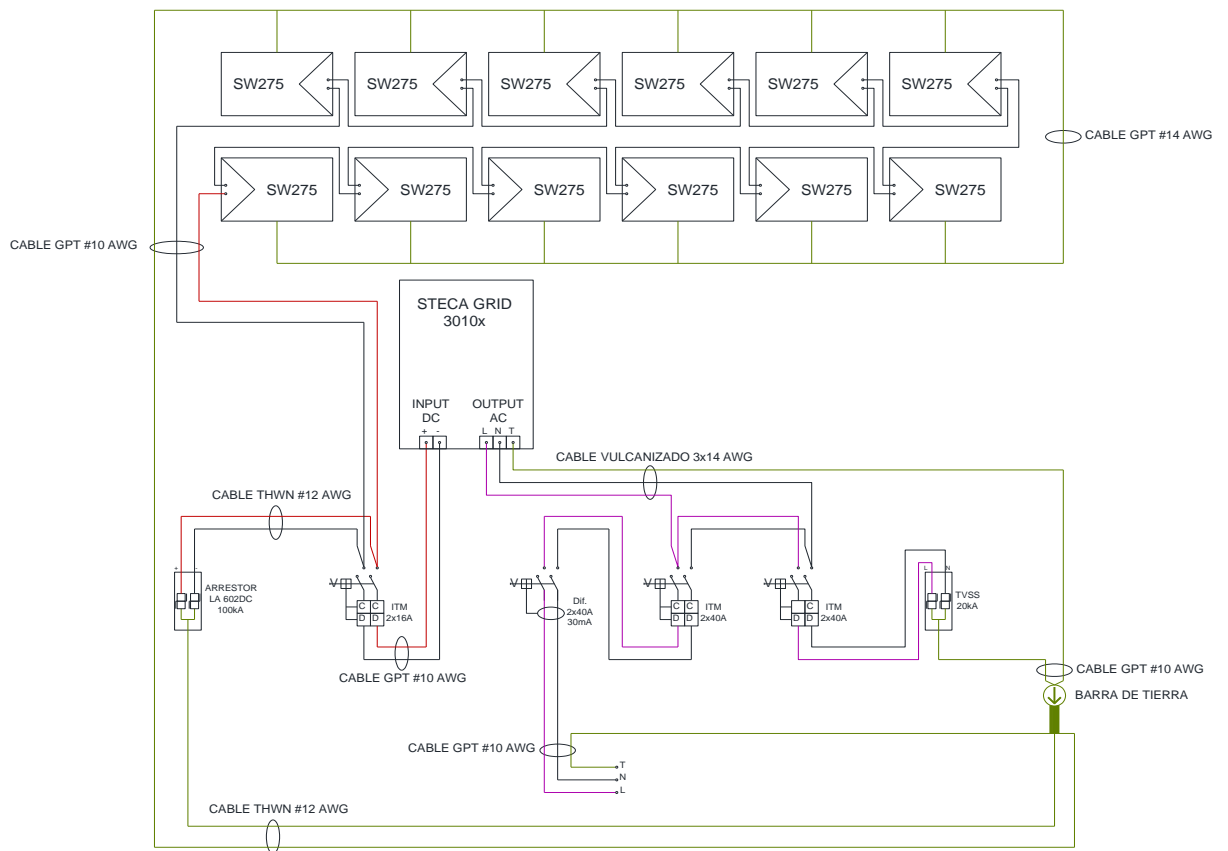


Figura 15: Diagrama de instalación y conexión del sistema de protección
Fuente: (Polo, 2016)

2.9. Programación estructurada

La programación estructurada es un estilo con el cual se busca que el programador elabore programas sencillos y fáciles de entender. Para ello, la programación estructurada hace uso de tres estructuras básicas de control (Rico, 2018). Éstas son:

- Estructura secuencial
- Estructura selectiva
- Estructura repetitiva (ó iterativa)

La programación estructurada se basa un teorema fundamental, el cual afirma que cualquier programa, no importa el tipo de trabajo que ejecute,

puede ser elaborado utilizando únicamente las tres estructuras básicas (secuencia, selección, iteración).

2.9.1. Definición de las tres estructuras básicas

Estructura secuencial

Indica que las instrucciones de un programa se ejecutan una después de la otra, en el mismo orden en el cual aparecen en el programa. Se representa gráficamente como una caja después de otra, ambas con una sola entrada y una única salida. (Programación Estructurada, 2018), (Figura 16)

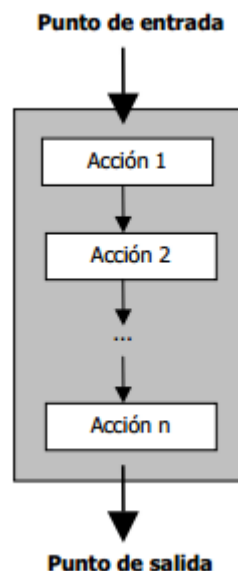


Figura 16: Estructura secuencial

Fuente: (Algoritmos y Modelado de datos, 2018)

Las cajas acción 1, acción 2 y acción n, pueden ser definidas para ejecutar desde una simple instrucción hasta un módulo o programa completo, siempre y cuando éstos también sean programas apropiados.

Estructura selectiva

La estructura condicional o alternativa permite bifurcar el flujo del algoritmo en función de una expresión lógica; se dispone de tres

estructuras alternativas diferentes: alternativa simple, alternativa doble y alternativa múltiple. (Algoritmos y Modelado de datos, 2018)

Se representa gráficamente de la siguiente manera. (Figura 17)

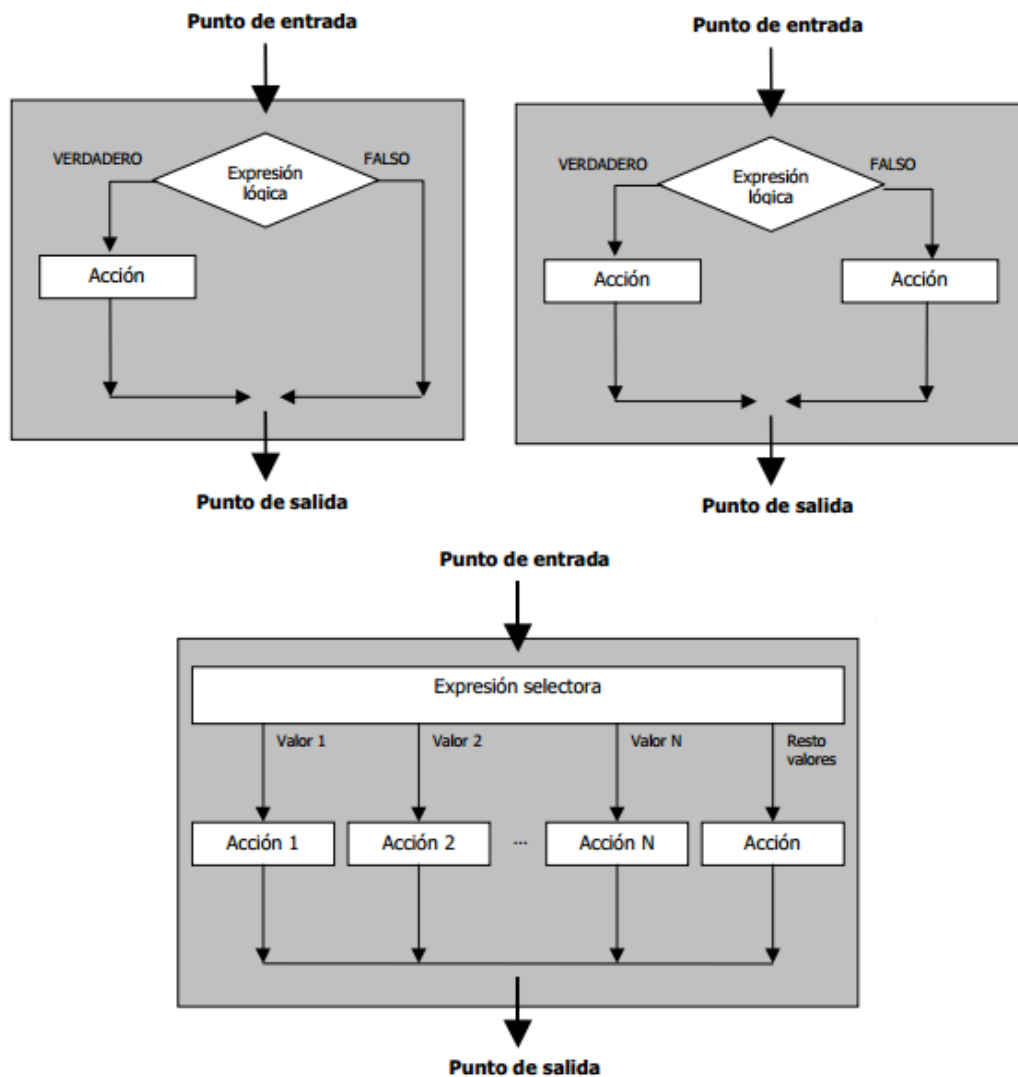


Figura 17: Estructuras selectivas

Fuente: (Algoritmos y Modelado de datos, 2018)

- Estructura condicional simple
Es el tipo de selección donde se tiene un bloque de instrucciones, cuya ejecución sólo debe darse en caso de que una determinada condición se cumpla.

- Estructura condicional doble
Es similar a la anterior con la salvedad de que en este tipo de estructura se indican acciones no sólo para la rama “verdadera” sino también para la “falsa”; es decir, en caso de la expresión lógica evaluada sea cierta se ejecutan una acción o grupo de acciones y en caso de que sea falsa se ejecuta un grupo diferente.
- Estructura condicional múltiple
Esta estructura evalúa una expresión que pueda tomar n valores y ejecuta una acción o grupo de acciones diferente en función del valor tomado por la expresión selectora.

Estructura repetitiva (Iterativa)

También llamada la estructura HACER-MIENTRAS-QUE, corresponde a la ejecución repetida de una instrucción mientras que se cumple una determinada condición. El diagrama de flujo para esta estructura es el siguiente. (Figura 18)

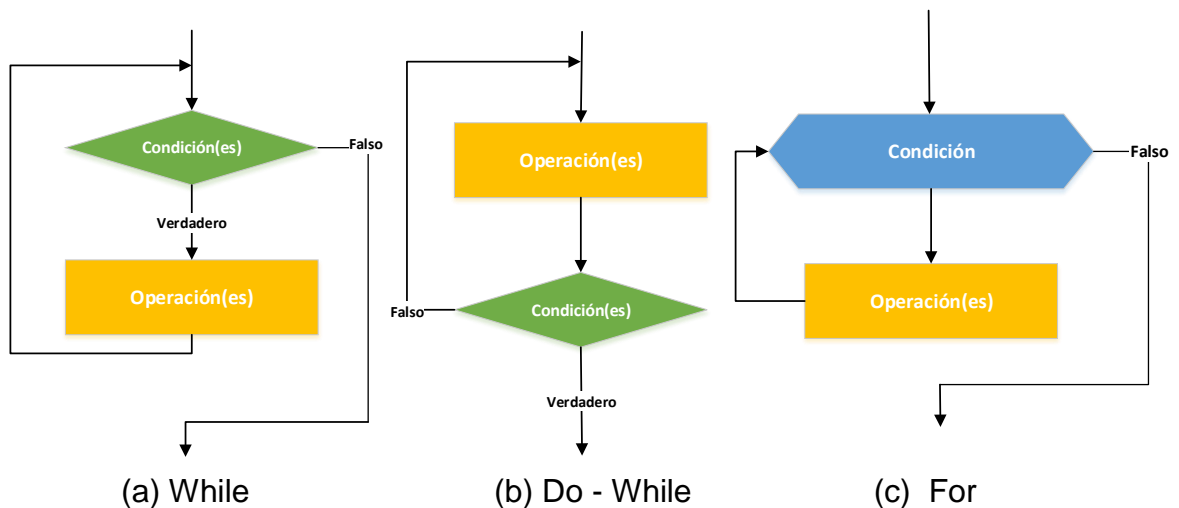


Figura 18: Estructuras repetitivas (Iterativo). (a) While (b) Do – While (c) For

Son herramientas que permiten ejecutar operaciones que se deben aplicar un número repetido de veces. El conjunto de instrucciones que se ejecuta repetidamente, se llama Ciclo, Bucle o Lazo.

Ventajas de la programación estructurada

Con la programación estructurada, elaborar programas de computadora sigue siendo una labor que demanda esfuerzo, creatividad, habilidad y cuidado. Sin embargo, con este nuevo estilo se puede obtener las siguientes ventajas:

1. Los programas son más fáciles de entender. Un programa estructurado puede ser leído en secuencia, de arriba hacia abajo, sin necesidad de estar saltando de un sitio a otro en la lógica, lo cual es típico de otros estilos de programación.
2. Se logra una reducción del esfuerzo en las pruebas. El seguimiento de las fallas o depuración (debugging) se facilita debido a la lógica más visible, de tal forma que los errores se pueden detectar y corregir más fácilmente.
3. Se crean programas más sencillos y más rápidos.

2.10. Software Matlab

Matlab es el nombre abreviado de "MATrix LABoratory". Matlab es un programa para realizar cálculos numéricos con vectores y matrices. (Barragan, 2009)

Como caso particular puede también trabajar con números escalares tanto reales como complejos, con cadenas de caracteres y con otras estructuras de información más complejas. Una de las capacidades más atractivas es la de realizar una amplia variedad de gráficos en dos y tres dimensiones. Matlab tiene también un lenguaje de programación propio.

Matlab es un gran programa de cálculo técnico y científico. Para ciertas operaciones es muy rápido, cuando puede ejecutar sus funciones en código nativo con los tamaños más adecuados para aprovechar sus

capacidades de vectorización. En otras aplicaciones resulta bastante más lento que el código equivalente desarrollado en C/C++ o Fortran. Matlab dispone de un código básico y de varias librerías especializadas (toolboxes).

INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO EN MATLAB (GUIDE)

GUIDE es un entorno de programación visual disponible en Matlab para realizar y ejecutar programas que necesiten ingreso continuo de datos. Tiene las características básicas de todos los programas visuales como Visual Basic o Visual C++. (Barragan, 2009)

INICIO

Para iniciar nuestro proyecto, lo podemos hacer de dos maneras:

- Ejecutando la siguiente instrucción en la ventana de comandos:
>> guide
- Haciendo un click en el ícono que muestra la (Figura 19).

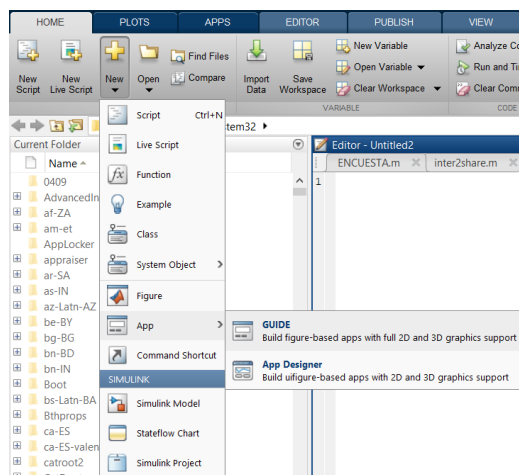


Figura 19: Nuevo proyecto GUIDE

A continuación, se presenta el siguiente cuadro de diálogo. (Figura 20)

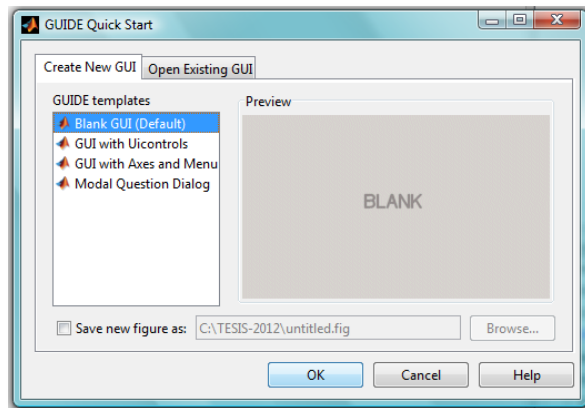


Figura 20: Ventana de inicio de GUI

El cual presenta las siguientes opciones:

a) Blank GUI (Default)

La opción de interfaz gráfica de usuario en blanco (viene predeterminada), presenta un formulario nuevo, en el cual se puede diseñar el programa.

b) GUI with Uicontrols

Esta opción presenta un ejemplo en el cual se calcula la masa, dada la densidad y el volumen, en alguno de los dos sistemas de unidades. Se puede ejecutar este ejemplo y obtener resultados.

c) GUI with Axes and Menu

Esta opción es otro ejemplo, el cual contiene el menú File con las opciones Open, Print y Close. En el formulario tiene un *Popup menu*, un *push button* y un objeto Axes, se puede ejecutar el programa eligiendo alguna de las seis opciones que se encuentran en el menú despegable y haciendo click en el botón de comando.

d) Modal Question Dialog

Con esta opción se muestra en la pantalla un cuadro de diálogo común, el cual consta de una pequeña imagen, una etiqueta y dos botones Yes

y *No*, dependiendo del botón que se presione, el GUI retorna el texto seleccionado (la cadena de caracteres 'Yes' o 'No').

Se elige la primera opción, *Blank GUI*, y tenemos. (Figura 21)

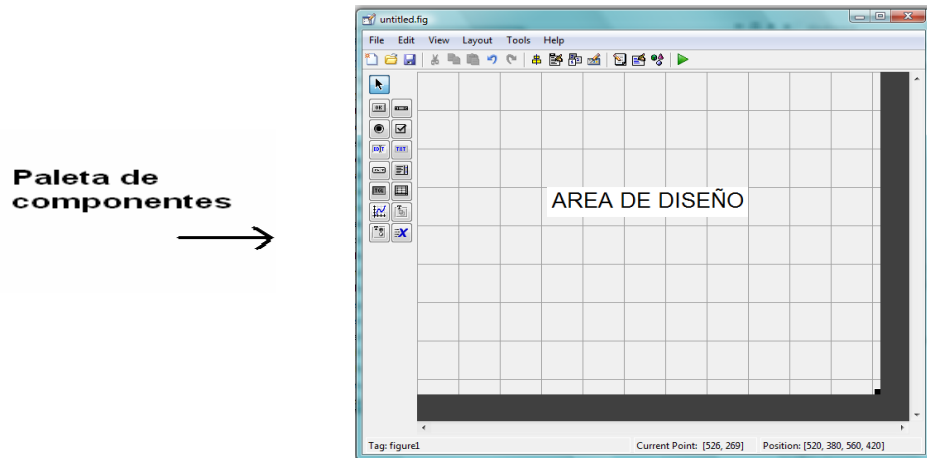


Figura 21: Entorno de diseño de GUI

La interfaz gráfica cuenta con las siguientes herramientas. (Figura 22)

	Alinear objetos.
	Editor de menú.
	Editor de orden de etiqueta.
	Editor del M-file.
	Propiedades de objetos.
	Navegador de objetos.
	Grabar y ejecutar (ctrl. + T).

Figura 22: Cuadro de herramientas de Matlab – GUIDE

Fuente: (Barragan, 2009)

Para obtener la etiqueta de cada elemento de la paleta de componentes se ejecuta: File >>Preferentes y seleccionamos Show names in component palette.

Se tiene la siguiente presentación. (Figura 23)

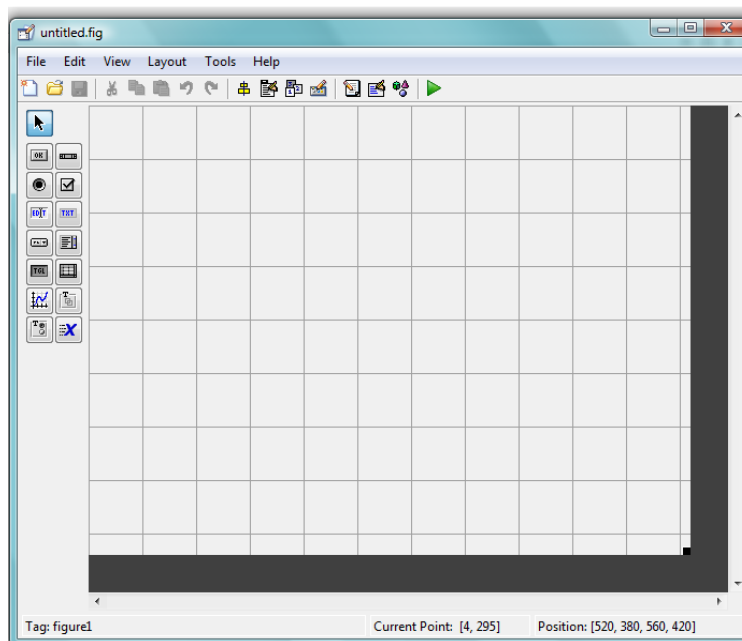


Figura 23: Entorno de diseño

La siguiente tabla muestra una descripción de los componentes:

Tabla 4.

Descripción de controles del entorno de diseño

Control	Valor de estilo	Descripción
Check bok	'checkbox'	Indica el estado de una opción o atributo
Editable Text	'edit'	Caja para pedir texto
Pop-up-menu	'popupmenu'	Provee una lista de opciones
List Box	'listbox'	Muestra una lista deslizable
Push Button	'pushbutton'	Invoca un evento inmediatamente
Radio Button	'radio'	Indica una opción que puede ser seleccionada
Toggle Button	'togglebutton'	Solo dos estados "on" o "off"
Slider	'slider'	Usado para representar un rango de valores
Static Text	'text'	Muestra un string de texto de una caja
Panel button		Agrupar botones como un grupo
Button Group		Permite exclusividad de selección con los radio

Fuente: (Barragan, 2009)

FUNCIONAMIENTO DE UNA APLICACIÓN GUI

Una aplicación GUIDE consta de dos archivos: .m y.fig. El archivo .m es el que contiene el código con las correspondencias de los botones de control de la interfaz y el archivo. fig. contiene los elementos gráficos. (Barragan, 2009)

Cada vez que se adicione un nuevo elemento en la interfaz gráfica, se genera automáticamente código en el archivo.m.

Para ejecutar una Interfaz Gráfica, si se ha etiquetado con el nombre curso.fig, simplemente ejecutamos en la ventana de comandos >> curso. O haciendo click derecho en el m-file y seleccionando la opción RUN.

MANEJO DE DATOS ENTRE LOS ELEMENTOS DE LA APLICACIÓN Y EL ARCHIVO .M

Todos los valores de las propiedades de los componentes (color, valor, posición, etiqueta, etc.) y los valores de las variables transitorias del programa se almacenan en una estructura, los cuales son accedidos mediante un único y mismo identificador para todos éstos. Tomando el programa listado anteriormente, el identificador se asigna en *handles.output = hObject*. (Barragan, 2017)

La variable *handles* es el identificador de los datos de la aplicación. Esta definición de identificador es actualizada con la siguiente instrucción: *guidata(hObject, handles)*; La variable *guidata* guarda los datos de la función asociada al componente. Como regla general, en cada función se debe escribir en la última línea la siguiente sentencia: *guidata(hObject, handles)*; Esta sentencia garantiza que cualquier cambio o asignación de propiedades o variables quede almacenado.

Por ejemplo, si dentro de una función cierta operación dio como resultado una variable llamada *valor*, para poder utilizarla desde el

programa u otra función se debe guardar de la manera indicada en el Listado:

```
handles.valor=valor;  
guidata(hObject,handles);
```

En la primera línea se ingresa la variable *valor* en la estructura de datos de la aplicación apuntada por *handles*. En la segunda, se almacena el valor. De esta manera, en cualquier otra función del archivo.m asociado, se puede leer esta variable conforme el código indicado en el listado anterior.

Uso de *guidata*: importar datos de otra función.
valor=handles.valor;

SENTENCIAS GET Y SET

La asignación u obtención de valores de los componentes se realiza mediante las funciones *get* y *set*. Por ejemplo, si se quiere que la variable *dato* tenga el valor del componente slider etiquetado como *slider1*, se escribe el código. (Barragan, 2017)

Sintaxis de la función *get*.

```
dato= get(handles.slider1,'Value');
```

Notar que siempre se obtienen los datos a través de los identificadores *handles*. Para asignar el valor a la variable *datos* al componente *statictext* etiquetado como *text1* se escribe el código.

Sintaxis de la función *set*.

```
set(handles.text1,'String',datos);
```

2.11. ISO/IEC 9126

ISO 9126 es un estándar para la evaluación de la calidad del producto software. La (Figura 24) muestra el marco de trabajo del modelo de

calidad 9126, en él se muestran las relaciones entre sus diferentes criterios de calidad. (Sunco, 2015)

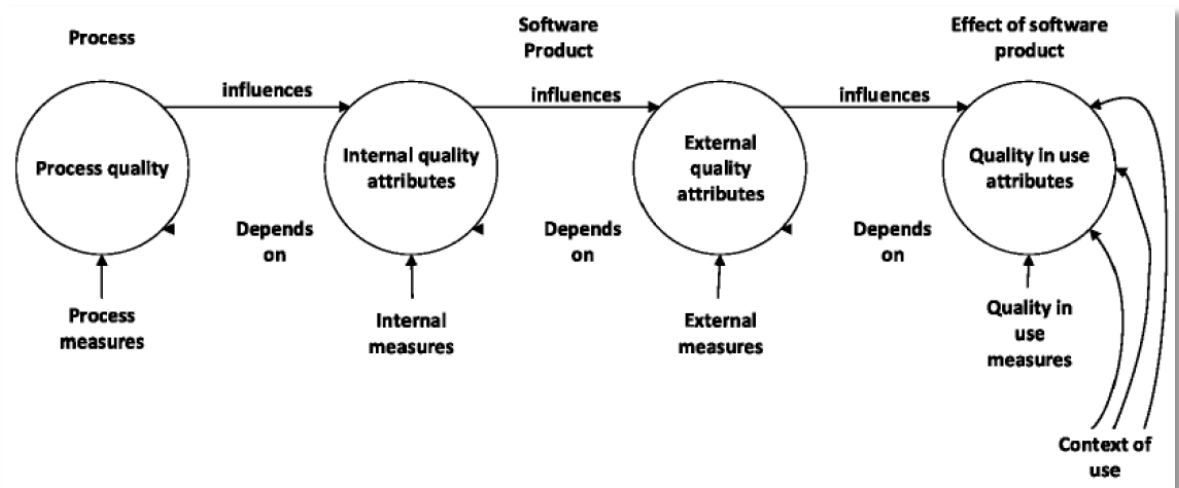


Figura 24: Calidad en el ciclo de vida del software

Fuente: (INTERNATIONAL STANDAR ISO 9126-1, 1992)

El modelo de calidad se divide en tres submodelos de calidad del producto software (calidad interna, calidad externa y calidad en uso), diez características de calidad, veinticuatro características secundarias y más de doscientos cincuenta medidas propuestas para cuantificar estas características y subcaracterísticas de calidad. El modelo de calidad para los atributos externos e internos se muestra en la (Figura 25).

El modelo se divide en seis características o factores de calidad (funcionalidad, confiabilidad, usabilidad, eficiencia, mantenibilidad y portabilidad), que a su vez se subdividen en subcaracterísticas.

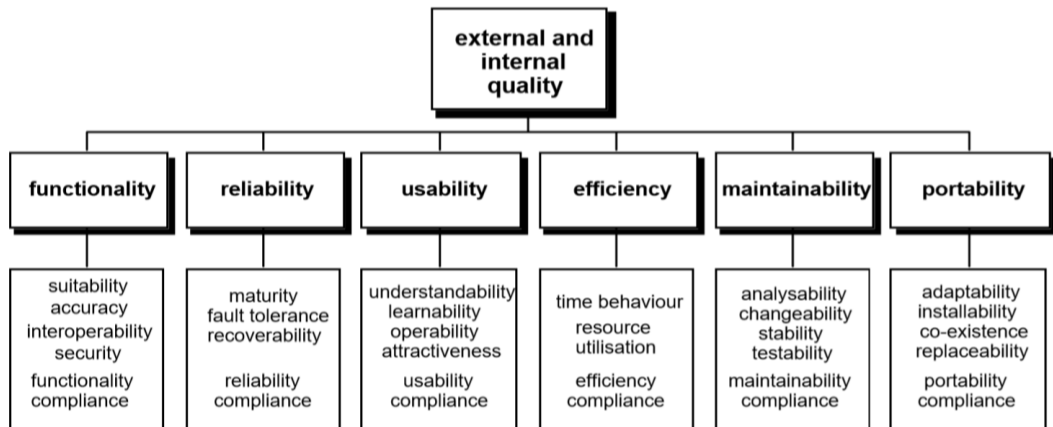


Figura 25: Modelo de calidad para calidad interna y externa

Fuente: (INTERNATIONAL STANDAR ISO 9126-1, 1992)

ISO/IEC 9126 define los seis factores de calidad del siguiente modo:

- **Funcionalidad:** conjunto de atributos que soporta la existencia de un conjunto de funciones y sus propiedades específicas. Las funciones son tales que satisfacen las necesidades establecidas.
- **Confiabilidad:** conjunto de atributos que soporta la capacidad del software para mantener su nivel de rendimiento bajo condiciones establecidas, por un periodo de tiempo definido.
- **Usabilidad:** conjunto de atributos que soporta el esfuerzo necesario para el uso y la evaluación individual de tal uso mediante un conjunto de usuarios establecidos e implícitos.
- **Eficiencia:** conjunto de atributos que soporta las relaciones entre el nivel de rendimiento del software y el monto de recursos empleados, bajo condiciones establecidas.
- **Mantenibilidad:** conjunto de atributos que soporta el esfuerzo necesario para realizar modificaciones especificadas.
- **Portabilidad:** conjunto de atributos que soporta la habilidad del software para transferirlo de un entorno a otro.

Las características y subcaracterísticas asociados a la calidad interna y externa se detallan y definen en la Tabla 5:

Tabla 5.

Características internas y externas de ISO 9126

Característica	Subcaracterística	Definición
Funcionalidad	Adecuación	Capacidad para proporcionar un conjunto de funciones apropiadas para ciertas tareas y objetivos.
	Precisión	Capacidad para proporcionar los resultados o efectos correctos o acordados, con el grado necesario de precisión.
	Interoperabilidad	Capacidad del producto software para interactuar con uno o más sistemas
	Seguridad	Capacidad para proteger la información y programas de accesos no autorizados, ya sean accidentales o deliberados.
	Conformidad de funcionalidad	Capacidad para adherirse a normas, convenciones, regulaciones y prescripciones similares relacionadas con la funcionalidad.
Confiabilidad	Madurez	Capacidad del producto software para evitar fallar como resultado de errores en el software.
	Tolerancia a fallos	Capacidad del software para mantener un nivel especificado de prestaciones en caso de fallos o de infringir sus interfaces.
	Recuperabilidad	Capacidad para restablecer un cierto nivel de prestaciones y de recuperación de datos directamente afectados en caso de fallo.
	Conformidad de confiabilidad	Capacidad para adherirse a normas, convenciones o regulaciones relacionadas con la confiabilidad.
Usabilidad	Comprensibilidad	Capacidad que permite al usuario entender si

		el software es adecuado y cómo puede ser usado para tareas o condiciones de uso particulares.
	Facilidad de aprendizaje	Capacidad del producto software que permite al usuario aprender sobre su aplicación.
	Operatividad	Capacidad del producto software que permite al usuario administrarlo y controlarlo.
	Atractivo	Capacidad de ofrecer un entorno atractivo para el usuario.
	Conformidad de usabilidad	Capacidad para adherirse a normas, convenciones, guías de estilo o regulaciones relacionadas con la usabilidad.
Eficiencia	Comportamiento temporal	Capacidad para proporcionar tiempos de respuesta, de proceso e índices de respuesta al realizar sus funciones bajo ciertas condiciones.
	Utilización de recursos	Capacidad para usar las cantidades y tipos de recursos adecuados cuando el software lleva a cabo su funcionamiento bajo condiciones determinadas.
	Cumplimiento de eficiencia	Capacidad para adherirse a normas o convenciones relacionadas con la eficiencia.
Mantenibilidad	Analizabilidad	Capacidad para poder diagnosticar deficiencias o causas de fallos en el software, o para identificar las partes que han de ser modificadas.
	Mutabilidad	Capacidad del producto software que permite que una determinada modificación o remoción de fallas, sea implementada.
	Estabilidad	Capacidad del producto software para evitar efectos inesperados debidos a modificaciones del software.
	Comprobabilidad	Capacidad del producto software que permite que el software modificado sea validado.

	Cumplimiento de mantenibilidad	Capacidad para adherirse a normas o convenciones relacionadas con la mantenibilidad.
Portabilidad	Adaptabilidad	Capacidad de adaptación a diferentes entornos sin la aplicación de otras acciones o medios diferentes a los provistos.
	Instalación	Capacidad del producto software para ser instalado en un cierto entorno.
	Coexistencia	Capacidad para coexistir con otro software independiente, en un entorno común, compartiendo recursos comunes.
	Reemplazabilidad	Capacidad del producto software para ser usado en lugar de otro producto software, para el mismo propósito, en el mismo entorno.
	Cumplimiento de portabilidad	Capacidad del producto software para adherirse a normas o convenciones relacionadas con la portabilidad.

Fuente: (Sunco, 2015)

El estándar ISO-9126 establece que cualquier componente de la calidad del software puede ser descrito en términos de una o más de seis características básicas. (Abud Figueroa, s.f)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

Descriptivo/aplicativo.

3.2. Variables de investigación

Identificación de variables

3.2.1. Variable independiente

Data del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica.

3.2.2. Variable dependiente

Aplicativo informático para el sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la UNJBG-Tacna.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 6.

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Definición operacional	Indicadores	Unidad de Medida
Data del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica.	Grupo compuesto por números, caracteres alfabéticos o símbolos que denotan, valores, del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica.	Irradiancia solar	Es la potencia de la radiación incidente por unidad de superficie.	Irradiancia	w/m ²
		Temperatura ambiente	Es la temperatura del aire registrada en el instante de la lectura.	Temperatura	°C
		Temperatura del modulo	Definida como la temperatura que alcanzan las celdas solares, cuando se somete al módulo a las condiciones de operación.	Temperatura	°C

Aplicativo informático para el sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la UNJBG - Tacna	Tipo de programa informático diseñado como herramienta para permitir a los usuarios realizar uno o diversos tipos de trabajo.	Usabilidad	Conjunto de atributos que soporta el esfuerzo necesario para el uso y la evaluación individual de tal uso mediante un conjunto de usuarios establecidos e implícitos.	Comprensibilidad (Capacidad que permite al usuario entender si el software es adecuado y cómo puede ser usado para tareas o condiciones de uso particulares)	Calificaciones mediante puntuación
		Usabilidad	Conjunto de atributos que soporta el esfuerzo necesario para el uso y la evaluación individual de tal uso mediante un conjunto de usuarios establecidos e implícitos.	Operatividad. (Capacidad del producto software que permite al usuario administrarlo y controlarlo)	Calificaciones mediante puntuación

3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

3.4.1. Instalación del sistema de monitoreo

El 15 y 16 de abril del año 2015 se instaló el Sistema de Monitoreo para el SFCR conformado por sensores para medir valores de la irradiancia, temperatura ambiente y del módulo, corriente y voltaje SFCR tanto para voltaje en AC como DC.

En la (Figura 26) se muestra el diagrama de instalación de los sensores y del sistema de monitoreo conectado a internet.



Figura 26: Diagrama de instalación de monitoreo del SFCR en el CERT
Fuente: (Sunco, 2015)

El sistema de monitoreo consta de los siguientes equipos:

- Un analizador de redes (EM24DIN)
- Un control y gestión de energía para sistemas FV (EosArray)
- Una fuente de alimentación en DC
- Un interruptor termomagnético C6

Todos estos equipos se pueden observar en la (Figura 27) y (Figura 28).

El analizador de redes (EM24DIM) es un equipo compacto para realizar las mediciones de energía activa, reactiva y lecturas a distancia de consumos de gas, agua caliente/fría y calefacción, así como la lectura de pulsos procedentes de contadores de kwh. Este equipo mide el voltaje, la corriente, la potencia activa, la potencia aparente, la potencia reactiva y el factor de potencia (Figura 27) y estos datos son enviados a un ordenador de uso exclusivo para este proyecto. La intensidad de corriente en DC se mide indirectamente mediante una resistencia SHUNT, la cual usa los equipos Eos-Array, que en este caso tiene:

Un módulo maestro y registrador de datos (VMU-M) que se encarga de reconocer los demás equipos, registrar estos datos y enviarlos a un ordenador.

Una unidad de medición de Sstring (VMU-S) que se encarga de medir la corriente en DC. Una unidad de variables ambientales (VMU-P) que se encarga de medir variables ambientales, en este caso la temperatura ambiente y la temperatura en el módulo FV (Figura 27b). Los equipos de Eos-Array, necesitan una alimentación DC, para esto se instaló un transformador de AC-DC (Figura 28a), este equipo cuenta con su propio sistema de ventilación para evitar el recalentamiento. También se instaló un interruptor termomagnético C6 (Figura 28b) para protección de sobre corrientes en este transformador.



(a)



(b)

Figura 27: Equipos instalados para el monitoreo del SFCR del CERT
(a) Analizador de Redes (b) Eos – Array VMU - (M,S,P)

Fuente: (Carlo Cavazzi, 2018)



(a)



(b)

Figura 28: Equipos instalados para el monitoreo del SFCR del CERT
(a) Transformador AC-DC (b) Interruptor Termomagnético

Fuente : (Carlo Cavazzi, 2018)

3.4.2. Tratamiento de datos

El SFCR cuenta con un sistema de adquisición de datos para su posterior análisis, en el que se usa el módulo EOS ARRAY y el software

de automatización LabView. Éste último almacena los datos de parámetros de interés (tensión y corriente AC/DC, potencia DC, potencia activa y parámetros ambientales) en formato .csv.

LabView toma y graba datos cada 15 segundos y los almacena en un archivo diario, sin embargo, el sistema cuenta con problemas de adquisición de datos,(el problema persiste hasta la actualidad) por lo que también se cuenta con datos corruptos y faltantes, por lo que es imprescindible realizar un monitoreo diario. (Laureano, 2017)

La instalación del sistema de monitoreo fue realizado por especialistas de la Universidad de Jaén.

Todos los datos que se monitorean del sistema se registran y muestran en un ordenador mediante un software diseñado para este proyecto “Emergiendo con el sol”. (Figura 29)



Figura 29: Ordenador dedicado al monitoreo del SFCR

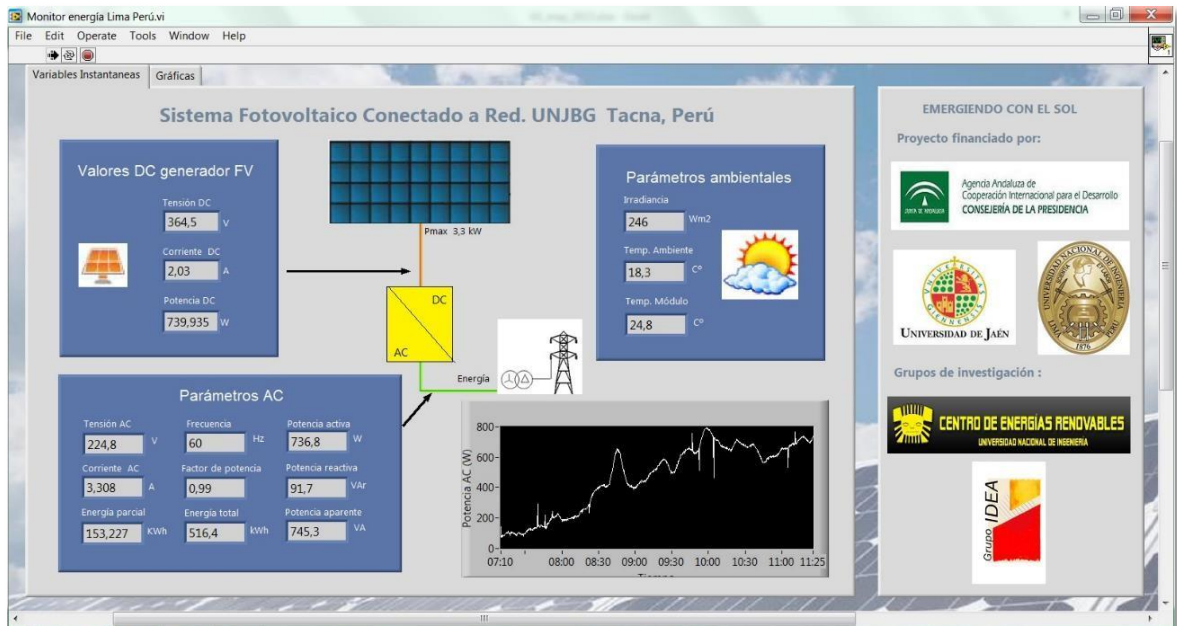


Figura 30: Ventana de datos instantáneos medidos

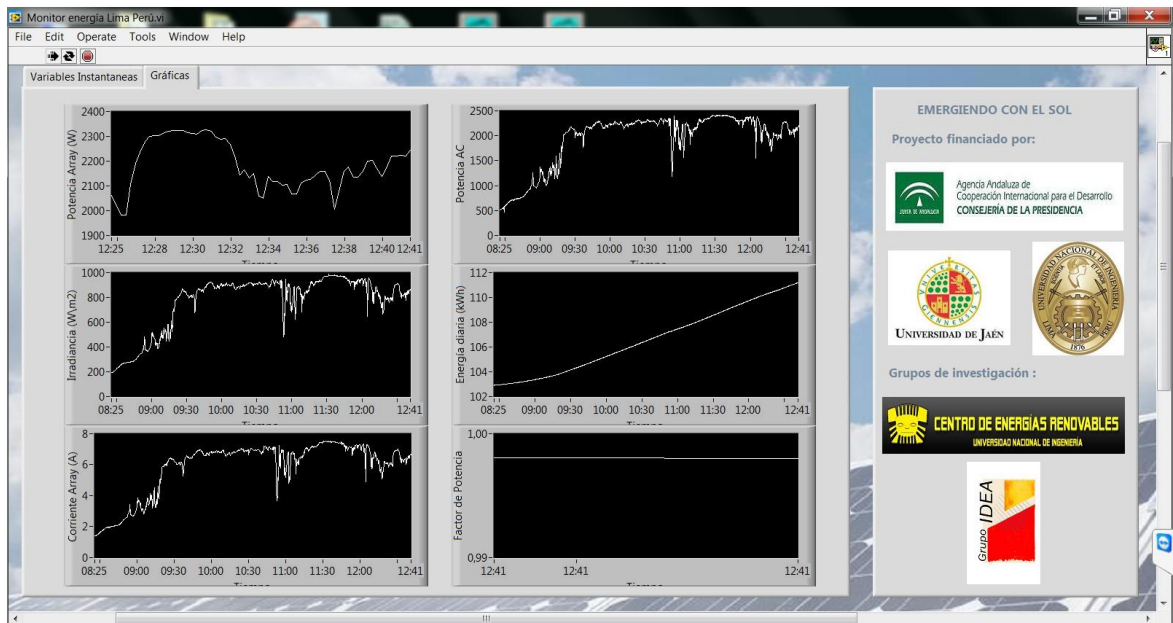


Figura 31: Ventana de gráficos de datos instantáneos medidos

- Los datos recolectados del sistema solar fotovoltaico conectado a la red de 3,3 kw. Instalado en el Centro de Energías Renovables de la Facultad de Ciencias, los cuales se almacenan electrónicamente cada 15 segundos, resultado del promedio de datos acumulados

cada 15 segundos, la data se encuentra almacenada físicamente en un ordenador destinado como almacén de la Base de Datos de SFCR en las instalaciones del CERT, cada archivo diario generado por la aplicación destinada a la adquisición de datos del SFCR, es de 5760 filas x 16 columnas en formato CSV, la datos almacenados se cuentan desde mediados de año 2015 hasta el presente, la recopilación de la data almacenada será mediante un dispositivo electrónico de almacenamiento (USB).

Los datos que se adquieren y almacenan electrónicamente son los siguientes:

- | | |
|--------------------|------------------|
| • Fecha_hora | • Energiatotal |
| • TensionAC | • EnergiaParcial |
| • CorrienteAC | • TensionDC |
| • Potenciaactiva | • CorrienteDC |
| • Potenciaaparente | • PotenciaDC |
| • Potenciareactiva | • Irradiancia |
| • Frecuencia | • Tempmodulo |
| • Factordepotencia | • Tempambiente |

A continuación, se muestra una tabla, la cual muestra el formato en el cual se almacenan los datos del SFCR.

En la (Figura 32) se muestra en resumen el proceso de adquisición de datos del SFCR, así como la operación del Aplicativo Informático.

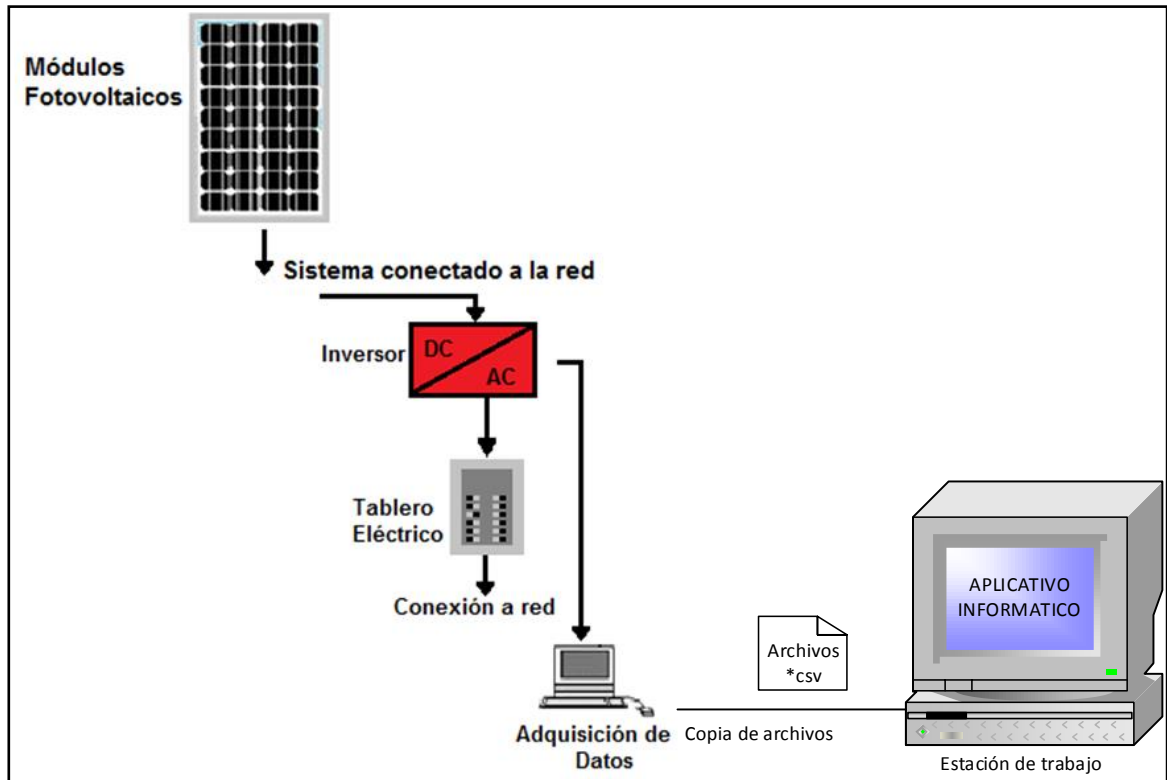


Figura 32: Modelo de adquisición de datos SFCR

3.4.3. Análisis de datos y desarrollo del aplicativo informático

- Familiarización conceptual de un SFCR.
Se procederá a familiarizarse con la terminología técnica que se emplea en un SFCR, y como se caracteriza.
- Análisis de la data almacenada del SFCR.
En esta etapa se procederá a familiarizarse con la data almacenada y analizar las variables que intervienen en el SFCR.
- Delimitación del ámbito del proyecto.
Resulta esencial determinar el ámbito del proyecto al comienzo del mismo. Se establecerá qué cuestiones han de resolverse durante la realización del proyecto y cuáles se dejarán fuera.

- Análisis del problema para el desarrollo aplicativo informático
En esta etapa se debe entender y comprender de forma detallada cuál es la problemática a resolver, verificando el entorno en el cual se encuentra dicho problema, de tal manera que se obtenga la información necesaria y suficiente para afrontar su respectiva solución.
- Diseño del aplicativo informático
En esta etapa ya sabiendo que se tiene la suficiente información del problema a solucionar, se procede a diseñar un modelo de interfaz gráfica, que no necesariamente es la interfaz gráfica final. Teniendo como guía lo siguiente.
 - ❖ Analizar al usuario que utilizará el aplicativo informático
 - ❖ Analizar al flujo de información
 - ❖ Diseño amigable de la interfaz gráfica de la aplicación.
- Programación del aplicativo informático que se implementará en el software Matlab.
En esta etapa se procederá a la codificación del aplicativo informático, esta etapa es de gran importancia pues definirá varios aspectos, entre ellos la presentación final que tenga el interfaz gráfico, así como los resultados que mostrará, en lo personal esta etapa es un reto ya que por formación a nivel de licenciatura los físicos no están entrenados en la programación, sin que ello signifique que no lo podrán hacer.
- Probar el funcionamiento del aplicativo informático, cargando y corriendo con la data del SFCR instalado en el CERT.
En esta etapa se efectuará las pruebas del aplicativo informático, comprobando que el aplicativo realice correctamente las tareas indicadas en la especificación, se pondrá a prueba cada módulo del aplicativo informático, los cuales son análisis diario, análisis mensual, análisis anual, corrigiendo los errores que se pudiese estar cometiendo.

- Realizar un pequeño manual de usuario.

En esta etapa final se elabora un pequeño manual de usuario donde se explicará la forma de operar correctamente, así como los cuidados que se deberá tener para el buen funcionamiento del aplicativo informático, el manual se entregará junto al ejecutable del aplicativo informático, los cuales se entregarán a la escuela de Física Aplicada.

3.4.4. Metodología para la evaluación del aplicativo informático

Sistema de Escalas de Usabilidad: ¿qué es y para qué sirve?

Aparte de lo mucho o poco que le guste la interfaz diseñada para la web o aplicación, hay maneras estadísticas de medir lo que piensan los demás. (TemplateMonster, 2018)

Un Sistema de Escalas de Usabilidad, también conocido como Escala de Usabilidad de un Sistema (EUS) o simplemente SUS por sus siglas en inglés (System Usability Scale) es una herramienta metodológica muy similar a la Escala de Likert y que se usa para medir la usabilidad de un objeto, dispositivo o aplicación. (UXpañol, 2018)

La escala

La escala en sí consiste en 10 preguntas, cada una de las cuales puede ser puntuada de 1 a 5, donde 1 significa *Total desacuerdo* y 5 significa *Total acuerdo*.

¿Cómo se aplica?

En primer lugar, se presenta el *sistema, objeto, dispositivo, aplicación* que se desea medir a los usuarios de prueba.

Una vez que el usuario defina si está de acuerdo o no en todo lo que se le pregunte se puede sacar un promedio, y con ello una calificación final que define el nivel de usabilidad del sitio.

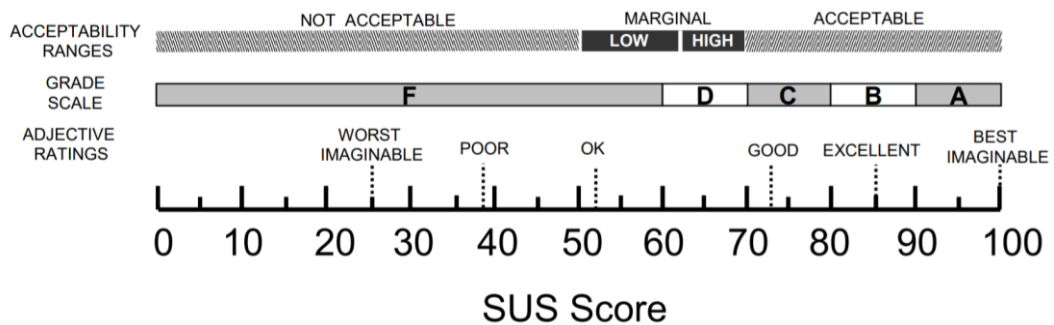


Figura 33: Escala de puntuación

Fuente: (Bangor, Kortum, & Miller, 2009)

La escala de puntuación se detalla a continuación tomando como referencia a (Medium, 2018) :

- Si llega a 25 puntos, el escenario es **lo peor imaginable**.
- Si va de 25 hasta 38, entonces la usabilidad es **pobre**.
- De 38 hasta 52, digamos que está **ok** (esto ya es como un mínimo aceptable).
- De 52–73 la usabilidad está considerada como **buena**.
- Si llega hasta los 85, entonces es **excelente**.
- De 85 a 100 es lo **mejor posible**, a esto es lo que debería aspirar cualquier plataforma digital.

La medición

Para obtener los resultados, se procederá sobre el valor numérico que haya rellenado el usuario, debe hacer lo siguiente: se va a sumar los resultados promediados obtenidos de los cuestionarios realizados a los usuarios, considerando lo siguiente:

- Las preguntas impares (1, 3, 5, 7 y 9), tomarán el valor asignado por el usuario, y se le restará 1.
- Para las preguntas pares (2, 4, 6, 8 y 10), será de 5 menos el valor asignado por los entrevistados. Una vez obtenido el número final, se lo multiplica por 2,5.

CAPÍTULO IV

APLICATIVO INFORMÁTICO

4.1. Descripción del aplicativo informático

El aplicativo informático desarrollado para caracterizar el sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la UNJBG, se empleó el software Matlab 9.2 para el desarrollo del aplicativo, la metodología de programación adoptada fue la de programación estructurada, en base a estructuras secuenciales, de decisión e iterativas, así mismo, se empleó funciones definidas por el usuario, comandos predefinidos por Matlab y conceptos básicos de matrices y vectores en Matlab. El aplicativo se divide en tres grandes bloques: (Figura 34)

Bloque de insumos o entradas. Aquí se realiza la lectura de los archivos de la base de datos, así como la adecuación de los mismos para poder ser trabajados por Matlab.



Figura 34: Bloques básicos del aplicativo informático

Bloque de procesamiento. Las actividades llevadas a cabo en este bloque vienen a ser prácticamente el corazón del aplicativo, se desarrolla la mayor parte de las operaciones aritméticas, iteraciones, decisiones, llamados de funciones y ejecución de comandos de predefinidos por Matlab.

Bloque de resultados. Aquí se muestra la mayoría de resultados obtenidos, ya sean a través de textos, gráficos y tablas. Además de mostrar los resultados en la pantalla de la PC el aplicativo de manera opcional, da la opción de guardar gráficos y tablas de resultados obtenidos. Para la información presentada en un tabla crea un archivo en formato “*.xlsx” o “*.csv” en donde copia la información mostrada por el objeto Table de Matlab, así mismo, permite guardar los gráficos mostrados por el objeto Axes en formatos “*.jpg” o “*.tif”.

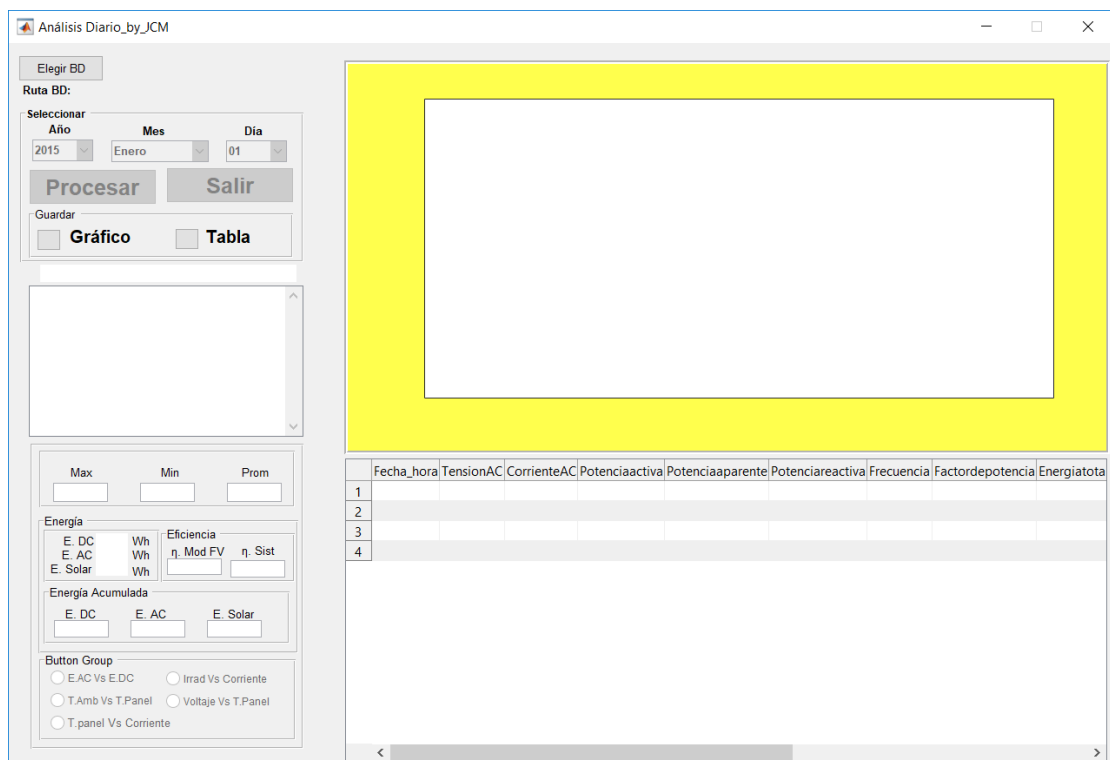


Figura 35: Ventana de análisis diario del SFQR

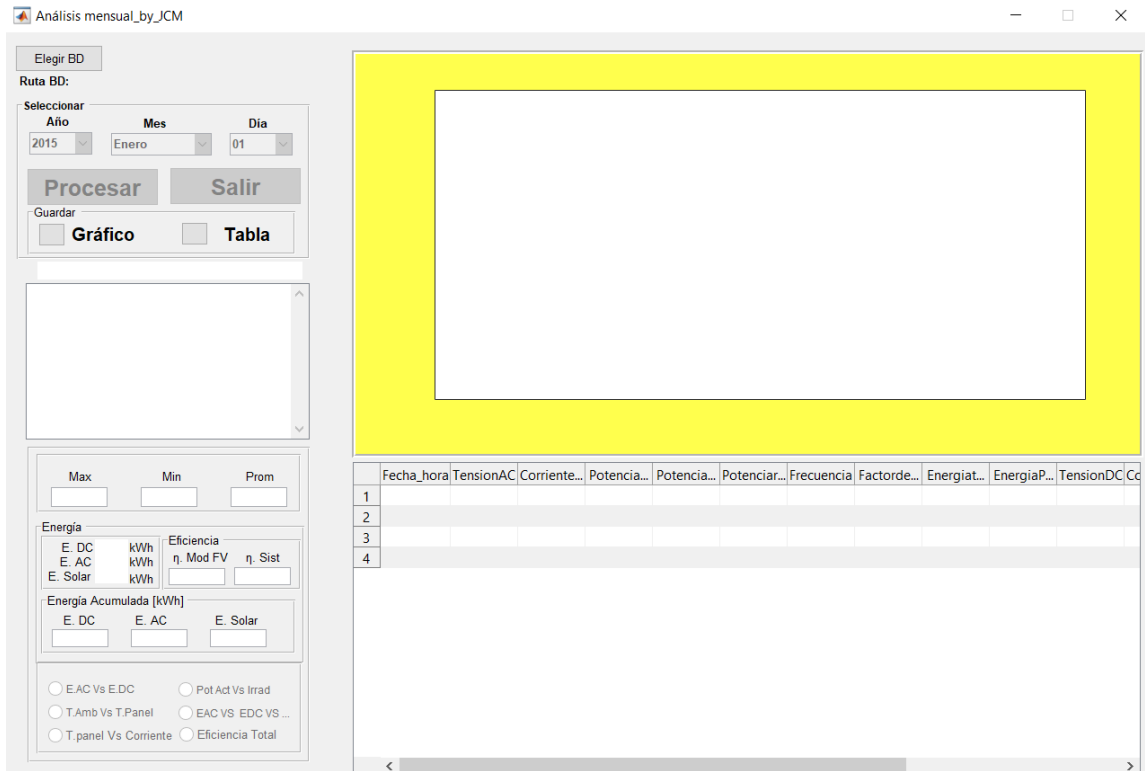


Figura 36: Ventana de análisis mensual del SFCR

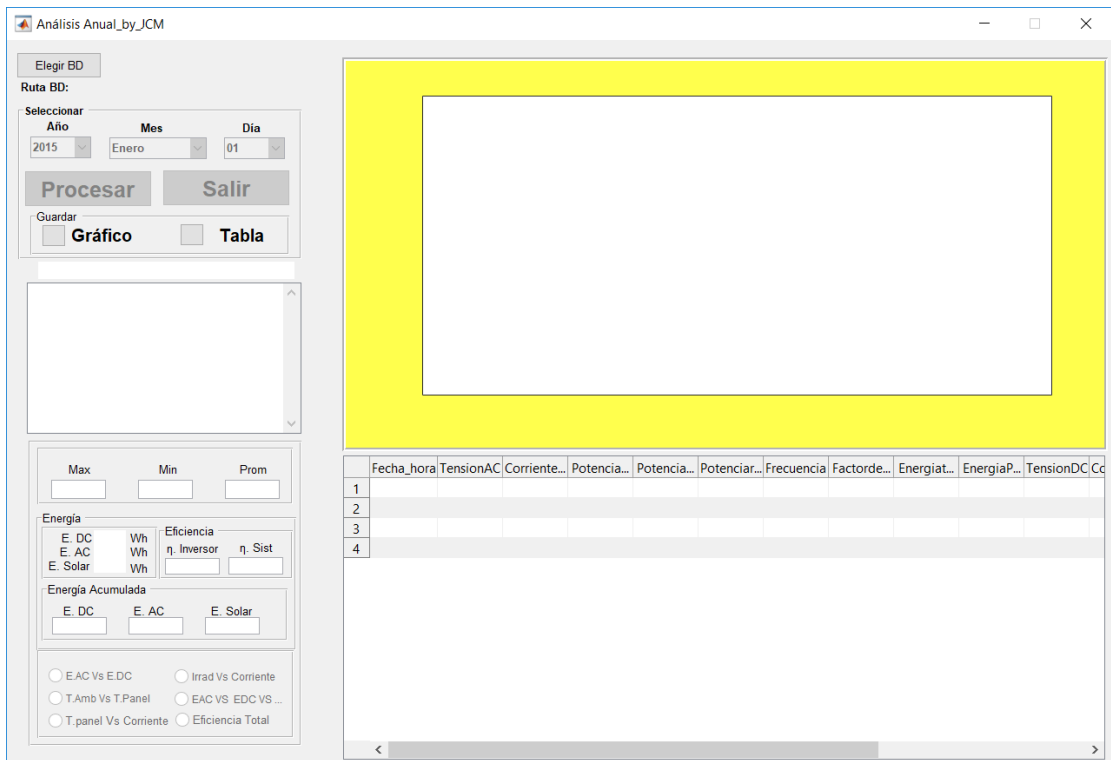


Figura 37: Ventana de análisis anual del SFCR



Figura 38: Ventana menú de presentación del SFCR

CAPÍTULO V

RESULTADOS

Para la caracterización del SFCR, importante poder determinar las eficiencias de los módulos FV, así como la eficiencia del sistema FV.

En las siguientes líneas se muestra el resultado de la caracterización del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la UNJBG utilizando un aplicativo informático, se tomó como marco de referencia el año 2017, tomando para el análisis diario la fecha de 21 de marzo de 2017, para el análisis mensual se escogió el mes de octubre, así mismo, se debe resaltar que por motivos ajenos el sistema de adquisición de datos no almacenó los datos de todos los meses, lo cual se detalla en el siguiente cuadro.

Tabla 8.

Archivos faltantes, periodo 2017

MES	ARCHIVOS FALTANTES			ARCH. INCOMPLETOS FECHA
	DEL	AL	SUB TOTAL	
ENERO	-	-	-	-
FEBRERO	-	-	-	-
MARZO	24	31	8	23
ABRIL	1	16	16	17
MAYO	-	-	-	-
JUNIO	18	20	3	17 Y 21
JULIO	10	12	3	09 Y 13
AGOSTO	-	-	-	-
SETIEMBRE	-	-	-	-
OCTUBRE	-	-	-	-
NOVIEMBRE	6	13	8	05 Y 14
DICIEMBRE	-	-	-	-
		TOTAL	38	8

Como se aprecia de 365 archivos que se debería tener como base de datos solo se cuenta con 327, así mismo, se tiene 8 archivos incompletos, el mes que más archivos faltantes tiene es el mes de abril, seguidos por los meses de marzo y noviembre.

5.1. Caracterización del SFCR, analizando solo un día

Para la caracterización del SFCR se eligió, el día 21 de marzo de 2017, a continuación, algunos de los resultados más resaltantes:

En la presente Tabla 9 se muestra solo los datos para un intervalo de 04 minutos, por motivos de presentación; el análisis se realizó sobre los datos a lo largo de 24 horas. Se muestra a continuación los resultados más resaltantes obtenidos.

Tabla 9.

Extracto de los datos del día 21 de marzo de 2017

Fecha__hora__	Tensión AC (V)	Corriente AC (A)	Potencia activa (W)	Potencia aparente (VA)	Potencia reactiva (VAr)	Frecuencia (Hz)	Factor de potencia	Energía total (kwh)	Energía Parcial (kwh)	Tensión DC (V)	Corriente DC (A)	Potencia DC (W)	Irradiancia (W/m ²)	Temp modulo (°C)	Temp ambiente (°C)
2017-03-21 13:09:42	229,40	10,06	2299,80	2302,80	107,10	60	1,00	10023,00	1065,95	328,80	7,15	2350,92	841,00	48,80	29,00
2017-03-21 13:09:57	229,30	10,05	2300,50	2303,50	117,50	60	1,00	10023,00	1065,96	329,40	7,12	2345,33	841,00	48,90	28,90
2017-03-21 13:10:12	229,60	9,97	2282,30	2292,70	113,20	60	1,00	10023,00	1065,97	328,20	7,12	2336,78	839,00	49,10	28,80
2017-03-21 13:10:27	229,30	9,98	2285,20	2288,60	124,70	60	1,00	10023,00	1065,98	328,60	7,11	2336,35	835,00	49,10	28,80
2017-03-21 13:10:42	229,80	9,95	2282,40	2282,30	102,40	60	1,00	10023,00	1065,99	328,40	7,10	2331,64	835,00	49,20	28,80
2017-03-21 13:10:57	229,60	9,97	2285,20	2288,60	124,70	60	1,00	10023,00	1066,00	329,00	7,10	2335,90	837,00	49,20	28,80
2017-03-21 13:11:12	229,60	9,95	2281,90	2285,40	126,40	60	1,00	10023,10	1066,00	329,00	7,09	2332,61	837,00	49,40	28,80
2017-03-21 13:11:27	229,90	9,87	2266,30	2269,80	126,00	60	1,00	10023,10	1066,01	329,40	7,05	2322,27	833,00	49,50	28,90
2017-03-21 13:11:42	229,90	9,92	2279,60	2281,80	122,40	60	1,00	10023,10	1066,02	329,40	7,06	2325,56	833,00	49,60	29,00
2017-03-21 13:11:57	230,20	9,91	2278,80	2281,70	115,00	60	1,00	10023,10	1066,03	329,60	7,08	2333,57	837,00	49,60	29,00
2017-03-21 13:12:12	229,90	9,92	2277,60	2280,30	110,90	60	1,00	10023,10	1066,04	329,40	7,05	2322,27	833,00	49,50	29,00
2017-03-21 13:12:27	229,40	9,95	2284,20	2287,20	108,90	60	1,00	10023,10	1066,05	329,40	7,06	2325,56	833,00	49,60	29,10
2017-03-21 13:12:42	229,80	9,98	2290,00	2293,10	119,10	60	1,00	10023,10	1066,06	329,20	7,10	2337,32	837,00	49,50	29,10
2017-03-21 13:12:57	229,70	10,01	2296,80	2299,50	111,40	60	1,00	10023,10	1066,07	329,20	7,12	2343,90	839,00	49,10	29,00
2017-03-21 13:13:12	229,80	9,99	2292,20	2301,60	117,40	60	1,00	10023,10	1066,08	329,90	7,12	2348,89	837,00	48,70	28,90
2017-03-21 13:13:27	229,70	9,94	2279,00	2282,90	133,30	60	1,00	10023,10	1066,09	329,60	7,06	2326,98	837,00	48,50	28,90
2017-03-21 13:13:42	230,10	9,98	2293,20	2296,10	115,30	60	1,00	10023,10	1066,10	330,20	7,08	2337,82	832,00	48,30	29,10
2017-03-21 13:13:57	230,10	10,02	2300,40	2303,10	109,30	60	1,00	10023,20	1066,11	330,50	7,11	2349,86	835,00	48,40	29,40

Irradiación:

- Máxima: 992 w/m²
- Mínima: 27 w/m²
- Promedio: 605,59 w/m²

Energía promedio:

- Energía generada por el generador fotovoltaico (E.DC): 6,59 wh
- Energía transformada a la salida del inversor (E.AC): 6,47 wh
- Energía solar incidente sobre los paneles fotovoltaicos (E. Sol): 48,29 wh

Energía acumulada:

- Energía generada por el generador fotovoltaico (E.DC): 18,4555 kwh
- Energía transformada a la salida del inversor (E.AC): 18,1107 kwh
- Energía solar incidente sobre los paneles fotovoltaicos (E. Sol): 128,828 kwh

Eficiencia:

- Eficiencia del módulo fotovoltaico ($\eta_{mod\ FV}$) = 14,28 %
- Eficiencia del Sistema (η_{sist}) = 14,03 %

Las gráficas obtenidas mediante el procesamiento de la data almacenada empleando el aplicativo informático se muestran a continuación para el análisis diario correspondiente a la fecha de 21 de marzo de 2017. (Figura 39), (Figura 40), (Figura 41), (Figura 42)

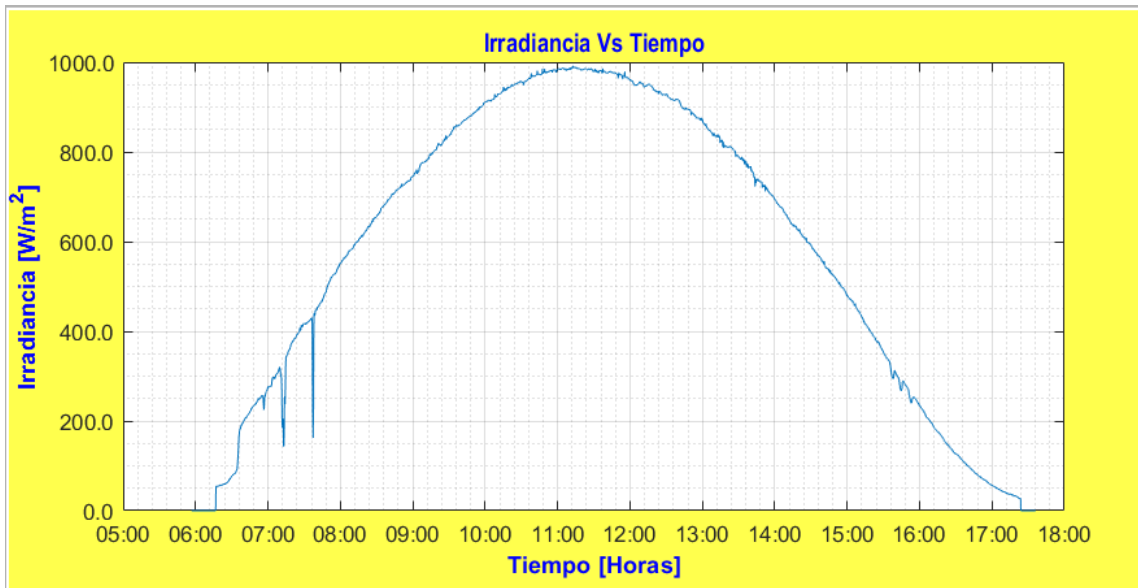


Figura 39: Gráfico de Irradiación vs Tiempo

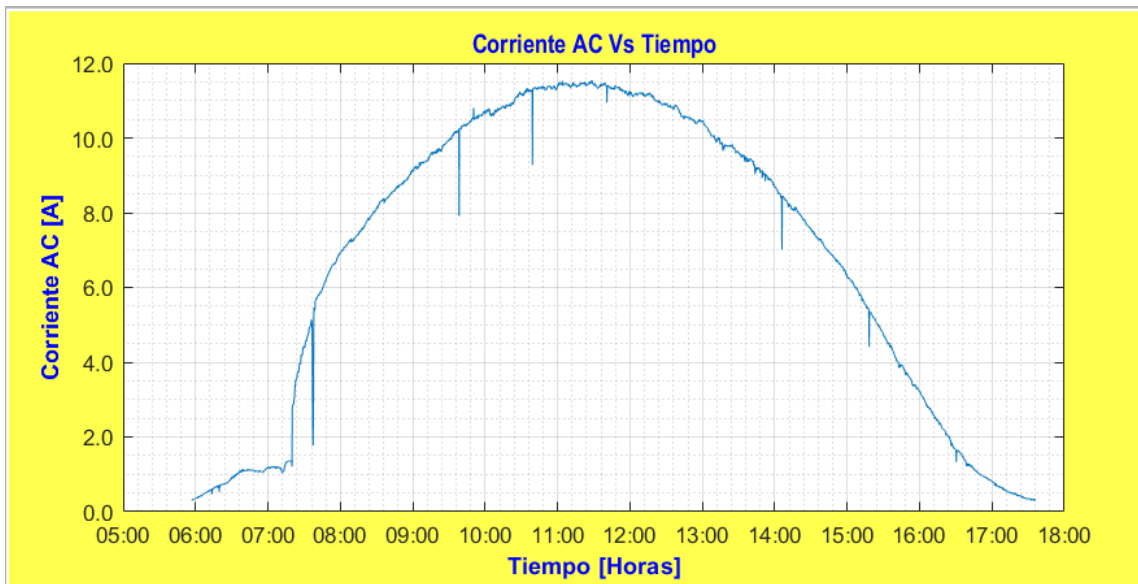


Figura 40: Gráfico de Irradiación vs Tiempo

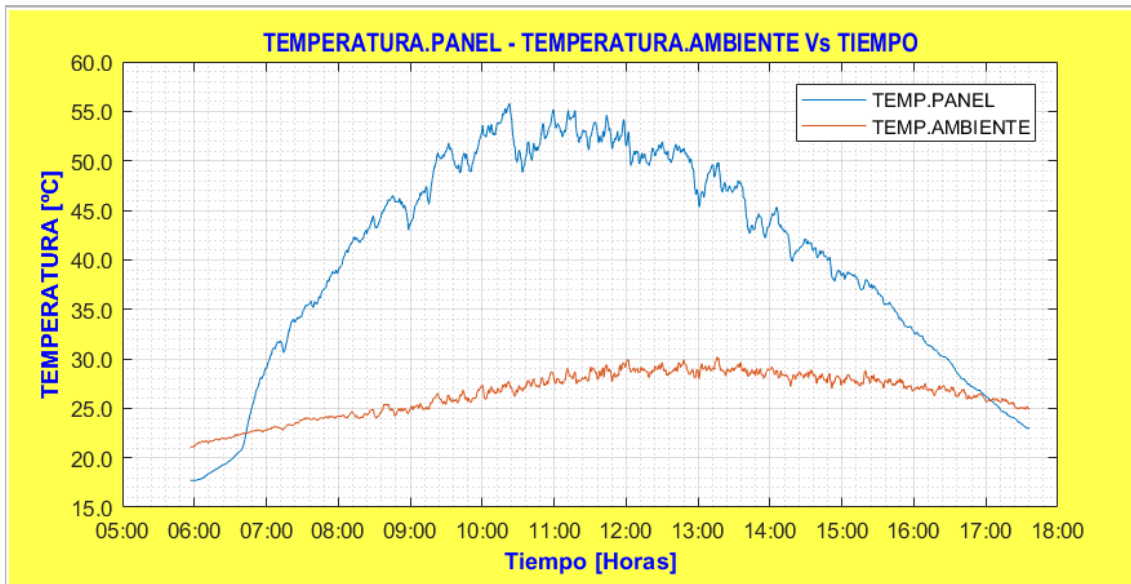


Figura 41: Temperatura. Panel – Temperatura. Ambiente vs Tiempo

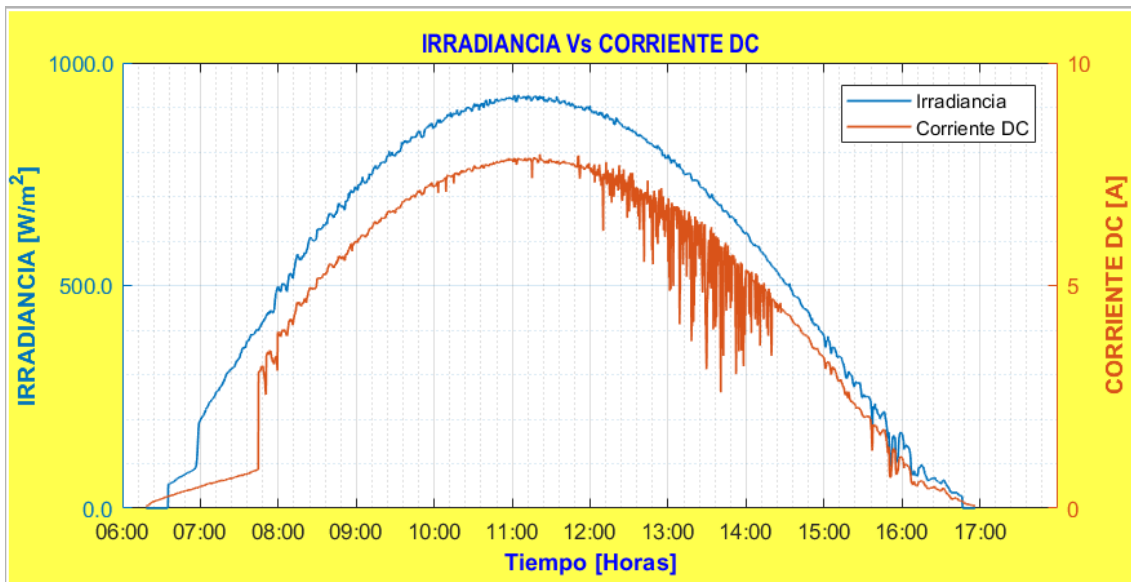


Figura 42: Irradiancia vs Corriente DC

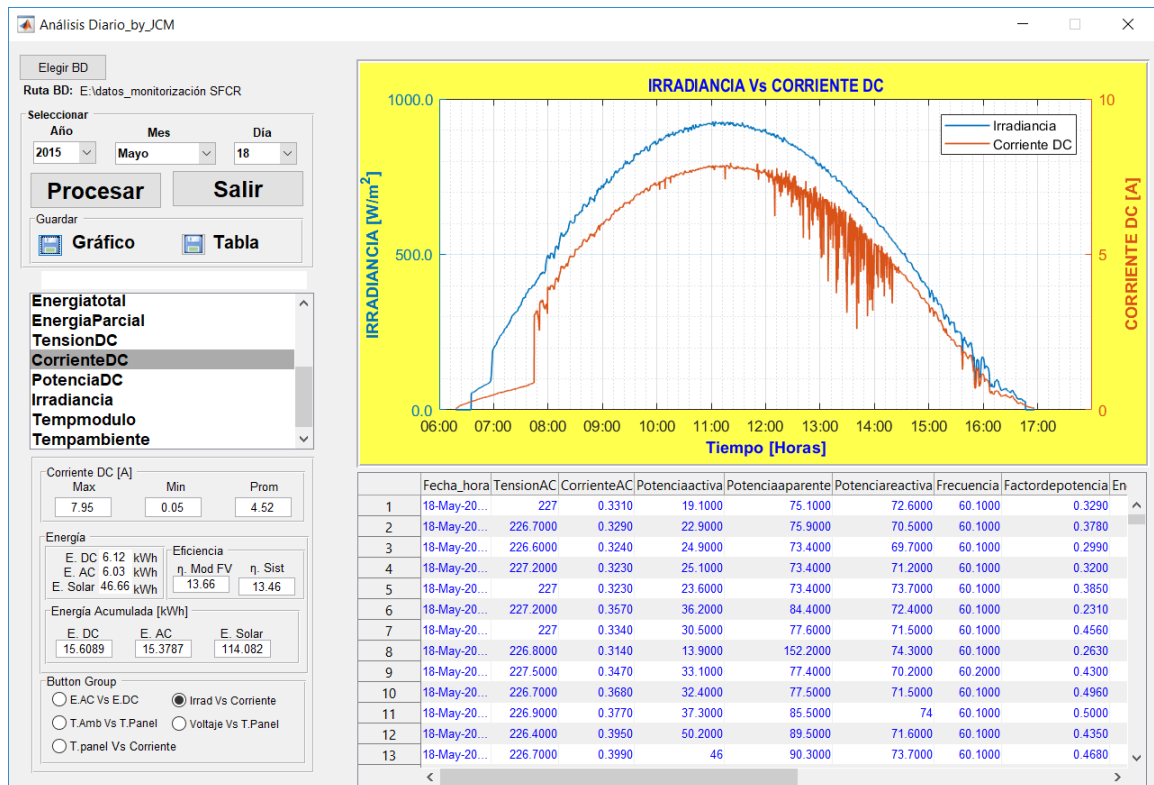


Figura 43: Vista del aplicativo en ejecución - Análisis diario

5.2. Caracterización del SFCR, análisis un mes

Para la caracterización mensual se escogió el mes de octubre de 2017, obteniendo los siguientes resultados.

Irradiación:

- Máxima: 637,64 w/m²
- Mínima: 296,51 w/m²
- Promedio: 524,45 w/m²

Energía promedio:

- Energía generada por el generador fotovoltaico (E.DC): 2,90 kwh
- Energía transformada a la salida del inversor (E.AC): 2,87 kwh
- Energía solar incidente sobre los paneles fotovoltaicos (E. Sol): 41,95 kwh

Energía acumulada:

- Energía generada por el generador fotovoltaico (E.DC): 517,113 kwh
- Energía transformada a la salida del inversor (E.AC): 511,748 kwh
- Energía solar incidente sobre los paneles fotovoltaicos (E. Sol): 3 396,23 kwh

Eficiencia:

- Eficiencia del módulo fotovoltaico ($\eta_{mod\ FV}$) = 15,19 %
- Eficiencia del Sistema (η_{sist}) = 14,97 %

Las gráficas de obtenidas mediante el procesamiento de la data almacenada empleando en aplicativo informático se muestran a continuación para el análisis mensual correspondiente al mes de octubre. (Figura 44), (Figura 45), (Figura 46), (Figura 47), (Figura 48), (Figura 49)

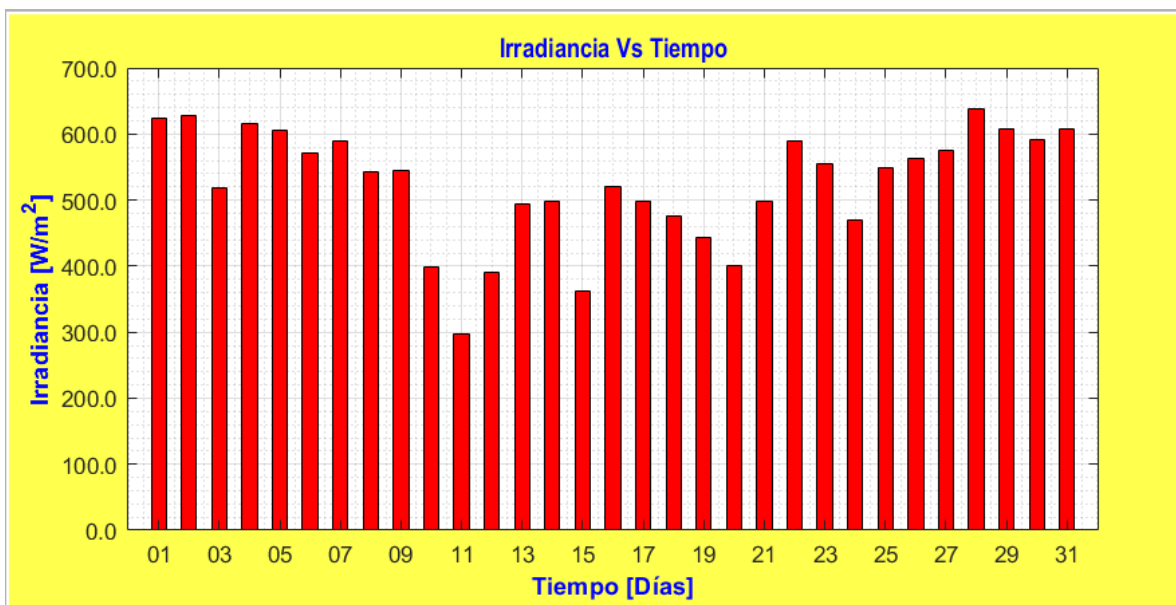


Figura 44: Irradiancia vs Tiempo

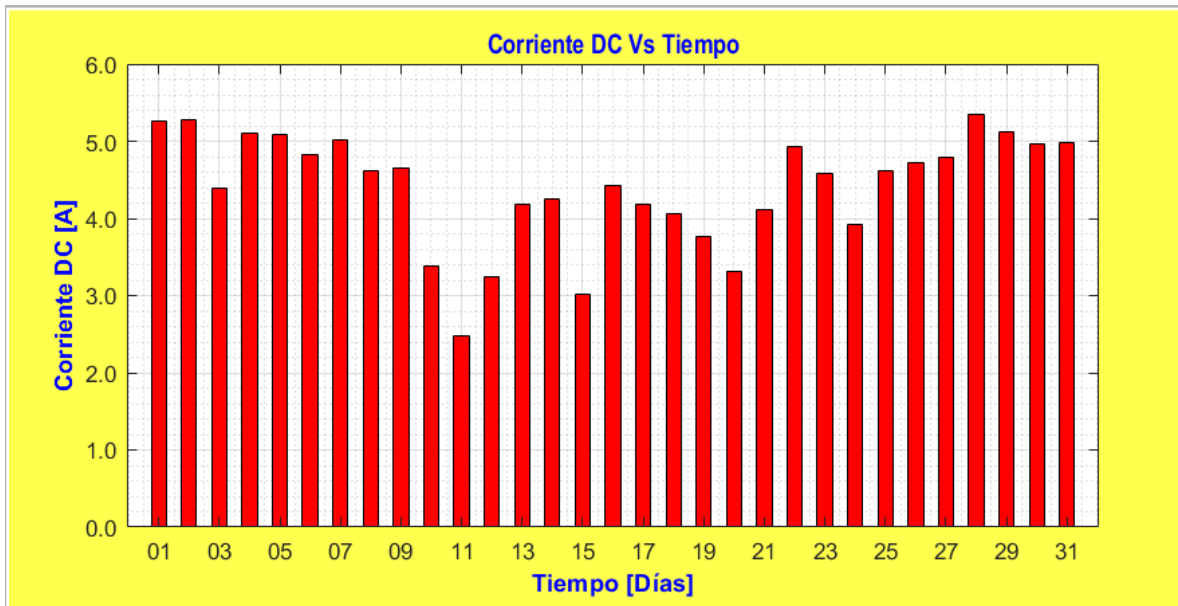


Figura 45: Corriente DC vs Tiempo

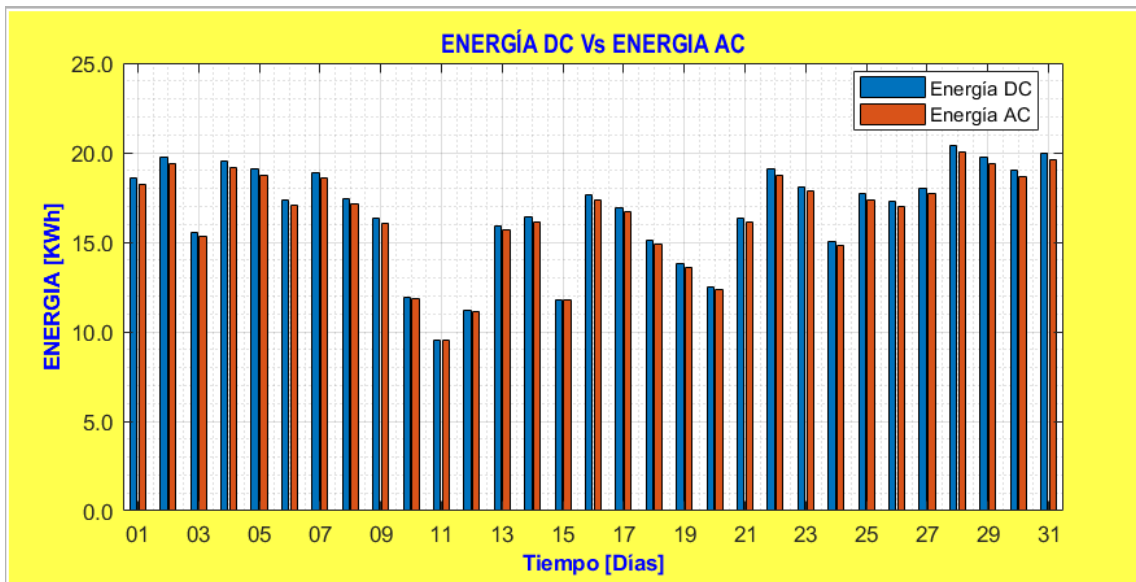


Figura 46: Energía DC vs Tiempo

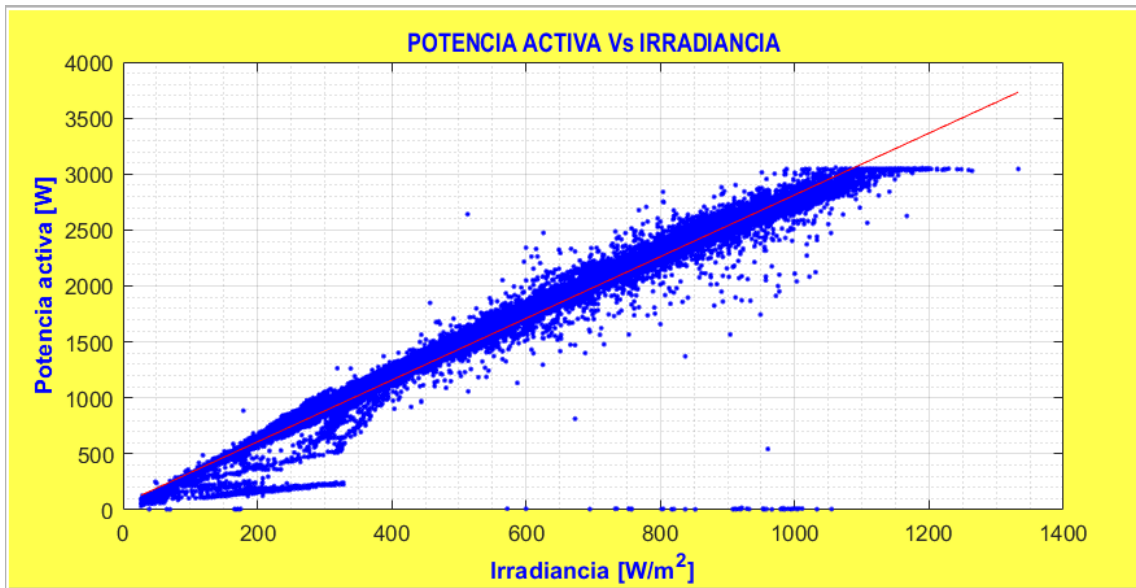


Figura 47: Potencia Activa vs Irradiancia

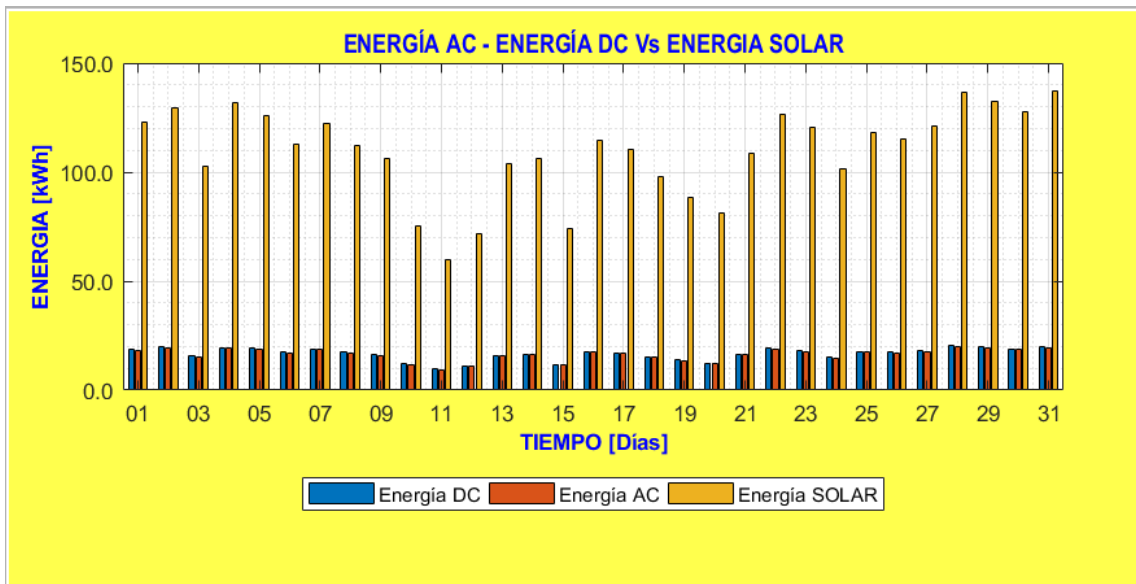


Figura 48: Energía AC - Energía DC vs Energía Solar

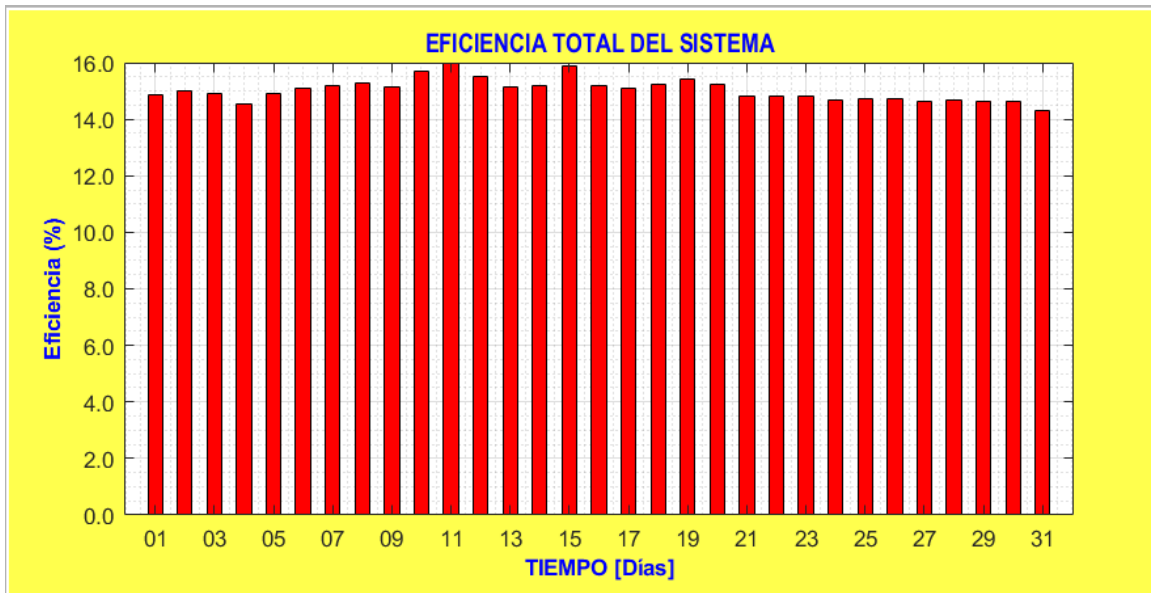


Figura 49: Eficiencia total del sistema

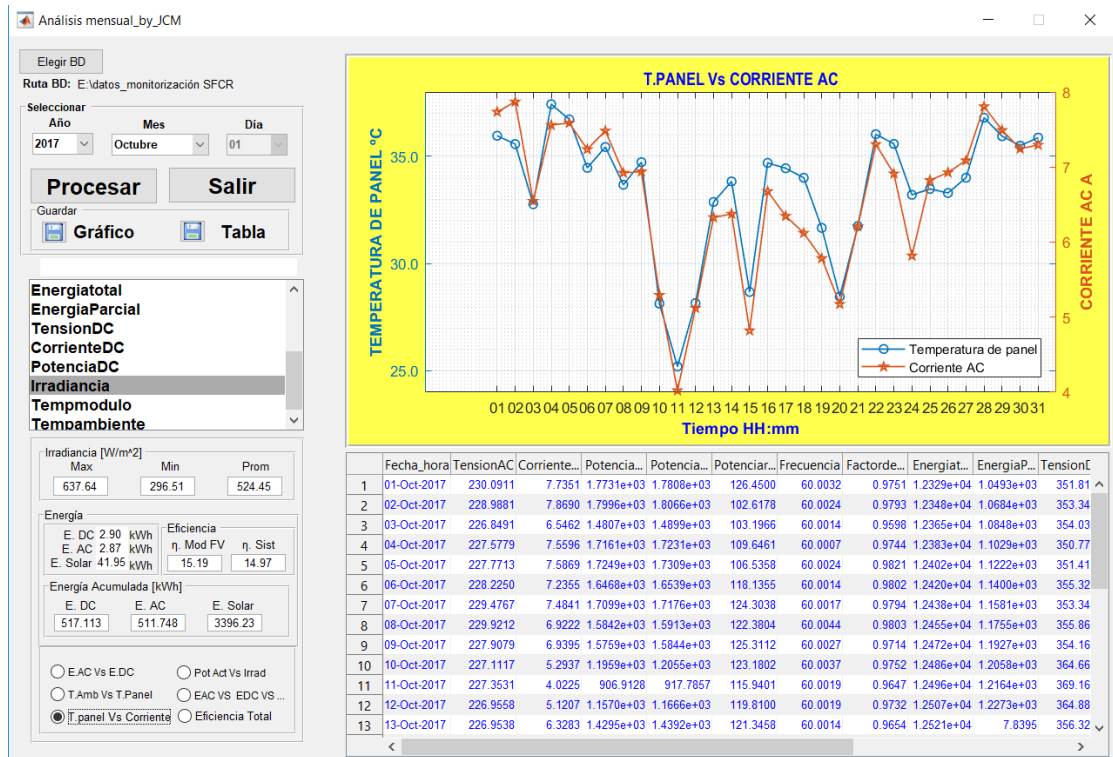


Figura 50: Vista del aplicativo en ejecución - Análisis mensual

Tabla 10.

Valores promedios diarios durante el mes de octubre

Fecha	Tensión AC (V)	Corriente AC (A)	Potencia activa (W)	Potencia aparente (VA)	Potencia reactiva (VAr)	Frecuencia (Hz)	Factor de potencia	Energía total (kwh)	Energía Parcial (kwh)	Tensión DC (V)	Corriente DC (A)	Potencia DC (W)	Irradiancia (W/m ²)	Temp modulo (°C)	Temp ambiente (°C)
2017-10-01	230,09	7,74	1773,07	1780,78	126,45	60	0,98	12329,03	1049,25	351,81	5,26	1805,88	623,86	35,96	20,99
2017-10-02	228,99	7,87	1799,56	1806,55	102,62	60	0,98	12348,16	1068,38	353,35	5,28	1829,92	627,47	35,57	20,86
2017-10-03	226,85	6,55	1480,73	1489,86	103,20	60	0,96	12364,55	1084,76	354,04	4,38	1504,24	518,96	32,76	20,34
2017-10-04	227,58	7,56	1716,14	1723,12	109,65	60	0,97	12382,64	1102,85	350,78	5,10	1745,34	615,84	37,43	21,93
2017-10-05	227,77	7,59	1724,91	1730,90	106,54	60	0,98	12401,97	1122,17	351,41	5,09	1753,30	604,88	36,72	21,37
2017-10-06	228,23	7,24	1646,78	1653,92	118,14	60	0,98	12419,78	1139,99	355,33	4,83	1673,57	570,25	34,46	20,84
2017-10-07	229,48	7,48	1709,93	1717,58	124,30	60	0,98	12437,87	1158,08	353,35	5,02	1739,25	588,65	35,44	21,09
2017-10-08	229,92	6,92	1584,21	1591,28	122,38	60	0,98	12455,31	1175,52	355,87	4,62	1609,00	542,31	33,67	20,69
2017-10-09	227,91	6,94	1575,90	1584,45	125,31	60	0,97	12472,45	1192,66	354,16	4,65	1600,70	544,45	34,73	21,11
2017-10-10	227,11	5,29	1195,94	1205,51	123,18	60	0,98	12485,60	1205,82	364,66	3,38	1205,07	398,64	28,13	19,15
2017-10-11	227,35	4,02	906,91	917,79	115,94	60	0,96	12496,16	1216,37	369,16	2,48	907,08	296,51	25,20	18,34
2017-10-12	226,96	5,12	1157,00	1166,57	119,81	60	0,97	12507,04	1227,26	364,88	3,25	1163,71	390,05	28,16	18,74
2017-10-13	226,95	6,33	1429,55	1439,15	121,35	60	0,97	12520,72	7,84	356,33	4,17	1448,91	494,03	32,87	20,19
2017-10-14	228,71	6,38	1449,99	1459,69	125,27	60	0,97	12536,79	23,91	355,23	4,24	1470,11	498,64	33,83	20,77
2017-10-15	229,47	4,82	1098,29	1106,47	108,36	60	0,97	12551,07	38,19	366,91	3,02	1101,80	361,42	28,68	19,68
2017-10-16	227,31	6,68	1513,74	1521,19	109,97	60	0,98	12566,23	53,36	355,43	4,42	1533,98	521,36	34,69	21,47
2017-10-17	227,37	6,35	1440,09	1446,02	91,97	60	0,97	12583,25	70,36	354,28	4,18	1458,63	498,72	34,44	21,37
2017-10-18	227,12	6,12	1386,45	1393,58	96,51	60	0,98	12598,74	85,85	355,98	4,06	1404,15	476,24	34,00	21,47

2017-10-19	226,68	5,78	1305,86	1314,61	106,81	60	0,97	12612,95	100,05	359,06	3,77	1322,39	442,73	31,66	20,60
2017-10-20	226,66	5,17	1168,69	1176,92	86,94	60	0,97	12625,48	112,58	360,33	3,32	1176,90	401,17	28,46	19,54
2017-10-21	228,21	6,21	1411,41	1419,61	101,05	60	0,96	12640,18	127,28	355,29	4,12	1432,68	498,04	31,75	20,62
2017-10-22	229,65	7,30	1670,48	1678,41	129,51	60	0,97	12658,76	145,86	352,68	4,93	1698,37	589,92	36,03	22,45
2017-10-23	228,02	6,91	1573,03	1579,81	116,09	60	0,98	12677,33	164,43	354,61	4,58	1595,71	554,09	35,58	23,03
2017-10-24	226,97	5,82	1316,85	1325,35	98,32	60	0,97	12692,55	179,65	352,34	3,92	1336,17	469,10	33,20	22,48
2017-10-25	227,62	6,82	1548,23	1556,93	108,39	60	0,97	12709,13	196,23	350,19	4,61	1574,59	549,66	33,48	21,47
2017-10-26	228,84	6,93	1584,95	1592,58	97,72	60	0,97	12726,68	213,77	350,58	4,71	1611,99	562,51	33,29	21,27
2017-10-27	227,29	7,09	1608,82	1615,50	99,22	60	0,98	12744,09	231,18	350,49	4,80	1637,16	574,68	34,00	21,42
2017-10-28	229,61	7,81	1789,63	1795,55	108,67	60	0,98	12763,92	251,00	346,79	5,34	1823,96	637,64	36,80	22,56
2017-10-29	228,72	7,49	1705,74	1714,05	131,75	60	0,98	12783,40	270,48	346,52	5,12	1739,82	608,30	35,94	22,12
2017-10-30	228,43	7,24	1654,88	1661,46	100,24	60	0,97	12802,38	289,46	346,79	4,96	1685,90	590,68	35,50	22,01
2017-10-31	228,59	7,29	1661,11	1668,70	112,26	60	0,96	12821,59	308,66	347,12	4,98	1691,66	607,05	35,87	21,99

5.3. Caracterización del SFCR, análisis anual

Para la caracterización anual se escogió el año 2017, obteniendo los siguientes resultados.

Irradiación:

- Máxima: 551,38 w/m²
- Mínima: 349,61 w/m²
- Promedio: 479,98 w/m²

Energía promedio:

- Energía generada por el generador fotovoltaico (E.DC): 2,52 kwh
- Energía transformada a la salida del inversor (E.AC): 2,49 kwh
- Energía solar incidente sobre los paneles fotovoltaicos (E.Sol): 39,10 kwh

Energía acumulada:

- Energía generada por el generador fotovoltaico (E.DC): 4 672,62 kwh
- Energía transformada a la salida del inversor (E.AC): 44 632,22 kwh
- Energía solar incidente sobre los paneles fotovoltaicos (E.Sol): 32 108,2 kwh

Eficiencia:

- Eficiencia del módulo fotovoltaico ($\eta_{mod\ FV}$) = 14,5 %
- Eficiencia del Sistema (η_{sist}) = 14,31 %

Las gráficas de obtenidas mediante el procesamiento de la data almacenada empleando en aplicativo informático se muestran a continuación para el análisis anual correspondiente al año 2017. (Figura 51), (Figura 52), (Figura 53), (Figura 54), (Figura 55), (Figura 56), (Figura 57)

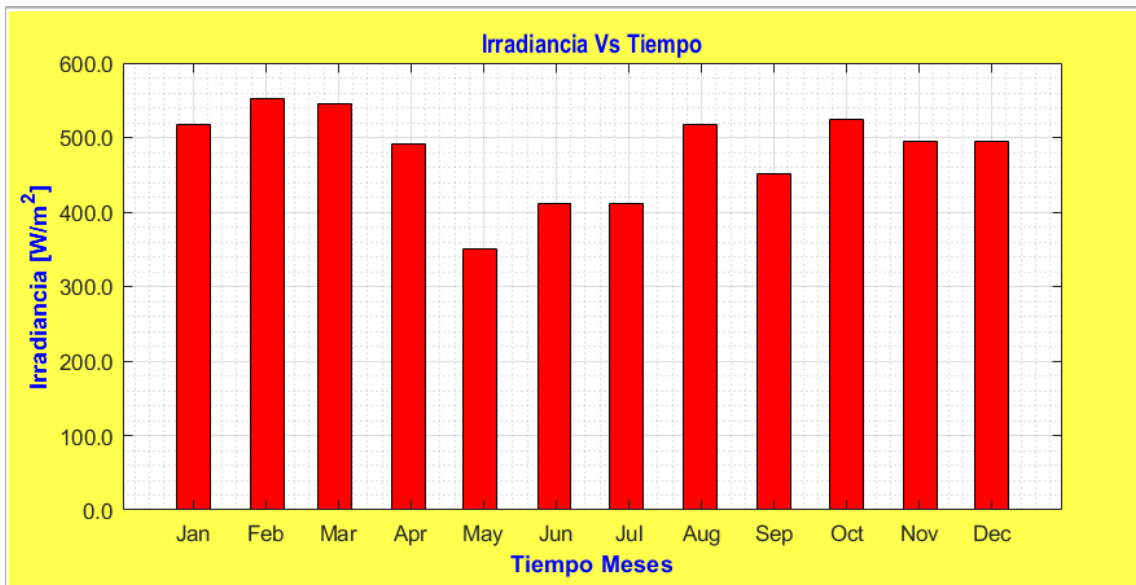


Figura 51: Irradiancia vs Tiempo

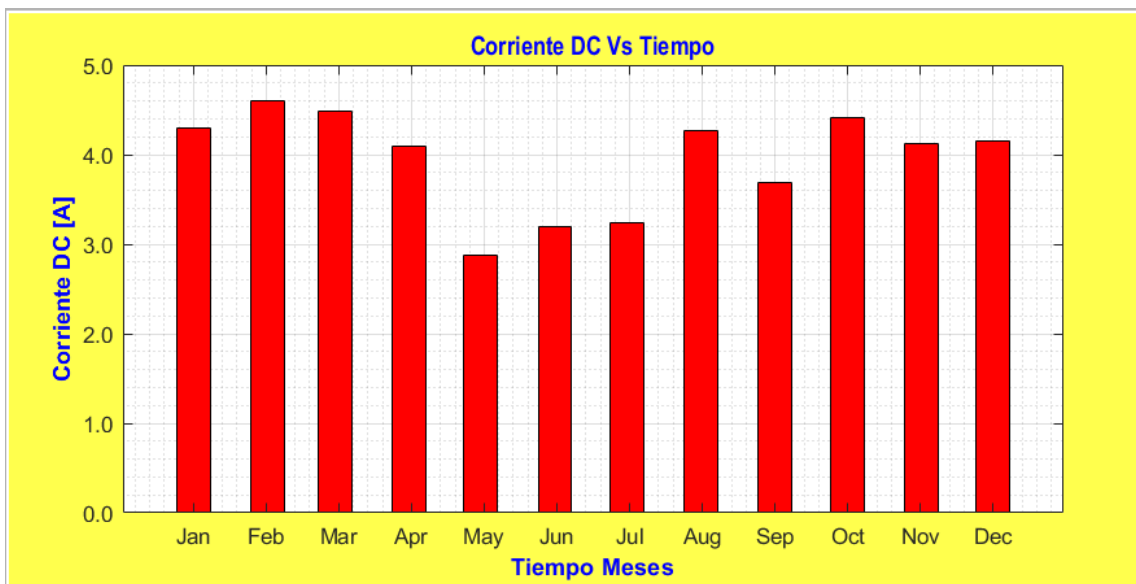


Figura 52: Corriente DC vs Tiempo

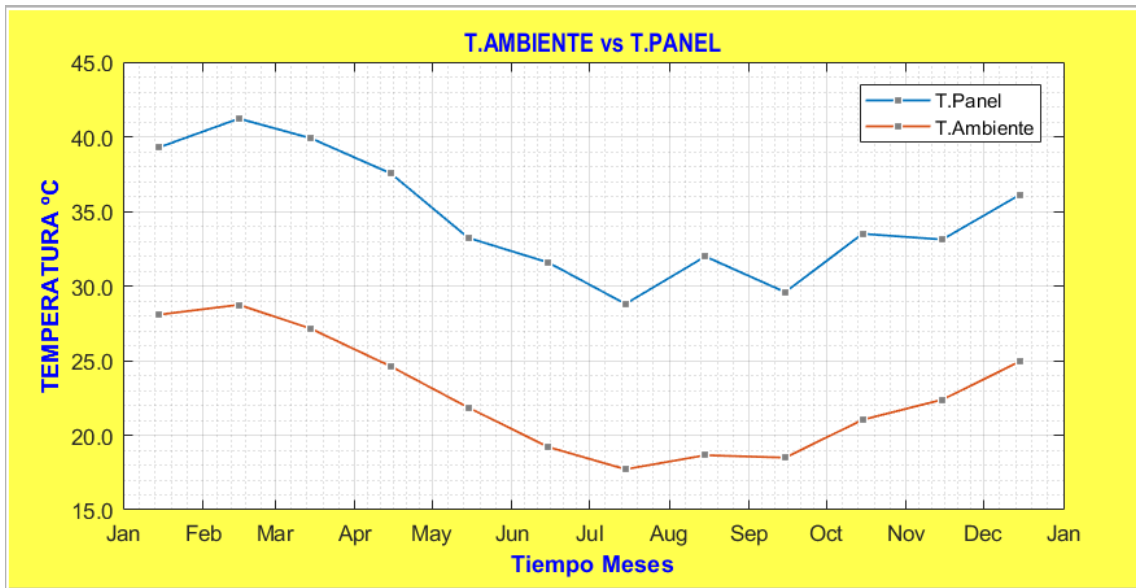


Figura 53: Temperatura ambiente - Temperatura del Panel vs Tiempo

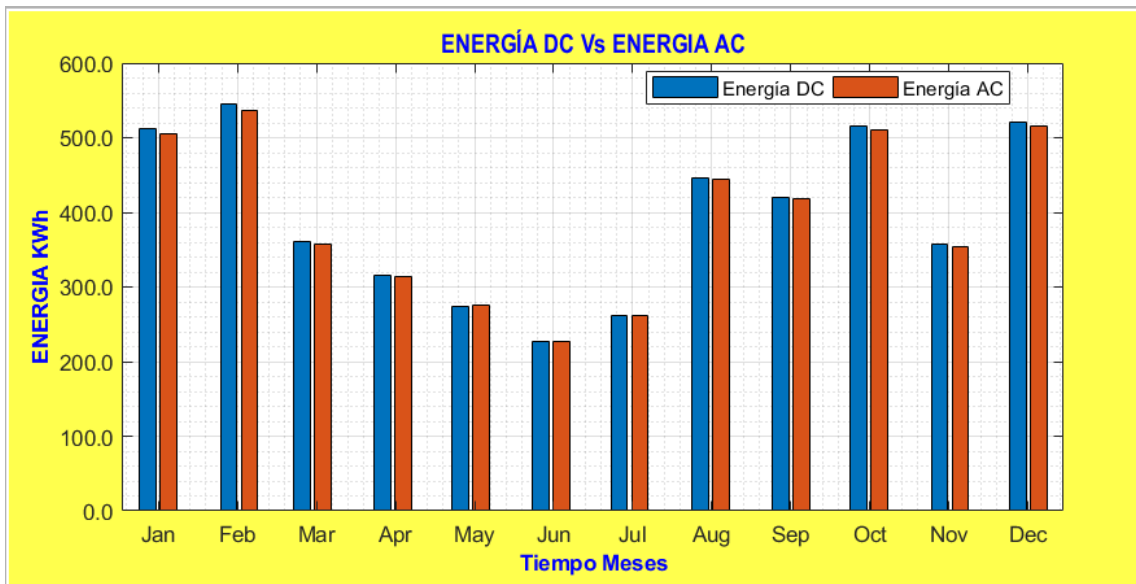


Figura 54: Energía DC – Energía AC vs Tiempo

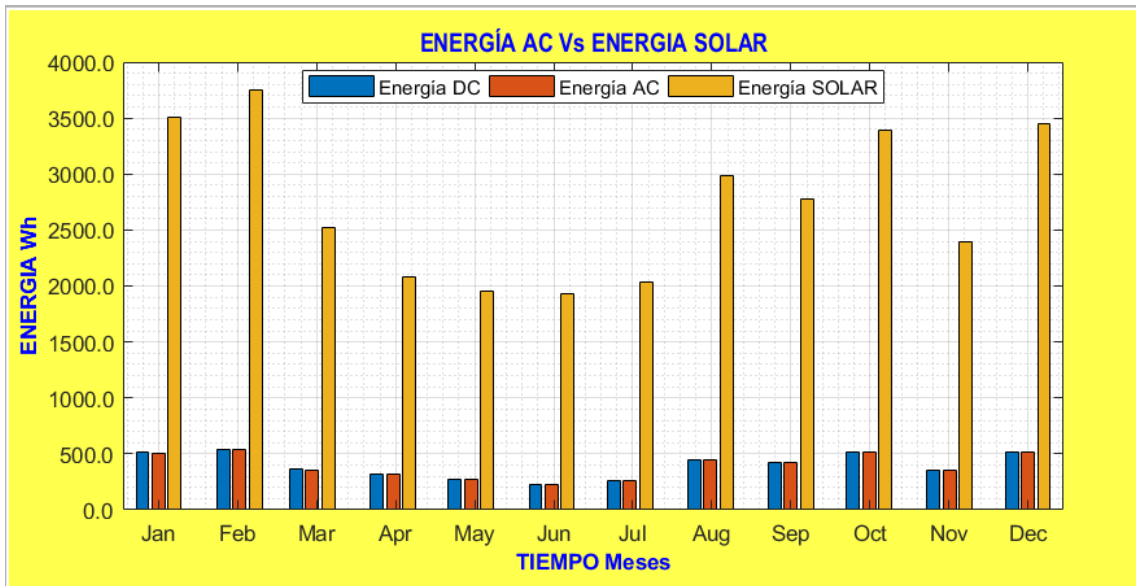


Figura 55: Energía DC – Energía AC – Energía Solar vs Tiempo

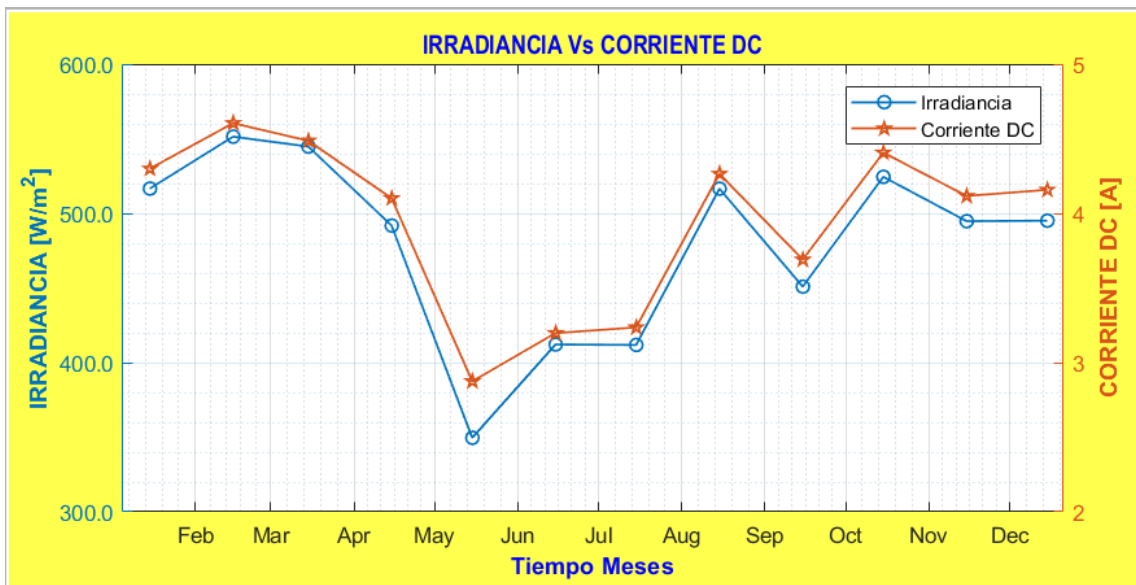


Figura 56: Irradiancia – Corriente DC vs Tiempo

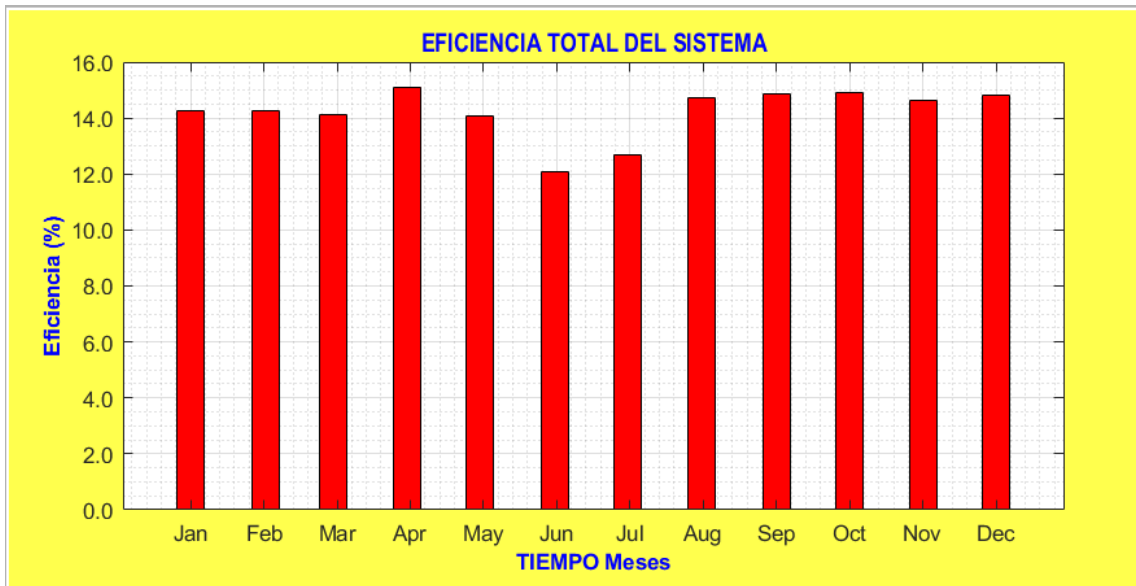


Figura 57: Eficiencia total de sistema

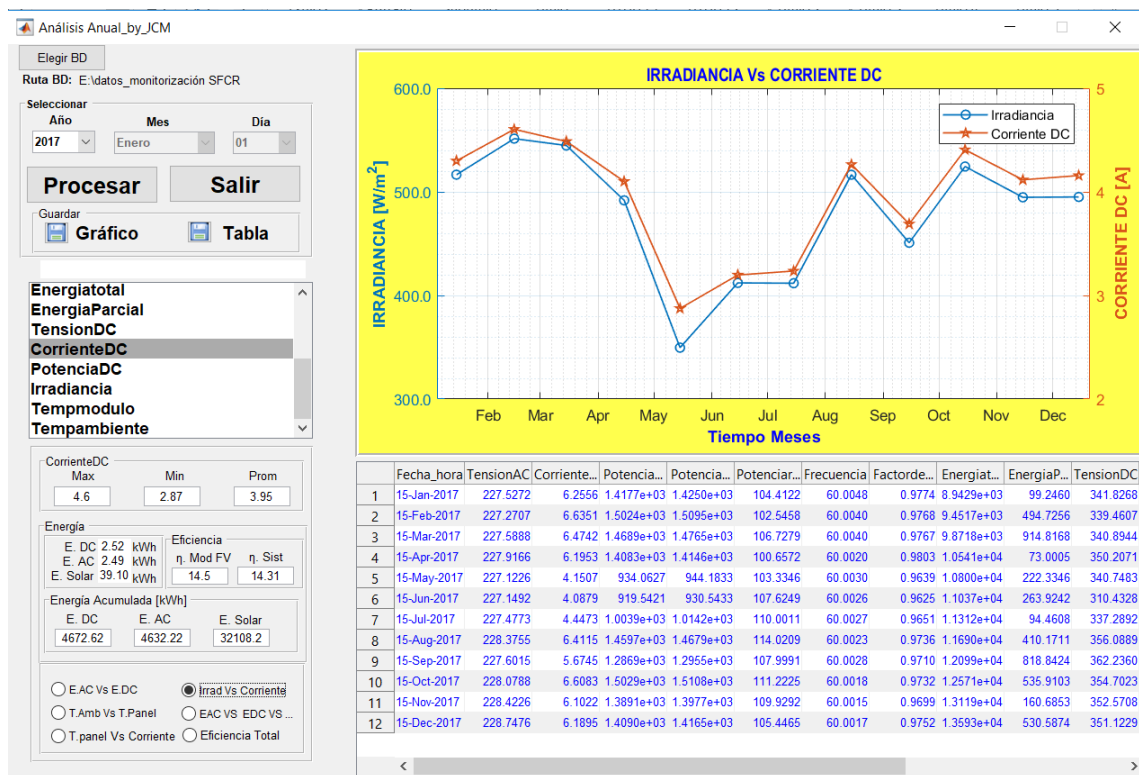


Figura 58: Vista del interfaz gráfico del análisis anual

Tabla 11.

Valores promedios mensuales durante el año 2017

Fecha	Tensión AC (V)	Corriente AC (A)	Potencia activa (W)	Potencia aparente (VA)	Potencia reactiva (VAr)	Frecuencia (Hz)	Factor de potencia	Energía total (kwh)	Energía Parcial (kwh)	Tensión DC (V)	Corriente DC (A)	Potencia DC (W)	Irradiancia (W/m ²)	Temp módulo (°C)	Temp ambiente (°C)
2017-01-15	227,53	6,26	1417,75	1424,96	104,41	60	0,98	8942,92	99,25	341,83	4,30	1441,34	516,58	39,29	28,08
2017-02-15	227,27	6,64	1502,39	1509,47	102,55	60	0,98	9451,68	494,73	339,46	4,60	1530,15	551,38	41,22	28,74
2017-03-15	227,59	6,47	1468,93	1476,46	106,73	60	0,98	9871,84	914,82	340,89	4,49	1494,51	544,74	39,89	27,13
2017-04-15	227,92	6,20	1408,31	1414,59	100,66	60	0,98	10541,14	73,00	350,21	4,10	1420,42	491,81	37,53	24,60
2017-05-15	227,12	4,15	934,06	944,18	103,33	60	0,96	10799,71	222,33	340,75	2,87	939,62	349,61	33,22	21,85
2017-06-15	227,15	4,09	919,54	930,54	107,62	60	0,96	11037,04	263,92	310,43	3,20	928,94	412,13	31,57	19,21
2017-07-15	227,48	4,45	1003,95	1014,18	110,00	60	0,97	11311,95	94,46	337,29	3,24	1015,79	411,81	28,80	17,72
2017-08-15	228,38	6,41	1459,68	1467,90	114,02	60	0,97	11689,88	410,17	356,09	4,26	1478,11	516,52	31,98	18,66
2017-09-15	227,60	5,67	1286,86	1295,49	108,00	60	0,97	12098,60	818,84	362,24	3,69	1301,10	450,89	29,59	18,50
2017-10-15	228,08	6,61	1502,87	1510,77	111,22	60	0,97	12571,48	535,91	354,70	4,41	1525,22	524,45	33,49	21,03
2017-11-15	228,42	6,10	1389,07	1397,70	109,93	60	0,97	13118,75	160,69	352,57	4,12	1409,32	494,73	33,11	22,38
2017-12-15	228,75	6,19	1408,98	1416,55	105,45	60	0,98	13593,42	530,59	351,12	4,16	1430,07	495,08	36,10	24,93

Nota. Energía total. Esta columna muestra los valores promedios mensuales acumulados.

5.4. Evaluación de la usabilidad del aplicativo informático

Como instrumento de evaluación del aplicativo informático, se tomó como modelo de Sistema de Escalas de Usabilidad, también conocido como Escala de Usabilidad de un Sistema (EUS) o simplemente SUS por sus siglas en inglés (System Usability Scale) es una herramienta metodológica muy similar a la Escala de Likert y que se usa para medir la usabilidad de un objeto, dispositivo o aplicación (UXpañol, 2018). Se tomó como modelo de la encuesta que se encuentra disponible en el sitio web <https://www.templatemonster.com/es/blog/2017/11/29/cuestionarios-valorar-la-usabilidad-sitio-web/>, realizando la traducción de dicha encuesta. En la figura mostrada a continuación se muestra la encuesta de Sistema de Escalas de Usabilidad. (Figura 59)

La escala versión estándar de la usabilidad del sistema - SUS

		MUY EN DESACUERDO		TOTALMENTE DE ACUERDO		
		1	2	3	4	5
1	Pienso que me gustaría usar este sistema con frecuencia.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	Yo encontré a este sistema innecesariamente complejo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	Pensé que el sistema era más fácil de usar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4	Creo que necesitaría el apoyo de una persona técnica para poder utilizar el sistema	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5	Yo encontré que las diversas funciones en este sistema estaban bien integradas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6	Pensé que había demasiada inconsistencia en este sistema	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7	Yo imaginé que la mayoría de personas querían aprender a usar este sistema más rápido	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8	Encontré este sistema muy incómodo para usar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9	Me sentí muy confiado al usar este sistema	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10	Necesitaba aprender muchas cosas antes de poder seguir adelante con este sistema	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 59: Modelo de encuesta SUS

La encuesta se aplicó a un total de 20 personas, de los cuales se eligió a estudiantes, docentes y técnico de Laboratorio, los resultados de las

puntuaciones de la encuesta se muestran en la Tabla 12. En cuanto a la valoración de cada pregunta se siguió con sumo cuidado la metodología que propone la SUS.

Los resultados de las puntuaciones de cada encuesta del total de preguntas se muestran a continuación en la Tabla 12.

Tabla 12.

Puntuaciones de las encuestas aplicadas

Puntuaciones de Escala de Usabilidad de Sistemas S.U.S				
47,50	60,00	65,00	75,00	82,50
47,50	62,50	67,50	80,00	85,00
50,00	62,50	67,50	80,00	87,50
60,00	62,50	70,00	82,50	87,50

La Tabla 13, muestra los resultados procesadores de las 20 encuestas aplicadas, de igual forma la (Figura 60).



Figura 60: Puntuaciones del SUS correspondientes a las siete calificaciones de adjetivos.

Tabla 13.

Estadísticas de las puntuaciones del SUS para las calificaciones de adjetivos

Adjetivo	Intervalo	Cuenta	Promedio de puntuación	Desviación estándar
Peor imaginable	[0 - 25]	0	0,00	0,00
Pobre	< 25 - 38]	0	0,00	0,00
De acuerdo	< 38 - 52]	3	48,33	1,44
Bueno	< 52 - 73]	9	64,17	3,54
Excelente	< 73 - 85]	6	80,83	3,42
Mejor imaginable	< 85 - 100]	2	87,50	0,00

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos, se acepta la hipótesis planteada que establece que es posible desarrollar un aplicativo informático que permita caracterizar el funcionamiento del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la UNJBG – Tacna. Ya que fue posible desarrollar satisfactoriamente el aplicativo informático que permitió caracterizar el funcionamiento del SFCR, ahorrando con ello tiempo, pues si se realizaba de la forma tradicional tomaría un tiempo considerable. Los resultados obtenidos son concordantes con el informe técnico de avance del proyecto “emergiendo con el sol (PEL)”.

En cuanto al análisis diario para caracterizar el sistema se puede decir que es satisfactorio el desempeño del aplicativo informático, el presente aplicativo tiene gran potencia para realizar las gráficas, operaciones aritméticas. Las figuras mostradas en el presente solo son algunas de las que se pueden obtener con el aplicativo informático que se muestran en las Figuras 39 al 43 de la presente tesis, el análisis diario permite visualizar las variables ambientales y eléctricas vs el tiempo, obtener valores mínimos, máximos y promedios, así como la energía promedio generada en esa fecha, así como la energía acumulada en día de evaluación, y finalmente se muestran los valores de eficiencia del módulo fotovoltaico, así como la eficiencia del sistema. Esta capacidad de graficar permite encontrar algún hecho o incidencia que llame la atención, como por ejemplo cuando se estuvo realizando las pruebas del análisis diario se encontró un valor máximo de Irradiancia de $1\,492\text{ w/m}^2$ para la fecha del 2017-01-02, así mismo la corriente DC máxima encontrada para ese día fue 10,42 A. El valor de Irradiancia es atípico, encontrar estos valores es posible a que los datos registrados están en intervalos de 15 segundos, y el

uso de la potencia de Matlab para graficar punto a punto, si se hubiese promediado no se podría apreciar estos valores, se encontró que en los meses de verano por lo general sucede que la Irradiancia adquiere valores por encima de los 1 000 w/m². Los gráficos obtenidos, así como la tabla mostrada en la interfaz gráfica de usuario, pueden guardarse, ya que están habilitadas estas dos opciones.

En cuanto al análisis mensual se opta por mostrar los resultados en gráficos en barra, pues son valores ya promediados, y una forma adecuada de presentar estos valores es a través de las gráficas en barra. Se debe mencionar que no se pudo contar con toda la data para un mes determinado, dicha información se muestra en la Tabla 8, esta pérdida se produce por parte del sistema de adquisición de datos, puede darse cuando inesperadamente se produzca un corte del fluido eléctrico, puede ocurrir también por la manipulación inadecuada de la PC destinada al almacenamiento de datos y ello por el desconocimiento de cómo operar el sistema de adquisición de datos, o por algún fallo propio del sistema de adquisición de datos, a la fecha no se pudo determinar con claridad los motivos de la pérdida de datos, este problema no solo sucede con el sistema instalado en la UNJBG, también lo padece Lima, por información del asesor del presente estudio ellos están tratando de averiguar por qué sucede esa pérdida espontánea de datos. Esta pérdida de datos tiene significancia si se desea conocer con exactitud la caracterización del sistema solar fotovoltaico a lo largo de un mes determinado. Para el análisis mensual se toma un mes que presentará la data completa, los resultados se muestran de la Figura 44 a la 49 de la presente tesis. El análisis mensual permite visualizar las variables ambientales y eléctricas vs el tiempo, obtener valores mínimos, máximos y promedios, así como la energía promedio generada para el mes de análisis, así como la energía acumulada del mes de análisis, y finalmente muestra los valores de eficiencia del módulo fotovoltaico, así como la eficiencia del sistema, también muestra los resultados promedios de las variables eléctricas y ambientales, organizadas en una tabla mostrada en la interfaz gráfica, esta tabla contiene los valores promedios diarios. Para el caso de no encontrar

datos mostrará como resultado la palabra NAN. La eficiencia del módulo fotovoltaico es de 15,19 % y del sistema es de 14.97 %, la energía activa acumulada durante este mes de 511,74 kwh, este valor es casi el mismo al que registra el inversor en su memoria, el valor que da el inversor para el mismo mes es de 511 kwh. Lo cual corrobora el buen funcionamiento del aplicativo informático desarrollado. Los gráficos obtenidos, así como la tabla mostrada en la interfaz gráfica de usuario, pueden guardarse, ya que están habilitadas estas dos opciones.

En cuanto al análisis anual, se pudo hacer la caracterización anual del sistema fotovoltaico obteniendo resultados seguramente muy cercanos a los valores verdaderos, en razón a que no se contó con toda la data del año 2017, había un faltante de 38 archivos y 8 archivos incompletos, detallados en la Tabla 8, ello contribuye a que no se pueda tener información más certera acerca de la caracterización del SFCR; los resultados obtenidos del análisis anual se muestran de la Figura 50 a la 57 y la Tabla 11. La Tabla 11 contiene los resultados promedios por cada mes para las variables eléctricas y ambientales. La eficiencia anual del sistema fotovoltaico es de 14,31 %, y el mes de mayor eficiencia fue el mes abril con 15 %. La energía activa acumulada durante este año 2017 fue de 4 632,22 kwh. Mientras que la energía activa registrada por el inversor fue de 5 149 kwh. Esta diferencia de 516,22 kwh, se debe a que no contó con toda data del año 2017.

Un inconveniente que se tiene cuando se realiza el análisis para la caracterización anual es el tiempo que toma, esto se debe principalmente a dos factores: la abundante data de la cual se dispone, el segundo motivo es la metodología de programación adoptada (secuencial), este tipo de problemas requieren que se aborde desde otra metodología de programación, la forma de cómo opera Matlab es la siguiente, captura el archivo especificado, a continuación empieza a leer fila por fila los datos de dicho archivo, el inconveniente es propio ya que el archivo tiene 5761 filas, esta operación se repite para cada archivo a analizar. haciendo las consultas a los especialistas

en el tema, sugieren que se adopte una programación en paralelo, es decir paralelizar el algoritmo, Matlab una vez más puede ser solución ya que permite desarrollar programación en paralelo, programación en paralelo se dicta en las maestrías de física computacional, computación e ingeniería de software o sistemas, otra alternativa sería explorar en algún lenguaje de bajo nivel, o tal vez mejorando el algoritmo utilizado ya puede ocurrir que haga redundancias, así mismo llevar el algoritmo más hacia los vectores y matrices, ya que allí se explotaría toda la potencia de Matlab, todo ello conlleva a seguir investigando sobre cómo optimizar el algoritmo y hacer que el aplicativo sea más eficiente. Se debe mencionar que un año con todos los archivos completos tendría un peso de 355 MB. Esto significa en términos prácticos lectura de 2 102 765 filas. Así mismo, se abre la posibilidad de agregar módulos para poder hacer análisis de rendimiento global, así como la evaluación de parámetros económicos que permitan tomar decisiones acerca de la tasa interna de retorno, valor actual neto, relación costo beneficio y tiempo de recuperación de la inversión. En tal sentido, se abre posibilidades para seguir investigando los sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

El aplicativo informático, contribuirá a la mejora de la comprensión de los sistemas fotovoltaicos para los estudiantes de la escuela de física, pues les permitirá conocer los gráficos característicos, valores mínimos, máximos y promedio de las variables eléctricas y ambientales, eficiencia del módulo, sistema e inversor.

Como instrumento de evaluación del aplicativo informático, se tomó como modelo de Sistema de Escalas de Usabilidad, también conocido como Escala de Usabilidad de un Sistema (EUS) o simplemente SUS por sus siglas en inglés (System Usability Scale). La encuesta objetiva para evaluar la usabilidad se aplicó, entre los futuros usuarios a quienes se les pidió llenar la encuesta están, docentes, estudiantes y técnico de laboratorio. la calificación obtenida la ubica en el rango de bueno a excelente, lo cual es alentador para seguir investigando.

CONCLUSIONES

1. La investigación realizada determina que fue posible la caracterización del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la UNJBG utilizando un aplicativo informático.
2. Lo anterior permite aceptar la hipótesis planteada, ya que fue posible desarrollar un aplicativo informático que permitió caracterizar el funcionamiento del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la UNJBG, por día, mes y año; en torno al software Matlab.
3. El sistema solar fotovoltaica, conectado a la red eléctrica, puede ser caracterizado en forma diaria, mensual o anual. Analizando, cuantificando y graficando los parámetros térmicos, energéticos, eléctricos todo ello es necesario para hacer un seguimiento de su desempeño a lo largo de su vida útil, empleando como herramienta el aplicativo informático desarrollado en el software Matlab.
4. El aplicativo informático permite visualizar en su análisis diario valores máximos que pudiesen ser anómalos, ya que gráfica cada 15 segundos, tal es el caso como se observó en los meses de diciembre, donde se halló valores de Irradiancia superiores a los 1200 w/m^2 , dichos sucesos tienen corta duración, pero pueden ser detectados.

RECOMENDACIONES

Se recomienda monitorear en forma continua la adquisición y almacenamiento de datos por parte del sistema, para así evitar futuras pérdidas de datos, así mismo dar exclusividad de uso a la PC donde corre el sistema de adquisición de datos, con la finalidad de evitar que desconoce la operación del sistema manipule inadecuadamente el sistema de adquisición de datos, con la finalidad de evitar pérdidas de datos.

Realizar un plan de mantenimiento del SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA DE LA UNJBG, ya que hasta la fecha no se realizó ningún mantenimiento:

Mantenimiento preventivo. Limpieza de módulos FV, de la acumulación de polvo y suciedad al igual como hojas, papeles, excrementos de animales, ramas de árboles, etc. todos ellos impiden el ingreso la energía solar en las células FV y ocasiona una disminución de energía eléctrica generada. La limpieza de los paneles solares debe hacerse con los materiales y herramientas adecuados, a fin de evitar cualquier daño sobre el panel. El mantenimiento también debe realizarse al inversor e Instalaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abud Figueroa, M. A. (s.f). *Calidad en la Industria del Software. La Norma ISO-9126*. Obtenido de <http://148.204.210.204/revistaupiicsa/34/34-2.pdf>
- Algoritmos y Modelado de datos*. (2018). Obtenido de <http://algoritmosfisiunsm.blogspot.com/2014/09/estructura-de-control-condicional.html>
- Almonacid, G. (2000). *WEB CURSOLAR*. Obtenido de http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/08_lecciones/8_lecciones.htm
- Amanecio Rodriguez, L., Orbegoso Guerrero, A., Muñoz Villalobos, C., & Villalta Ramirez, A. (2010). *Matlab 2010*. Lima: Macro.
- Anasagasti, Y. (02 de Junio de 2012). *Ley de organica de ciencia, tecnología e innovación*. Obtenido de <http://www.locti.co.ve/inicio/noticias-ley-ciencia-tecnologia/922-importancia-de-la-investigaci%C3%B3n-tecnol%C3%B3gica.html>
- Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *Journal of Usability Studies*, 114-123.
- Barragan Guerrero, D. (2017). *Manual Guide en Matlab*. Obtenido de <http://matpic1984.blogspot.com/>
- Barragan Guerrero, D. O. (2009). *Manual de interfaz Grafica de usuario en Matlab*. Quito, Ecuador. Obtenido de www.adatum.com
- Bureau Veritas. (2011). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: Fundación Confemetal.
- Carlo Cavazzi. (2018). Obtenido de <https://www.gavazzionline.com/CGNA/search>
- Castro Gil, M. (2000). *Sistemas fotovoltaicos conectados a la red: estandares y condiciones técnicas*. Sevilla: Progensa.

- Coaquira Miranda, E. (2015). *Evaluación energética del sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) de 3,3 kw instalado en el Centro de Energías Renovables de Tacna (CERT)*. Tacna.
- Cornejo Lalupú, H. (2013). *Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el Centro Materno Infantil de la Universidad de Piura*. Piura, Perú.
- Cuevas, E. (2010). *Procesamiento Digital de Imágenes con Matlab y Simulink*. México D.F: Alfaomega.
- Delta Volt. (s.f.). *Delta Volt*. Obtenido de <http://deltavolt.pe/home/about>
- Doria Rico, J. (1988). *Energía Solar*. Madrid: Eudema.
- Enríquez Harper, G. (2011). *El ABC de las Instalaciones Eléctricas en Sistemas Eólicos y Fotovoltaicos*. Mexico: Limusa.
- Espinoza Paredes, R., Luque Apaza, C., & De la Casa, J. (2015). Comparación de indicadores de rendimiento sobre sistemas fotovoltaicos conectados a la red-proyecto emergiendo con el sol. *XXII Simposio Peruano de Energía Solar* (pág. 9). Arequipa: SPES.
- Fernández Ferichola, J. (2009). *Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil*. Tesis Licenciatura, Universidad Carlos III de Madrid. Obtenido de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6037/PFC_Julio_Fernandez_Ferichola.pdf
- Greenpeace. (2005). *Guía Solar: Cómo disponer de energía solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica*. Madrid: Greenpeace.
- Herrera Liendo, W. (2006). *Determinación de Parámetros que influyen el Bombeo Fotovoltaico, en dos Sistemas de Riego*. Lima: Asamblea Nacional de Rectores.
- INTERNATIONAL STANDAR ISO 9126-1. (1992). *Information technology — Software product quality* .
- Laureano Oré, C. (2017). *Análisis de rendimiento de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica de 3.225 kW en Lima*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Medium. (2018). Obtenido de <https://medium.com/@m00nt/de-la-escala-de-usabilidad-de-sistemas-97c935e68fa9>


- Morales Marchena, H. (2005). *Matlab 7: Métodos Numéricos y Visualización Gráfica*. Lima: Megabyte.
- Moreno Alfonso, N. (2010). *Instalaciones de Energía Fotovoltaica: Cómo rentabilizar la Energía Solar*. Madrid: Ibergarceta Publicaciones .
- Nofuentes , G., & De la casa, J. (2014). Introducción a los sistemas fotovoltaicos conectados a la red. *XXI Simposio Peruano de Energía Solar*. Piura.
- Palomino Estebarez, Á. (2012). *Análisis de los datos técnicos de los inversores fotovoltaicos de conexión a red*. Tesis Licenciatura, Universidad Carlos III de Madrid. Obtenido de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16894/TFG_Alvaro_Palomino_Estebarez.pdf
- Paneles Solares PR. (Abril de 2018). *Paneles Solares PR*. Obtenido de <http://panelessolarespr.com/index.php#>
- Perpiñan Lamigueiro, O. (2012). *Diseño de Sistemas Fotovoltaicos*. Sevilla: Progensa.
- Polo Bravo, C. (2016). *Informe Técnico de Avance del proyecto: Emergiendo con el Sol (PEL)*. UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN, TACNA.
- Progensa. (2009). *Tejados Fotovoltaicos: Energía Solar Conectada a la Red Eléctrica*. Sevilla : Progensa.
- Programación Estructurada*. (2018). Obtenido de <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448148703.pdf>
- PUCP. (01 de 03 de 2017). *Grupo de Apoyo al Sector Rural*. Obtenido de <http://gruporural.pucp.edu.pe/nota/el-desarrollo-de-la-energia-solar-en-el-peru/>
- QuimiNet.com*. (s.f.). Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-sistema-fotovoltaico-2638847.htm>
- Ramos Curasi, E., Espinoza Paredes, R., & De la casa Higuera, J. (2017). Comparación Técnica económica de sistemas fotovoltaicos conectados a la red en las ciudades de Lima, Arequipa y Tacna . *XXII Congreso*

- Nacional de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Ramas Afines-CONIMERA* (pág. 8). Lima: CONIMERA.
- Revistel. (31 de Mayo de 2017). *Energía para las industrias Revistel*. Obtenido de <http://revistel.pe/el-ranking-actualizado-de-las-mayores-plantas-fotovoltaicas-mas-grandes-del-mundo-1a-parte/>
- Reyes Cortés, F. (2012). *Matlab Aplicado a Robótica y Mecatrónica*. Mexico D.F: Alfaomega.
- Rico Ramírez, V. (2018). *INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CELAYA*. Obtenido de <http://www.iqcelaya.itc.mx/~vicente/Programacion/ProgEstruct.pdf>
- Roca, j. (16 de Diciembre de 2016). *El periódico de la energía*. Obtenido de <https://elperiodicodelaenergia.com/la-demanda-mundial-de-fotovoltaica-supera-los-77-gw-en-2016-un-34-mas/>
- Rodríguez de Luis, L. (2004). *WEB CURSOLAR*. Obtenido de CURSO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA "CURSOLAR": http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/04_componen/01_generador/01_basico/4_gene_01.htm
- Roldan Vilorio, J. (2010). *Instaciones Solares Fotovoltaicas*. Madrid: Paraninfo.
- Sánchez Maza, M. (2013). *Energía Solar Fotovoltaica*. Mexico D.F: Limusa.
- SOLARWORLD. (2018). *SOLARWORLD*. Obtenido de <https://www.solarworld.de/en/home/>
- Souto Iglesias, A. (2013). *Curso Básico de Programación en Matlab*. Madrid: Tébar.
- Steca Elektronik. (2018). *Steca Elektronik*. Obtenido de <https://www.steca.com/index.php?coolcept-x-StecaGrid-1500x-4200x-en#productproperty>
- Sunco Huanca, L. A. (2015). Revisión sistemática de la calidad del software en prácticas ágiles. *Tesis para optar el grado de Magíster en Informática con mención en*. Lima, Lima, Lima: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.
- TemplateMonster*. (2018). Obtenido de <https://www.templatemonster.com/es/blog/2017/11/29/cuestionarios-valorar-la-usabilidad-sitio-web/>
- Tinajeros Salcedo, M., Montoya Portugal, A., Palo Tejada, E., & Morante Trigoso, F. (2015). Evaluación del desempeño de un sistema fotovoltaico

- conectado a red de 3.3 kW en la ciudad de arequipa. *XXII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente* (pág. 12). Arequipa: SPES.
- UXpañol*. (2018). Obtenido de Discusiones sobre Experiencia de Usuario: <http://uxpañol.com/teoria/sistema-de-escalas-de-usabilidad-que-es-y-para-que-sirve/>
- Valera P, A. (2007). *Energía Solar II*. Lima: ANR.
- Vásquez Paragulla, J. (1997). *Diseño de programación 200 algoritmos y un proyecto de aplicación* . Lima: San Marcos.
- VIVIR, R. (08 de Enero de 2018). *El espectador*. Obtenido de <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/en-2017-la-energia-solar-crecio-mas-rapido-que-otros-combustibles-articulo-732323>



Bach. Josimar Klever Cohaila Mayta
Autor de Tesis



MSc. Carlos Armando Polo Bravo
Asesor de la Tesis